

AGROFORESTERÍA

N°46 2008

EN LAS AMÉRICAS

www.catie.ac.cr/revistas/

$$V = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times \left(\frac{D_1^2 + D_2^2}{2}\right) \times L$$

$$B = V \times g_e \quad VBC = a + b * dap$$



Captura de carbono en fincas cacaoteras indígenas



Ministerio de Ambiente y Energía



THE WORLD BANK

ACOMUITA
Asociación de Mujeres Indígenas Bribrí Talamanca



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

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

Director General José Joaquín Campos

Créditos

Dirección Técnica: John Beer

Editores técnicos invitados: Eduardo Somarriba, Hernán Andrade, Arlene López y Luis Orozco

Producción y edición: Gabriela Gitli

Asistente: Marianella Sanabria

Diagramación: Roberto Barrantes

Correspondencia:

Revista Agroforestería en las Américas,
CATIE 7170, Turrialba, Costa Rica
Tel. (506) 2558-2408
Fax (506) 2558-2045
Correo electrónico: agrofor@catie.ac.cr
Internet: [//www.catie.ac.cr/revistas/](http://www.catie.ac.cr/revistas/)

No. 46 2008
Editorama SA
1200 ejemplares

Agroforestería en las Américas no asume la responsabilidad por las opiniones y afirmaciones expresadas por los autores en sus páginas. Las ideas de los autores no reflejan necesariamente el punto de vista de la institución.

Se autoriza la reproducción parcial o total de la información contenida en esta revista siempre y cuando se cite la fuente.

Comité Editorial Internacional

John Beer
Director Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE

Gerardo Budowski
Director de Recursos Naturales,
Universidad para la Paz, Costa Rica

Jean C.L. Dubois
Presidente de la Red Brasileña de Agroforestería, REBRAAF, Brasil

John Weber
Investigador ICRAF, Perú

Sarah Workman
School of Forest Resources and Conservation, Center for Subtropical
Agroforestry, EUA

Comité Editorial Operativo

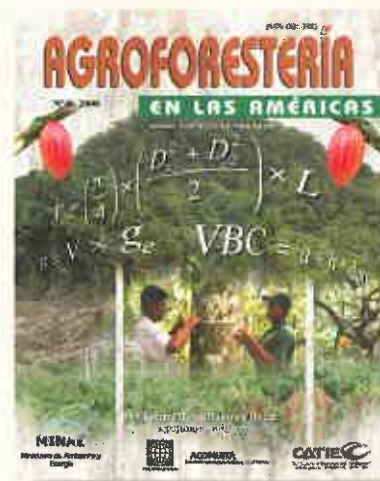
John Beer
Director, Departamento Agricultura y Agroforestería CATIE

Eduardo Somarriba
Investigador Agroforestal, CATIE

Muhammad Ibrahim
Investigador Agroforestal, CATIE

Celia Harvey
Investigador Agroforestal, CATIE

Guillermo Detlefsen
Consultor Agroforestal, Editor Técnico, CATIE



El proyecto "Captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en cacaotales y otros sistemas agroforestales indígenas en Talamanca, Costa Rica" se creó con el fin de diseñar un mercado para fijar, certificar y vender carbono, así como sugerir ideas y métodos y brindar información acerca del potencial de los territorios indígenas para hacerlo.

Editorial

Juan Martínez; Edwin Cyrus; John Beer; Carlos Manuel Rodríguez..... 4

Agroforestales en América..... 6

Foro

El Proyecto *Captura de Carbono y desarrollo de mercados ambientales en cacaotales y otros sistemas agroforestales indígenas en Talamanca, Costa Rica*
Eduardo Somarriba; Marilyn Villalobos; Levi Sucre; Marina López; Faustina Torres; Abelardo Torres; Kathia Rodríguez..... 8

Avances de Investigación

- Las fincas indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica
Luis Orozco; Marilyn Villalobos; Ángela Ortiz; Lorena Riascos; Javier Méndez; Vilmar Sánchez..... 14
- Árboles frutales en los campos agrícolas de las fincas indígenas de Talamanca, Costa Rica
Ángela Burgos; Heiber Armero; Eduardo Somarriba..... 21
- Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono de cacao en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*)
Ángela Ortiz; Lorena Riascos; Eduardo Somarriba..... 26
- Existencias de carbono en charrales y sistemas agroforestales de cacao y banano de fincas indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica
Natalia Arce; Edgar Ortiz; Marilyn Villalobos; Silvia Cordero..... 30
- Aprovechamiento, rendimiento maderable y carbono perdido en los residuos de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales (*Theobroma cacao*) y bananales (*Musa AAA cv. Gros Michel*) de Talamanca, Costa Rica
Eduardo Somarriba; Alfonso Suárez; Wilson Calero; Anderson Botina; Diego Chalaca..... 34
- Suelos del valle y del piedemonte en Talamanca: un paisaje dinámico para el almacenamiento de carbono
Beth Polidoro; Liegh Winowiecki; J. Johnson-Maynard; P. McDaniel y M. Morra..... 40
- Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica
Hernán J. Andrade; Milena Segura; Eduardo Somarriba; Marilyn Villalobos..... 45
- Medios de vida y dinámica del uso del suelo en los Territorios Indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica
Matthew Whelan; Dietmar Stoian; J.D. Wulforst; Eduardo Somarriba; Gabriela Soto; Kees Prins..... 51

Artículos invitados

- Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica
William Fonseca G.; Federico E. Alice; Johan Montero; Henry Toruño; Humberto Leblanc..... 57
- Enriquecimiento de fincas cacaoteras con frutales y maderables en Alto Beni, Bolivia
Luis Orozco; Arlene López; Eduardo Somarriba..... 65
- Sistemas agroforestales tradicionales en el Consejo Comunitario del Bajo Mira y Frontera en Tumaco, Nariño, Colombia
William Ballesteros Possú; Otto Marco Suya; Héctor Ramiro Ordóñez Juado..... 73

¿Cómo hacerlo?

- ¿Cómo fijar carbono atmosférico, certificarlo y venderlo para complementar los ingresos de productores indígenas en Costa Rica?
Eduardo Somarriba; Hernán J. Andrade; Milena Segura; Marilyn Villalobos..... 81
- ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?
Milena Segura; Hernán J. Andrade..... 89
- ¿Cómo estimar rápidamente el carbono almacenado en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales indígenas de Talamanca, Costa Rica?
Milena Segura; Hernán J. Andrade..... 97
- ¿Cuántos y cuáles árboles de laurel (*Cordia alliodora*) se pueden cosechar en los cacaotales y bananales indígenas de Talamanca, Costa Rica?
Alfonso Suárez Islas..... 104

Reseñas Agroforestales..... 110

Publicaciones sobre carbono..... 114

Agenda Agroforestal..... 118

Agroforestería en las Américas Nº 46, 2008



Frutales de coco en un cacaotal de Talamanca, Costa Rica (foto: Eduardo Somarriba)



Familias indígenas bribri y cabécar en Talamanca, Costa Rica (foto: Eduardo Somarriba)



Midiendo el diámetro a la altura del pecho en Talamanca, Costa Rica (foto: Simiane Grégoire-Valentin)

La captura de carbono en los Territorios Indígenas de Talamanca, Costa Rica

El Proyecto “Captura de Carbono y desarrollo de mercados ambientales en cacaoales y otros sistemas agroforestales indígenas en Talamanca, Costa Rica” (2004-2006), conocido localmente como Proyecto Carbono, fue una iniciativa del Gobierno de Costa Rica (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales-MINAE), el Banco Mundial, el CATIE y las organizaciones indígenas de Talamanca. El objetivo del proyecto fue diseñar y organizar un mercado para fijar, certificar y vender el carbono capturado por sistemas agroforestales con cacao y otros usos de la tierra en las fincas indígenas de Talamanca. El proyecto fue financiado por el Banco Mundial (TF-052118) y ejecutado por el Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE), en forma conjunta y participativa con la Asociación de Desarrollo Integral del Territorio Indígena Bribri de Talamanca (ADITIBRI), la Asociación de Desarrollo Integral del Territorio Indígena Cabécar (ADITICA), la Asociación de Mujeres Indígenas Bribri de Talamanca (ACOMUITA) y la Asociación Coordinadora Indígena y Campesina de Agroforestería Comunitaria Centroamericana (ACICAFOC).

El Proyecto Carbono se creó para ofrecer al Gobierno de Costa Rica (MINAE y el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal - FONAFIFO) algunas ideas, enfoques, métodos e información sobre el potencial de los Territorios Indígenas de Talamanca para proveer a la sociedad el servicio ambiental de fijación de carbono atmosférico y mitigación del cambio climático, pagando por ello a los productores indígenas y a sus organizaciones. La experiencia de este proyecto serviría de base para la formulación de otros similares en más Territorios Indígenas de Costa Rica y Centroamérica, y para orientar el desarrollo de políticas nacionales de pago por servicios ambientales. El paso siguiente en Talamanca es consolidar la venta de créditos de carbono, principalmente en mercados voluntarios (no Kyoto), ya que los proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio no serían factibles en las condiciones de Talamanca. El proyecto no es una amenaza social o cultural para las comunidades indígenas; por el contrario, fortalecer la

siembra de árboles y el cuidado de los bosques han sido percibidas como actividades favorecedoras de la cultura tradicional en cuanto a su relación con el bosque.

El Proyecto Carbono (i) diseñó y estimó un modelo para fijar, certificar, comercializar y administrar el carbono adicional en las fincas indígenas de Talamanca; (ii) contribuyó al fortalecimiento de ADITIBRI, ADITICA y, especialmente, de ACOMUITA, que administraría un eventual mercado local de carbono; (iii) formó numerosos recursos humanos locales y universitarios de Costa Rica, Colombia y Canadá; y (iv) elaboró y publicó varios materiales educativos, divulgativos y técnico-científicos (por ejemplo, este número especial de la revista *Agroforestería en las Américas*) sobre el potencial de las fincas indígenas para fijar carbono adicional.

El presente número de la revista *Agroforestería en las Américas* pone a disposición de los líderes locales, estudiosos, profesionales, estudiantes y profesores universitarios, gerentes de proyectos de los organismos internacionales de desarrollo y de otros interesados, los resultados, aprendizajes e informaciones del Proyecto Carbono. En la sección de *Foro* presentamos los objetivos del Proyecto Carbono, sus actores y opiniones, y se listan todas las publicaciones producidas. En los *Avances de Investigación* presentamos una colección de nueve artículos derivados de los estudios de tesis que se realizaron para atender las necesidades de información técnica relevante y actualizada para la gerencia y monitoreo del proyecto. Los temas incluyen una caracterización de 159 fincas indígenas Bribri y Cabécar; inventarios de una lista de doce especies de árboles frutales con mercado nacional en las áreas agrícolas de 54 fincas indígenas de Talamanca; un modelo de acumulación de dos sistemas agroforestales experimentales con cacao evaluados en la vecina Bocas del Toro, Panamá, y estimaciones financieras de la fijación de carbono en las fincas, estimaciones del carbono en los suelos, y de las pérdidas ocasionadas por el aserrado de los árboles con motosierra, así como estudios socioculturales que incluyen el análisis de las estrategias de vida de las familias

productoras indígenas y de las relaciones entre las organizaciones indígenas y las instituciones y organizaciones externas que inciden sobre el uso y conservación de los recursos naturales en los Territorios Indígenas.

La sección de *Artículos Invitados* incluye un artículo sobre enriquecimiento agroforestal, con frutales y maderables valiosos, de fincas cacaoteras de indígenas aymaras y quechuas de Bolivia; un artículo sobre el almacenamiento de carbono en plantaciones forestales y bosques secundarios en la zona atlántica de Costa Rica, y una caracterización de los sistemas agroforestales tradicionales en Tumaco, Nariño, Colombia.

La sección *¿Cómo Hacerlo?* está compuesta de cuatro artículos que nos muestran de qué manera el Proyecto Carbono propuso fijar, certificar, comercializar y administrar el carbono adicional en las fincas indígenas de Talamanca, cómo estimar en forma práctica y rápida el carbono en las fincas, cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa y carbono de árboles y cómo cosechar los árboles de laurel (*Cordia alliodora*) que se regeneran naturalmente en los cacaotales de Talamanca. Incluimos también reseñas de algunas publicaciones recientes, así como una recopilación de más de cien publicaciones sobre varios temas de carbono y cambio climático publicadas en los últimos diez años en todo el mundo.

Esperamos que la información contenida en este número especial de la revista *Agroforestería en las Américas*

llegue a los técnicos, dirigentes y gerentes de proyectos cacaoteros y ambientales, y que les ayude y motive a desarrollar nuevos y novedosos proyectos de fijación y venta de créditos de carbono almacenado en fincas de pequeños productores organizados en todo el mundo y, especialmente, en Mesoamérica.

Juan Martínez
Gerente del Proyecto, Senior Social Scientist
Banco Mundial
Washington, DC, Estados Unidos

Edwin Cyrus
Director Área de Conservación Amistad Caribe
MINAE
Limón, Costa Rica

John Beer
Jefe del Departamento de Agricultura y Agroforestería
CATIE
Turrialba, Costa Rica

Carlos Manuel Rodríguez
Vice-Presidente Regional y Director Regional del CBC
México y Centroamérica
Conservación Internacional
Ex Ministro del Medio Ambiente y Energía (2002
– 2006), República de Costa Rica
San José, Costa Rica

Agroforestales en América

LEVI SUCRE Y KATIA RODRÍGUEZ: Asociación Coordinadora Indígena y Campesina de Agroforestería Comunitaria Centroamericana

En los últimos diez años, el desarrollo organizativo de las dirigencias de los pueblos Bribri y Cabécar ha logrado que las comunidades indígenas coordinen trabajos —incipientes aún— con algunas instituciones gubernamentales, los cuales han arrojado resultados positivos y concretos en poco tiempo. Por ejemplo: el Ministerio de Educación y su Programa de Educación Indígena han edificado dos colegios de secundaria y muchas escuelas en los Territorios Indígenas; el Ministerio de Salud y la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS) brindan atención médica en las comunidades y han instalado una clínica en Suretka que funciona las 24 horas. El éxito de estas iniciativas se debe a que las organizaciones indígenas han tomado la dirección política de los trabajos realizados por las instituciones gubernamentales en los territorios indígenas. A pesar de los avances, la descoordinación institucional sigue limitando el desarrollo de programas y proyectos gubernamentales en los territorios Bribri y Cabécar de Talamanca.

La vinculación de las organizaciones indígenas con la cooperación internacional también dio un salto cualitativo importante con la participación de la Asociación de Mujeres Indígenas Bribri de Talamanca (ACOMUITA) y las Asociaciones de Desarrollo Integral (ADI) en el diseño y co-ejecución del Proyecto Carbono. La participación de ACOMUITA en el proyecto fue la clave del éxito de este proyecto. La gestión organizativa, administrativa y cultural del Proyecto Carbono fue liderada por ACOMUITA, quien manejó y administró sus recursos financieros con la supervisión del CATIE y del Banco Mundial. Con esta experiencia, el manejo administrativo de los recursos financieros en ACOMUITA se “institucionalizó” y se abandonó el “manejo de pulpería”. ACOMUITA controló la calidad y monitoreó todas las acciones del proyecto y aseguró que estas estuvieran acordes a los principios culturales de los Territorios Indígenas. Además, ACOMUITA mantuvo una comunicación constante con las ADI y desempeñó un papel crucial en las coyunturas políticas de ambos territorios, logrando mover a más de 2000 indígenas en los procesos de reflexión comunitaria sobre los temas del Proyecto Carbono, los recursos naturales y las vulnerabilidades políticas de los indí-

genas y sus territorios. La experiencia del proyecto fortaleció a ACOMUITA y las ADI.

ACOMUITA logró mantener la estabilidad política del proyecto, ya que las ADI, por la situación jurídica que las ampara y por los intereses foráneos, son constantemente vulnerables a las tendencias radicales de algunos líderes indígenas y de otros no indígenas que intentan controlar los territorios. Los períodos de las Juntas Directivas de las ADI son de apenas dos años y, comúnmente, en cada elección y toma de posesión de la nueva junta se tarda hasta un año, ya que los “no ganadores” se empeñan en impugnar las asambleas, dejando sin dirección política los territorios. El Proyecto Carbono se desarrolló en un período altamente inestable en las ADI; no obstante, se superaron estos inconvenientes gracias a que el manejo organizativo, administrativo y financiero del proyecto fue instalado en ACOMUITA.

ABELARDO TORRES: PRESIDENTE DE ADITIBRI (Asociación de Desarrollo Integral del Territorio Indígena Bribri de Talamanca)

La participación de las ADI en el Proyecto Carbono fue activa, tuvimos mucha apertura para opinar y sugerir desde el inicio. Los principales beneficios que obtuvimos por nuestra participación fueron (i) capacitación en aspectos financieros y administrativos, de tal forma que se las asociaciones —con plena representación comunal— se convirtieron en actores clave del proyecto; (ii) fortalecimiento jurídico, y en la toma de decisiones, mejoró la reputación y el historial de participación de las ADI y aumentó su capacidad de negociación con el Proyecto Carbono y con otras instituciones de desarrollo de Talamanca, y (iii) la dotación de equipos de oficina y medios de transporte contribuyó a mejorar la administración y a agilizar las negociaciones de ADITIBRI.

Las ADI reconocen que el Proyecto Carbono tuvo muchas fortalezas, entre ellas la apertura a la voz de las comunidades, ya que los representantes del proyecto escucharon la opinión de los productores, rescatando los intereses y las necesidades de las bases; la valoración y el respeto al sistema jurídico y cultural indígena; y el respeto entre las ADI y las entidades nacionales e internacionales involucradas en el proyecto fue muy bien percibido por las comunidades. La principal debilidad del proyecto fue que trató un tema nuevo para las comu-

Agroforestales en América



Familia cabécar en los Territorios Indígenas de Talamanca, Costa Rica (foto: Marilyn Villalobos)

nidades y que existía poca experiencia sobre el pago por servicios ambientales (PSA) en los territorios. Se necesitaba más información y más participación de las comunidades, tanto de los dirigentes como de las bases.

El Proyecto Carbono ha expandido el PSA en los territorios indígenas. Por ejemplo, en el 2000, teníamos apenas 150 ha contratadas para un proyecto de PSA. Actualmente, hemos contratado 1650 ha con FONAFIFO. Talamanca tiene un gran potencial para el PSA: (i) tiene muchos bosques por certificar y las comunidades indígenas están concientes de los beneficios de preservarlos; (ii) las leyes de las ADI son claras y agresivas contra las personas que destruyen nuestros bosques; y (iii) contamos con un grupo de guardabosques que vigilan la extracción ilegal de madera y las quemadas. Las ADI estamos comprometidas a promover la conservación del bosque y del patrimonio cultural que heredamos de nuestros ancestros y que heredaremos a nuestros hijos.

MARINA LÓPEZ: PRESIDENTE DE ACOMUITA (Asociación de Mujeres Indígenas Brihri de Talamanca)

La participación de ACOMUITA en el Proyecto Carbono fue muy activa, abierta e importante, ya que se convirtió en una institución co-ejecutora del mismo. Al co-ejecutar el proyecto, ACOMUITA se transformó en una estructura organizativa y administrativa muy sólida y con visión para negociar con otros proyectos de desarrollo en Talamanca. ACOMUITA identifica los siguientes aciertos del Proyecto Carbono: (i) la participación abierta de los productores desde el inicio del proyecto; (ii) la intervención de ACOMUITA en las reuniones de negociación del proyecto, que nos fortalecieron institucionalmente; (iii) la capacitación de jóvenes locales en gerencia y administración dejó una capacidad instalada en la comunidad; y (iv) el entrenamiento de promotores locales en temas de PSA es un recurso valioso que permitirá a ACOMUITA participar en futuros proyectos ambientales.

El Proyecto Carbono creó alianzas entre las ADI; apoyó a las organizaciones de base en aspectos legales y llevó a cabo una capacitación masiva de las asociaciones en aspectos gerenciales, administrativos y estructurales. Ahora, las organizaciones indígenas que participamos en el proyecto tenemos la capacidad de opinar, discutir y negociar con el gobierno y con los proyectos que trabajan en Talamanca para proponer y ejecutar nuevos proyectos. El Proyecto Carbono tuvo dos debilidades principales: (i) la lentitud de las normas administrativas con que trabaja CATIE; y (ii) las consultorías propuestas por CATIE respondieron a las necesidades del proyecto, pero a veces no concordaban con los intereses de las ADI; sin embargo, se discutían y se lograban ajustes y acuerdos.

El proyecto *Captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en cacaotales y otros sistemas agroforestales indígenas en Talamanca, Costa Rica*

Eduardo Somarriba¹, Marilyn Villalobos¹, Levi Sucre, Marina López, Faustina Torres, Abelardo Torres, Kathia Rodríguez

INTRODUCCIÓN

La deforestación, las quemadas y el consumo masivo de combustibles fósiles con fines industriales, comerciales y residenciales emiten gases a la atmósfera que hacen que el aire se caliente y cambie drásticamente el clima mundial. El dióxido de carbono, el metano, los óxidos de nitrógeno y otros gases contribuyen al calentamiento de la atmósfera, por eso se les conoce como *gases de efecto invernadero* (GEI). Los impactos del cambio climático global en las economías de los países son tan severos y de tal magnitud, que los gobiernos han firmado protocolos y convenciones para regular las emisiones y mitigar los impactos acumulados y actuales de las acciones humanas sobre los GEI. El Protocolo de Kyoto, por ejemplo, ha establecido el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para mitigar el cambio climático. La reforestación y el manejo de la regeneración natural de árboles en los campos agrícolas podrían utilizarse para fijar carbono atmosférico, producir madera y otros servicios arbóreos de utilidad para la finca o la venta y, al mismo tiempo, contribuir a la mitigación del cambio climático y recibir un pago por este servicio ambiental. Lo deseable es que anualmente, en cada finca, se *fije* en los árboles más carbono (C) del que se *libera* a la atmósfera con la deforestación y la quema de la vegetación para la agricultura. La meta de cada finca es acumular y retener C en los árboles. A este carbono acumulado lo llamamos *carbono adicional* o +C (se mide en toneladas por hectárea por año). El mercado de certificados de carbono está en una fase de desarrollo y despegue activos.

Costa Rica vivió una de las tasas de deforestación más altas del mundo durante los años 70 y 80. En 1950, los bosques cubrían más de la mitad del país, pero en 1995, la cobertura boscosa había caído al 25%. Aproximadamente el 60% de los bosques (1,2 millones de hectáreas de tierras) está en manos privadas, fuera de parques nacionales y reservas biológicas. Estimaciones del Banco Mundial indican que el 80% de las áreas deforestadas, casi todas en manos privadas, fueron convertidas en pastos y agricultura. La deforestación fue impulsada principalmente por el crédito barato para ganadería y leyes de titulación de la tierra que premiaron la deforestación y la expansión rápida de las redes de carreteras. Esas políticas de incentivos han sido eliminadas o modificadas sustancialmente, tornando Costa Rica en uno de los líderes del desarrollo ambientalmente sostenible.

Los esfuerzos de Costa Rica por internalizar los servicios ambientales provistos por los ecosistemas forestales vienen desde 1979, con la aprobación de la primera Ley Forestal y el establecimiento de incentivos económicos para la reforestación. Leyes posteriores han fortalecido los incentivos para la reforestación, ampliando las oportunidades para que participen grandes y pequeños propietarios rurales. La Ley Forestal 7032, aprobada en 1986, creó el Certificado de Abono Forestal (CAF) para incentivar la reforestación. En 1990, el CAF fue expandido para incluir el manejo sostenible del bosque (CAPMA) y, en 1995, la conservación del bosque (CAP-2000). En 1996, Costa Rica adoptó la Ley Forestal #7575, la cual reconoció explícitamente que los ecosistemas boscosos proveen a la sociedad costarricense de cuatro servicios

¹ Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Corrcos electrónicos: esomarri@catie.ac.cr, marilyn@catie.ac.cr

ambientales: i) disminución de las emisiones de GEI; ii) servicios hidrológicos, incluyendo provisión de agua para consumo humano, riego y producción de energía; iii) conservación de la biodiversidad; y iv) provisión de belleza escénica para recreación y ecoturismo. Esta ley delega responsabilidades y deberes a forestales colegiados y al Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). Costa Rica ha firmado la Convención de Diversidad Biológica (CBD), la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) y ha ratificado la Convención de Pueblos Indígenas de la Organización Mundial del Trabajo. El país ratificó el Protocolo de Kyoto el 9 de agosto de 2002.

El "Proyecto Captura de Carbono y desarrollo de mercados ambientales en cacaotales y otros sistemas agroforestales indígenas en Talamanca", conocido localmente como "Proyecto Carbono" fue diseñado y co-ejecutado por la Asociación de Desarrollo Integral del Territorio Indígena Bribri de Talamanca (ADITIBRI) y Cabécar (ADITICA), la Asociación de Mujeres Indígenas Bribri de Talamanca (ACOMUITA), la Asociación coordinadora indígena y campesina de Agroforestería Comunitaria Centroamericana (ACICAFOC), el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). El Banco Mundial financió el proyecto (TF052118, US\$ 850.000) y lo ejecutó el MINAE con la dirección del CATIE. El proyecto duró 18 meses, entre junio 2004 y diciembre 2006. El Gobierno de Costa Rica (MINAE y FONAFIFO, Fondo Nacional de Financiamiento Forestal) está interesado en identificar los modelos de pagos por servicios ambientales que mejor se ajusten a los 24 territorios indígenas del país, los cuales abarcan 320.886 ha y afectan directamente a 27.041 personas. Se espera que las experiencias del Proyecto Carbono en Talamanca ayuden a identificar modelos aplicables a los demás territorios indígenas del país.

OBJETIVOS DEL PROYECTO CARBONO

General

Mejorar las condiciones de vida de los hogares cacaoteros Bribri y Cabécar de Talamanca mediante la fijación, certificación y venta de +C en los cacaotales, bananales, platanales, patios, bosques de galería y barbechos de sus fincas.

Específicos

- Estimar la capacidad de las fincas para fijar +C
- Fortalecer la organización indígena para la producción, certificación y administración de la compra y

venta de +C

- Diseñar la estrategia de monitoreo, certificación y comercialización de +C
- Evaluar los impactos ambientales, sociales y culturales del mercado de +C
- Gestionar el proyecto en forma participativa, efectiva y eficiente.

LOS PRODUCTOS DEL PROYECTO CARBONO

- Estimamos el potencial de las fincas indígenas de Talamanca para +C y diseñamos un modelo factible de intervención de las fincas y de organización para la certificación, comercialización y administración (compra-venta) de +C en Talamanca y en otros sitios similares en Mesoamérica.
- Elaboramos una propuesta para poner en marcha el mercado de +C en Talamanca indígena.
- Fortalecimos las organizaciones indígenas que gestionarán el eventual negocio de +C en Talamanca.
- Valorizamos el sistema de producción local al incluir los beneficios por el servicio ambiental que presta al fijar C atmosférico en la madera de los árboles.
- Capacitamos e informamos a productores de Talamanca y Mesoamérica en temas sobre cambio climático, métodos de estimación de almacenamiento de carbono y manejo de doseles de sombra en sistemas agroforestales.
- Formamos recursos humanos profesionales: cinco estudiantes de Ingeniería Agroforestal de la Universidad de Nariño (Colombia), un estudiante de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, un estudiante de maestría de la Universidad de Laval (Canadá), tres estudiantes de maestría del CATIE y cinco estudiantes de doctorado de CATIE-Universidad de Idaho (EUA).
- Elaboramos y publicamos materiales educativos, divulgativos y técnico-científicos sobre el potencial de las fincas indígenas para +C.

Ahora que ya hemos (i) calculado cuánto +C se puede fijar en las fincas de Talamanca; (ii) avanzado en el fortalecimiento de la organización indígena que manejaría el mercado de +C; (iii) logrado acuerdos políticos internos entre organizaciones indígenas y entre éstas y más de 500 productores; y (iv) identificado cómo certificar y vender +C, las preguntas son:

- ¿Cómo puede el Gobierno de Costa Rica utilizar la experiencia del Proyecto Carbono para orientar estratégicamente su programa de pagos por servicios

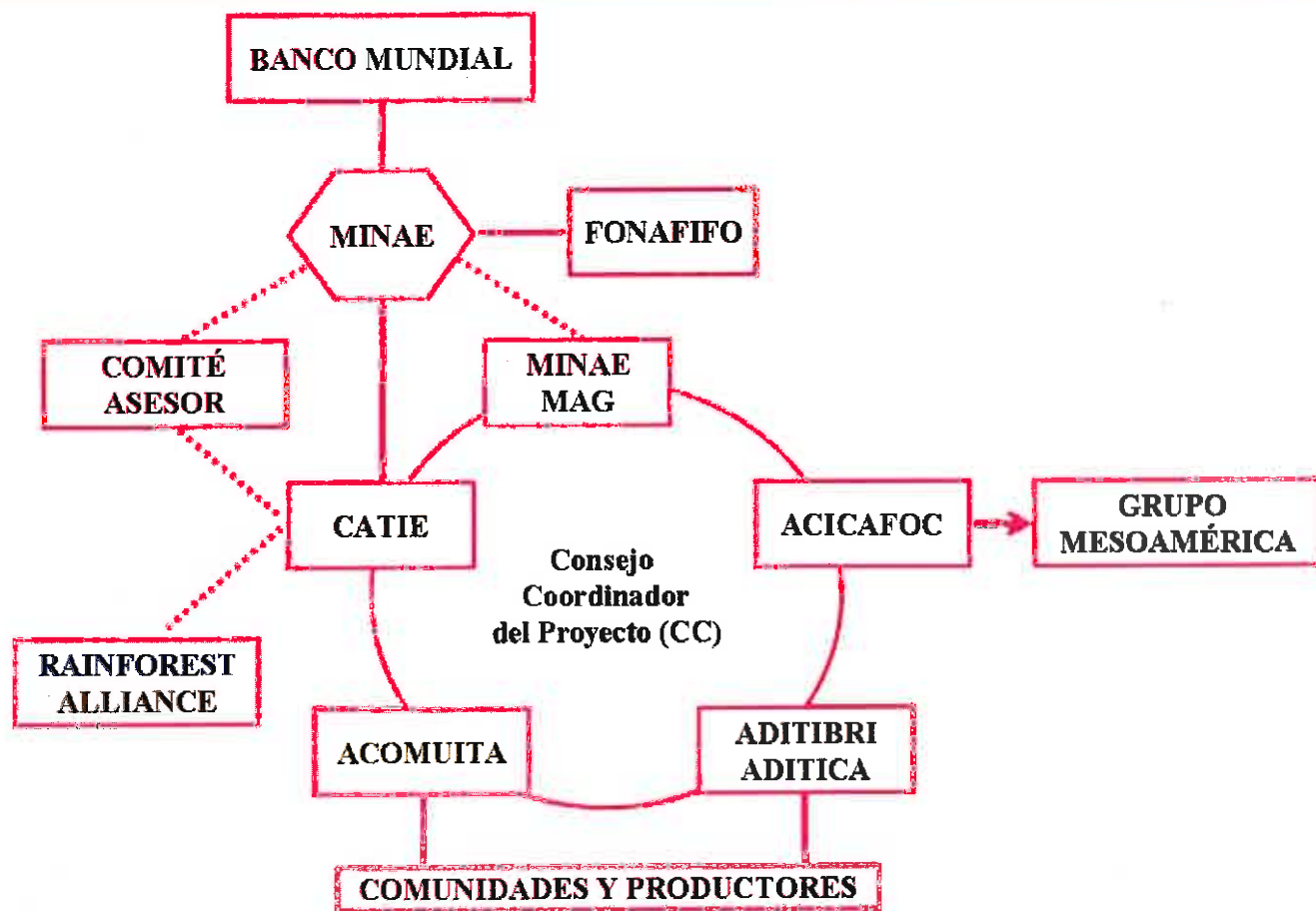


Figura 1. Actores del Proyecto Carbono, Talamanca indígena, Costa Rica. MINAE = Ministerio de Ambiente y Energía (Costa Rica); FONAFIFO = Fondo Nacional de Financiamiento Forestal; MAG = Ministerio de Agricultura (Costa Rica); CATIE = Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza; ACICAFOC = Asociación Coordinadora Indígena y Campesina de Agroforestería Comunitaria Centroamericana; ACOMUITA = Asociación Comisión de Mujeres Indígenas de Talamanca; ADITIBRI y ADITICA = Asociación de Desarrollo Integral del Territorio Indígena Bribri y Cabécar, respectivamente.

ambientales en los territorios indígenas del país?

- ¿Cómo puede FONAFIFO apoyar la comercialización del +C fijado en Talamanca? ¿Es posible incluir esta iniciativa en la cartera de proyectos del Gobierno de Costa Rica?

FONAFIFO ha propuesto desarrollar un Certificado de Servicios Ambientales mediante sistemas agroforestales en fincas indígenas de Talamanca que pueda ser transado en la bolsa agropecuaria de Costa Rica. Este proceso puede durar un par de años.

ACTORES DEL PROYECTO CARBONO

Los actores del Proyecto Carbono y sus interacciones se muestran en Figura 1. La promoción del proyecto entre los hogares productores, líderes comunales y

gobiernos indígenas, así como la adecuación cultural de las intervenciones técnicas, fueron responsabilidad de ACOMUITA. ACICAFOC tuvo tres tareas principales: (i) facilitar la relación entre el CATIE y las organizaciones indígenas; (ii) apoyar la creación y operación del Consejo Indígena del Proyecto Carbono, integrado por ADITIBRI, ADITICA y ACOMUITA, el brazo técnico de los gobiernos indígenas para implementar el proyecto; y (iii) identificar y diagnosticar las organizaciones indígenas y campesinas de Centroamérica que podrían involucrarse en el mercado de +C en sus propias localidades y formar eventualmente una red centroamericana de pequeños productores indígenas y campesinos de +C a quienes la experiencia de Talamanca podría servir de inspiración y contraste. El CATIE proveyó la asistencia técnica y científica para estimar el potencial de las fincas

para +C; enlazó el Proyecto Carbono con el Gobierno de Costa Rica y con el Banco Mundial; y dirigió, administró, dio seguimiento y reportó el proyecto. Rainforest Alliance, una organización privada internacional con amplia experiencia en certificación de madera y productos agrícolas, fue contratada por el proyecto para determinar las mejores opciones de mercado y certificación del +C de Talamanca, dadas las condiciones del mercado mundial y nacional y las peculiaridades, fortalezas y debilidades de Talamanca, sus fincas, productores y organizaciones.

El MINAE participó en el Proyecto Carbono en tres niveles: (i) el Director Regional del MINAE para la región Huetar Atlántica (a la cual pertenece administrativamente Talamanca), junto con el Jefe del Departamento de Agricultura y Agroforestería del CATIE formaron el Comité Asesor —el más alto nivel gerencial del proyecto— para facilitar la implementación política del acuerdo entre el Gobierno de Costa Rica y el Banco Mundial y entre el MINAE (receptor de la donación del Banco Mundial), y el CATIE como ejecutor; (ii) el proyecto fue presentado y discutido con la gerencia superior de FONAFIFO, con quien se continúa el desarrollo del Certificado de Servicios Ambientales con sistemas agroforestales en Talamanca; y (iii) el representante del MINAE en el Cantón de Talamanca participó regularmente en el Consejo Coordinador, el principal órgano de concertación y gestión operativa del Proyecto Carbono en los territorios indígenas.

El Consejo Coordinador se reunió mensualmente para evaluar avances y problemas y para planificar y asignar recursos a todas las operaciones. En el Consejo participó con voz y voto un representante de cada una de las organizaciones co-ejecutoras (ADITIBRI, ADITICA, ACOMUITA, ACICAFOC, MINAE y CATIE).

Asociación de Desarrollo Integral del Territorio Indígena Bribri y Cabécar, (ADITIBRI y ADITICA, respectivamente)

ADITIBRI y ADITICA son asociaciones creadas mediante Decreto Ejecutivo para administrar los territorios indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca. Las ADI (ADITIBRI y ADITICA) son los representantes legales de estos pueblos indígenas ante las instituciones del Estado. ADITIBRI administra un territorio de 46.600 ha de la región sudeste de Talamanca, y cuenta con una población aproximada de 8500 habitantes. ADITICA se constituyó en 1986 y actualmente administra un territorio de 24.706 ha, con cerca de 3500 habitantes. Las

ADI tienen como misión promover, en coordinación con el gobierno, instituciones, municipalidades y otros organismos, el desarrollo económico, social y cultural de la comunidad indígena Bribri y Cabécar. Las ADI administran, representan y desarrollan los Territorios Indígenas y consolidan los derechos territoriales y culturales, individuales y colectivos mediante los órganos comunales. Son el canal de comunicación entre las instituciones no indígenas (gobiernos, cooperación y ONG), las organizaciones y la población indígena.

Asociación Comisión de Mujeres Indígenas de Talamanca (ACOMUITA)

ACOMUITA se fundó en 1995 y está formada por 70 mujeres indígenas bribris que luchan y trabajan unidas para lograr beneficios a favor de las mujeres y de la madre tierra, "Iriria". Los objetivos de ACOMUITA son: (i) promover la participación organizada de las mujeres en las organizaciones existentes en el territorio; (ii) fomentar, en todos los niveles, el respeto a la autonomía de la mujer indígena y a sus decisiones dentro del territorio; (iii) promover el desarrollo y el respeto a los valores culturales para fortalecer la identidad indígena; (iv) facilitar que las mujeres indígenas conozcan y utilicen a su favor los instrumentos legales disponibles; y (v) capacitar a mujeres organizadas para que gestionen y ejecuten proyectos de desarrollo con el financiamiento de la cooperación nacional e internacional.

Asociación Coordinadora Indígena y Campesina de Agroforestería Comunitaria Centroamericana (ACICAFOC)

ACICAFOC es una organización social de base comunitaria centroamericana, sin fines de lucro, que agrupa asociaciones, cooperativas, federaciones y grupos comunitarios organizados de pequeños y medianos productores agroforestales, indígenas y campesinos. La Asociación se constituyó formalmente en junio de 1994, durante el I Encuentro Centroamericano de Forestería Comunitaria realizado en Costa Rica, y tiene como misión buscar la integración socio-productiva local, e impulsar el codesarrollo y la apropiación y uso del conocimiento local de las comunidades indígenas y campesinas de la región. El trabajo de ACICAFOC se guía por cuatro ejes: (i) gestión organizativa, nuevo liderazgo e incidencia; (ii) aprendizaje y comunicación, (iii) pequeñas y medianas empresas de alto valor ambiental y social, y (iv) transferencia de tecnología y producción.



Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE)

El Ministerio del Ambiente y Energía de Costa Rica (MINAE) es la institución encargada de impulsar y apoyar la investigación, la conservación, el uso racional y el control de los recursos naturales, hidrocarburos, mineros y energéticos con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes del territorio nacional. El MINAE ejerce la rectoría en la formulación de políticas, planificación de estrategias y ejecución de acciones relacionadas con el ambiente y recursos naturales; coordina la participación de las demás entidades públicas y privadas en los sectores de ambiente y energía y propicia la participación amplia y responsable de los diferentes sectores de la sociedad civil. El MINAE garantiza la participación comunitaria, la perspectiva de género y el cumplimiento de los compromisos internacionales. Las funciones del MINAE son (i) fomentar el desarrollo de los recursos naturales, energéticos y mineros; (ii) tramitar y otorgar los permisos y concesiones que son de su competencia; (iii) dictar, mediante Decreto Ejecutivo, normas y regulaciones de carácter obligatorio relativas al uso racional y la protección de los recursos naturales, energía y minas; (iv) fomentar y desarrollar programas de formación ambiental en todos los niveles educativos y público general; y (v) inventariar los recursos naturales del país.

Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO)

FONAFIFO se creó en 1996 en el marco de la Ley Forestal 7575 de Costa Rica. El objetivo de FONAFIFO

es financiar a pequeños y medianos productores, mediante créditos u otros mecanismos, para fomentar el manejo del bosque, la reforestación, el uso de sistemas agroforestales, la recuperación de áreas denudadas y los cambios tecnológicos en el aprovechamiento e industrialización de los recursos forestales. FONAFIFO es el responsable de captar recursos para el pago por servicios ambientales por la mitigación de del efecto invernadero, protección del agua, protección de la biodiversidad y la conservación de la belleza escénica.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

El CATIE es una institución regional de investigación, enseñanza de posgrado (maestría y doctorado) y de cooperación técnica en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales con sus Países Miembros (México, República Dominicana, Guatemala, Honduras, El Salvador, Belice, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Venezuela, Colombia, Bolivia y Paraguay). El CATIE fue creado en 1973 como institución regional autónoma asociada al IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Organización de Estados Americanos). El Consejo Superior del CATIE está constituido por los representantes de los Ministros de Agricultura o Ambiente de los Países Miembros. La Junta Interamericana de Agricultura (JIA) actúa como asamblea del Consejo Superior del CATIE. El CATIE mantiene vínculos estrechos con numerosos centros de investigación y universidades en todo el mundo; con las cámaras profesionales y el sector político y técnico

en los países de toda América Latina; y con donantes nacionales, bilaterales y multinacionales.

Rainforest Alliance

Rainforest Alliance es una organización internacional sin fines de lucro, fundada en 1986 y dedicada a la certificación forestal y agrícola. Trabaja para conservar la biodiversidad y asegurar medios de vida sostenibles por medio de la transformación de las prácticas de uso de la tierra, prácticas de negocios y del comportamiento del consumidor.

PUBLICACIONES Y OTROS PRODUCTOS DEL PROYECTO CARBONO

Los resultados del Proyecto Carbono han sido publicados para un variado número de usuarios y en diversos medios.

Tesis de investigación: se desarrolló un número de tesis de pregrado y posgrado en el marco del proyecto. Algunas de estas investigaciones se encuentran ya publicadas y otras están en proceso de finalización:

- Arce, N. 2006. Almacenamiento de carbono en charrales y sistemas agroforestales de cacao y banano en fincas de pequeños productores de territorios indígenas Cabécar y Bribri de Talamanca, Costa Rica. Informe de Práctica de Especialidad. Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 73 p.
- Calero, W. 2006. Producción de madera y carbono de laurel (*Cordia alliodora*) y cedro amargo (*Cedrela odorata* L.) de regeneración natural en cacaotales y bananales indígenas de Talamanca, Costa Rica. Proyecto de tesis. Costa Rica. 38 p.
- Candela, S. 2007. Arreglos institucionales relacionados con el uso y la conservación de recursos naturales en los territorios indígenas Bribri y Cabécar de Alta Talamanca, Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Dahlquist, R. Biología y manejo del picudo negro en los sistemas de producción de banano y plátano de Talamanca.
- Gregoire-Valentín, S. 2006. Cuantificación biofísica y económica del servi-

cio ambiental de secuestro de carbono en barbechos en fincas agroforestales de cacao y banano, en los Territorios Indígenas de Talamanca, Costa Rica.

- Lorion, C. Distribución y ecología de peces en quebradas y ríos pequeños de la cuenca del Río Sixaola.
- Ortiz, A; Riascos, L. 2006. Almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao (*Theobroma cacao* L) y laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken) en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica, Tesis Ing. Agroforestal. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. 111 p.
- Polidoro, B. Calidad de suelos y aguas en el cultivo de plátano de alta producción.
- Schipper, J. Evaluación del estado de conservación de los felinos y su presa en la zona de Talamanca.
- Whelan, M. 2005 Reading the Talamanca landscapes: land use and livelihoods in the Bribri and Cabecar indigenous territories, Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 122 p.
- Winowiecki, L. Ciclo de nutrientes en suelos bajo sistemas agroforestales de cacao y granos básicos en Talamanca, Costa Rica.

Número especial de la revista Agroforestería en las Américas: incorpora más de 15 artículos, incluyendo el editorial, resultados de investigación y metodologías prácticas.

Materiales electrónicos: se produjo un CD que compila todos los documentos producidos por el Proyecto Carbono: informes de consultorías y de pasantías, tesis de investigación e informes del proyecto.

Manuales y materiales para productores: se produjeron dos manuales técnicos para productores:

- Somarriba, E; Quesada, F; Villalobos, M. 2006. La captura de carbono: un servicio ambiental en fincas cacaoteras indígenas. Turrialba, CR, CATIE. 28 p. (Serie Técnica. Manual Técnico no. 64).
- Segura, M; Andrade, H. 2005. Manual de estimación rápida del carbono almacenado en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales indígenas de Talamanca, Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. (Documento interno).

Calendario: se elaboró un calendario del año 2006 con información local de Talamanca, dirigido a todos los actores del Proyecto Carbono.

Bases de datos: 1) Diagnóstico socioeconómico de fincas en Talamanca; 2) Estimación rápida de carbono en fincas de Talamanca; 3) Establecimiento y medición de parcelas permanentes de muestreo para estimar el almacenamiento de carbono en diferentes usos del suelo en Talamanca.

Avances de Investigación

Las fincas indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica

Luis Orozco¹, Marilyn Villalobos¹, Ángela Ortiz, Lorena Riascos, Javier Méndez, Vilmar Sánchez

RESUMEN

Se diagnosticaron 159 fincas cacaoteras en los territorios indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Limón, Costa Rica, recolectando información acerca de los productores y sus familias, usos del suelo, manejo, producción y comercialización de los cultivos, incluyendo listas de las especies arbóreas frutales y maderables más solicitadas por los productores para estimar la línea base de fincas participantes en proyectos de carbono y contar con una descripción sucinta y actualizada de las fincas. El tamaño promedio de las fincas fue de 15 ha; los cinco usos principales de la tierra fueron bosque, cacao, banano, plátano y charrales (vinculados a la producción de arroz y maíz para consumo familiar). Los productores residen y trabajan en las fincas desde hace 20 años y la mayoría son dueños de dos fincas adquiridas por herencia. Las familias indígenas de Talamanca son de cuatro personas, la mayoría trabaja en la finca y tiene baja escolaridad. El ingreso de las familias proviene de la venta de cacao y banano orgánicos, frutales de patio, venta de mano de obra y de madera. El mal estado de los caminos y el alto costo del transporte son los principales problemas de la comercialización. Los productores desean reforestar sus fincas con el apoyo externo en la producción de plantas y asistencia técnica.

Palabras claves: *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, frutales, hogares, maderables, sistemas agroforestales, *Theobroma cacao*, uso del suelo.

Farms of the indigenous Bribri and Cabecar peoples of Talamanca, Costa Rica

ABSTRACT

A total of 159 organic cacao farms in the indigenous Bribri and Cabecar territories of Talamanca, Limón, Costa Rica, were inventoried, gathering information about the farmers and their families, land uses, management, production and commercialization of crops, including lists of the producers' preferred valuable fruit and timber tree species. The mean area of the farms was 15 ha, including five main land uses (forests, cacao, banana and plantain plantations, and fallows). The farmers have lived and worked on their farms for about 20 years. Most of the families have two farms, acquired by inheritance. The indigenous families of Talamanca are typically composed of four members, most of them work on the farm and have a low level of formal education. Family income is acquired through the sale of organic cocoa and bananas, fruits from their home gardens, timber and also from work in activities outside their farms. Poor road condition and high transportation costs were the main barriers for commercialization. In general, producers were interested in reforesting their farms with external support to produce seedlings and in receiving technical assistance.

Keywords: agroforestry systems, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, fruit tree species, households, land use, *Theobroma cacao*, timber species.

INTRODUCCIÓN

Los indígenas bribri y cabécar de Talamanca cultivan cacao (*Theobroma cacao*) y banano (*Musa AAA*) orgánicos asociados con especies leñosas del bosque original, maderables, frutales y árboles de servicio plantados que favorecen la conservación de la biodiversidad y la captura y fijación de carbono (Guiracocha 2000). Los Territorios Indígenas de Talamanca amortiguan y conectan varias áreas del Corredor Biológico Mesoamericano Talamanca-Caribe (Borge y Castillo 1997). El cacao y el banano se cultivan tanto en valle como en ladera, sin utilizar agroquímicos, y son una fuente de dinero en efectivo para las familias. La per-

manencia del cacao y el banano en estos paisajes se encuentra amenazada por los bajos rendimientos y precios de los cultivos. Se requiere mejorar la producción sostenible de los cacaotales y bananales para elevar los ingresos de los productores, y evitar la expansión de cultivos menos diversos y pobremente estructurados (granos básicos y plátano) que reducen el potencial de estas zonas para brindar servicios ambientales a la sociedad (Somarriba y Harvey 2003).

En este artículo se presentan los resultados del diagnóstico agroforestal y socioeconómico de 159 fincas cacaoteras orgánicas indígenas de Talamanca realizado en el año

¹ Proyecto Captura de Carbono, CATIE, Sede Central. Correos electrónicos: lorozco@catie.ac.cr, marilyn@catie.ac.cr

2005, donde se estudió la estructura familiar, tenencia de la tierra, manejo y rendimiento de los cultivos, comercialización de los productos, y planes futuros del productor, y se listan las especies frutales y maderables que prefieren los productores para enriquecer sus fincas.

Este estudio se realizó con tres propósitos: (i) estimar la línea base de las fincas que participarían en proyectos de carbono en los Territorios Indígenas; (ii) diseñar estrategias de manejo y evaluar en forma objetiva los impactos de los proyectos; y (iii) contar con una descripción sucinta y actualizada de las fincas y sus usos de la tierra que pueda ser utilizada por los numerosos actores que inciden en dichos territorios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre abril y agosto del 2005 se diagnosticaron 159 fincas de productores cacaoteros indígenas bribri y cabécares (Cuadro 1). Se utilizó la metodología de planificación agroforestal de fincas (Somarriba 1998) adaptada a las condiciones de Talamanca y a los objetivos del proyecto “Captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en cacaotales y otros sistemas agroforestales en Talamanca, Costa Rica”, del CATIE, el MINAE de Costa Rica, el Banco Mundial y organizaciones indígenas de Talamanca. El equipo técnico del proyecto conformó y capacitó un grupo de 15 promotores locales y cuatro estudiantes de pasantía en métodos participativos para recolectar la información y utilizar instrumentos de medición (GPS, clinómetro, cinta diamétrica y brújula) para realizar los diagnósticos.

Talleres participativos y trabajo de campo

En cada comunidad, los promotores invitaron a los productores orgánicos a un taller donde se presentó

el proyecto y sus objetivos, así como la utilidad de los diagnósticos de las fincas. Con las personas interesadas se formó una lista de 159 fincas por evaluar y se elaboró el calendario de visitas a los productores por comunidad. Los diagnósticos se realizaron mediante entrevistas semiestructuradas y recorridos por la finca, observando con mayor detalle las parcelas de cacao, banano y plátano. Los productores participaron activamente en la recolección de los datos y en la elaboración del croquis de su finca. Se pagó a cada productor US\$ 7 por el día destinado a recorrer y georreferenciar la finca —junto con el equipo de trabajo del proyecto (tres promotores locales y un estudiante)— y recopilar información sobre el uso del suelo, maderables en áreas agrícolas y su frecuencia de aprovechamiento.

En la casa del productor y con la participación de la familia, se realizó la entrevista para recolectar datos socioeconómicos enfocados en la estructura familiar, escolaridad, usos de suelo, tenencia de la tierra, manejo, producción y comercialización de los cultivos, mano de obra, planes del productor para cambiar el uso actual del suelo y listado de especies frutales y maderables preferidas para enriquecer sus campos agrícolas. Las entrevistas duraron entre dos y tres horas por familia. Se georreferenciaron completamente solo fincas menores de 10 ha, mientras que en las fincas más grandes solo se georreferenciaron las parcelas de cacao. La encuesta fue mejorada en cada aplicación. Al finalizar los diagnósticos se organizaron talleres en cada comunidad, donde el promotor presentó los resultados a los productores, entregó el croquis de la finca y brindó recomendaciones específicas para el manejo de los cultivos. La información de los diagnósticos fue compilada en Microsoft Excel y analizada mediante estadísticas descriptivas y análisis de frecuencias (InfoStat 2004). Los valores promedio por uso de suelo se calcularon con base en el número de fincas que reportaron un uso de suelo específico y no sobre el universo de las 159 fincas inventariadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

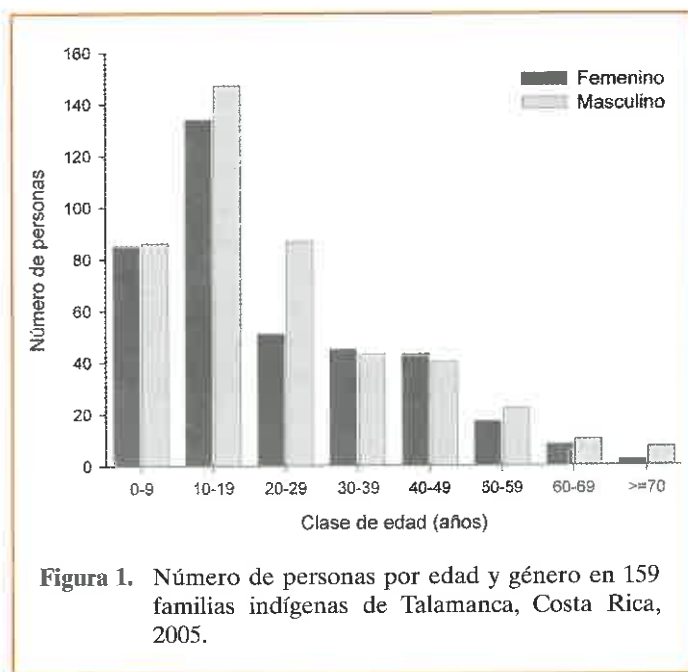
Los productores y las fincas

Los productores residen y trabajan sus tierras desde hace 16 años en promedio, aunque hay productores que trabajan sus tierras desde hace 70 años y otros que han llegado a la zona desde hace apenas un año. La mayoría de los productores (90%) son dueños de dos fincas y el restante 10% posee entre tres y seis fincas. El 67% de los productores obtuvieron su propiedad por herencia, mientras que un 23% la compró, un 9% la obtuvo por concesión y el 2% restante por intercambio de bienes.

Cuadro 1. Número de fincas diagnosticadas por comunidad y tipo de relieve en los Territorios Indígenas de Talamanca, Costa Rica, 2005

Tipo de relieve y comunidad	Número de fincas
Valle	
Katsi	43
Shuabb	21
Watsi	21
Bajo Coen	20
Yorkin	13
Coroma	9
Agua caliente	1
Loma*	
Sibujú	14
San Miguel	11
San Vicente	6
Total	159

Nota: * Comunidades cabécares



El 52% de los entrevistados fueron varones. Se registraron 833 personas en las fincas, de las cuales el 53% fueron varones. Las familias están conformadas por un promedio de cuatro miembros (rango entre 1-14). La mayor parte de la población se concentra entre los 10 y 19 años de edad (Figura 1). El 75% de las familias trabaja en la finca y el restante 25% lo hace en sus fincas y como jornaleros en las fincas comerciales de banano y plátano. El 40% de los miembros de la familia, incluyendo el propietario, ha completado la educación primaria;

el 1% alcanzó estudios secundarios; el 35% no completó la primaria y un 24% no cursó estudios.

El área total diagnosticada en las 10 comunidades fue de 2128 ha, de las cuales 1020,5 ha (48%) se encuentran bajo uso agrícola; el tamaño promedio de finca fue de 15,5 ha ($\pm 12,5$). Las fincas están certificadas como orgánicas por la APPTA (Asociación de Pequeños Productores de Talamanca) o TROBANEX. Se identificaron 11 usos del suelo, siendo los principales bosque, charral (vegetación de sucesión natural de 1-3 años de edad), cacao y banano (Cuadro 2). El bosque, que ocupa el 52% del área total diagnosticada, se destina para la protección de las fuentes de agua y provee de alimentos y otros productos a las familias (palmas, fibras, varas, madera rolliza, medicina y leña). Los charrales son destinados a la producción de granos básicos, principalmente maíz y arroz, para el consumo propio en las fincas más remotas. El promedio de usos por finca fue de cinco, variando entre tres en fincas pequeñas y ocho en las más grandes. En diagnósticos previos en la zona, se reportaron fincas más grandes y más usos de la tierra, pero similar número de usos promedio por finca (Somarriba et ál. 2003).

El 90% de los productores afirmó que el cacao, banano y plátano son sus actividades productivas más importantes porque generan ingresos sustanciales y aportan a la dieta familiar. Otras actividades económicas complementarias fueron la venta de mano de obra en fincas comerciales de banano, el aprovechamiento maderable y el comercio de

Cuadro 2. Usos del suelo en 159 fincas de indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica, 2005 (área diagnosticada: 2128 ha)

Usos del suelo	Frecuencia (% de fincas)	Área total (%)	Área promedio (ha finca ⁻¹)	Área total (ha)
Bosque	38	52	14,6 \pm 17,7	1155,4
Charral ^a	44	19	5,0 \pm 11,3	367,0
Cacao	74	11	2,5 \pm 1,3	226,2
Banano	60	6	1,4 \pm 0,8	126,4
Tacotal ^b	7	3	5,2 \pm 8,5	68,0
Banano-cacao ^c	20	3	2,1 \pm 1,5	81,5
Potrero	9	2	3,3 \pm 2,8	49,5
Plátano	18	2	1,6 \pm 1,5	45,5
Arroz	3	1	0,6 \pm 0,4	1,8
Cacao-bosque ^d	1	0,5	1,7 \pm 1,6	4,5
Maíz	1	0,5	0,8 \pm 0,5	2,2
Total		100		2128,0

Notas: ^aVegetación secundaria de 1-3 años de edad, ^bbosque secundario joven (4-8 años), ^cparcelas con predominancia de banano, ^dcacao cultivado en áreas de bosque.

Cuadro 3. Densidad (individuos ha⁻¹) de árboles maderables no aprovechables (dap ≤ 40 cm) por uso de suelo en fincas indígenas de Talamanca, Costa Rica

Nombre común	Nombre científico	Banano	Cacao	Plátano
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	3,77	5,29	2,87
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	0,13	0,28	1,08
Pilón	<i>Hyceronima alchorneoides</i>	0,02	0,04	0,00
Cashá	<i>Chloroleucon eurycyllum</i>	0,00	0,04	0,02
Cortes	<i>Tabebuia chrysantha</i>	0,00	0,03	0,00
Sura	<i>Terminalia oblonga</i>	0,06	0,04	0,02
Javillo	<i>Hura crepitans</i>	0,00	0,01	0,00
Manú	<i>Vitex cooperi</i>	0,00	0,01	0,02
Almendro	<i>Dipteryx panamensis</i>	0,02	0,00	0,00
Guanacaste	<i>Enterolobium schomburgkii</i>	0,01	0,00	0,00

frutas de patio. El 12% de los finqueros deseaba reemplazar sus cacaotales por banano, dadas las condiciones en el momento de los diagnósticos. En banano, la tendencia fue que el 39% de los encuestados deseaba ampliar la superficie cultivada. La mayoría (90%) de los productores deseaba mantener sus parcelas de plátano, ya que es un producto importante para el consumo propio y una fuente de ingresos complementaria al cacao.

Manejo de los cultivos

Cacao: Se cultivaban en promedio $2,5 \pm 1,3$ ha finca⁻¹, con una edad promedio de 18 años. El 57% de los productores plantaron el cacao a 3×3 m (1111 plantas ha⁻¹), 30% a 4×4 m (625 plantas ha⁻¹) y el restante 13% a 5×5 m (400 plantas ha⁻¹); el promedio ponderado de densidad de plantación del cacao fue de 873 plantas ha⁻¹. El rendimiento anual promedio fue de 265 ± 50 kg ha⁻¹. El 90% de los productores manejaba sus cacaotales con mano de obra familiar, mientras que el resto contrataba jornaleros o trabaja en la modalidad de junta comunal (trabajo recíproco entre miembros de una comunidad). El 98% de los productores aplicaba chapeas (control de malezas con machete) al cacaotal, 87% deschupona, 80% podaba anualmente el cacao y 74% eliminaba frutos enfermos para el control de monilia. El costo estimado de fermentar y secar el cacao en la finca fue de 250 colones kg⁻¹ (US\$ 1 = 477 colones). Estudios previos reportaron cacaotales más viejos y menos productivos que los evaluados en este diagnóstico (Somarriva et ál. 2003).

Banano: Se cultivaba en promedio $1,4 \pm 0,8$ ha finca⁻¹, con una edad promedio de 5 años. El 50% de los pro-

ductores plantó banano a 4×4 m, un 36% a 3×3 m y el 14% restante lo plantó a 5×5 m; la densidad promedio de plantación fue de 768 cepas ha⁻¹. La cosecha es quincenal (78%) o mensual (15%); el rendimiento fue de 6350 kg ha⁻¹ año⁻¹. La mayoría (92%) de los bananales se manejan con mano de obra familiar; 8% utilizan mano de obra contratada o con juntas comunales.

Plátano: Se cultiva en promedio $1,6 \pm 1,5$ ha finca⁻¹ con una edad promedio de 5 años. Las plantaciones se manejan a densidades de 3×3 m (56% de las fincas) o 4×4 m (44%); la densidad promedio de plantación fue 897 cepas ha⁻¹. La cosecha se realizaba quincenal o mensualmente, con un rendimiento 5000 racimos ha⁻¹ año⁻¹. El 90% de los productores manejaba sus platanales con mano de obra familiar y el restante 10% contrataba mano de obra o con juntas comunales. Las principales actividades de manejo de banano y plátano fueron chapeas, resiembras, deshojas y deshijas (99, 82, 73 y 62% de los productores, respectivamente). Los productores que contrataban mano de obra pagaban el jornal de 8 horas a 3000 colones (2500-3500 colones).

Maderables en las fincas y su frecuencia de aprovechamiento

Los productores estimaron la existencia de 1900 árboles maderables en pie en los campos agrícolas de sus fincas. El 65% de estos árboles se encontraban en cacaotales (1250 árboles) y el restante 35% se distribuyeron en bananales (465 árboles) y platanales (185 árboles). En los cacaotales y bananales, se registró mayor densidad de árboles maderables que en los platanales; sin embargo, no se detectaron diferencias estadísticas significati-



Casa en una finca de indígenas bribri en Talamanca (Foto: Rolando Cerda)

vas ($P > 0,05$) en el número de árboles de maderables por uso del suelo (Cuadro 3).

Se contabilizaron 250 árboles maderables aprovechables ($dap \geq 40$ cm) en 1020,5 ha de área agrícola inventariada (equivalente a un árbol aprovechable por cada 4 ha de campos agrícolas). La mayoría (68%) de los árboles en los campos agrícolas de las fincas son de laurel (*Cordia alliodora*) y cedro amargo (*Cedrela odorata*). Varios estudios reportan que los productores de Talamanca manejan árboles maderables de regeneración natural en el dosel de sombra de cacaotales y bananales como una estrategia para diversificar la producción, obtener bienes adicionales (madera, leña, postes, etc) y valorizar la tierra (Suárez 2001, Ramírez et ál. 2001, Ryan et ál. 2003, Somarriba y Harvey 2003, Somarriba et ál. 2003). Los productores han aprovechado 500 árboles maderables de sus fincas en los últimos 5 años (un árbol cada dos hectáreas de campos agrícolas). La mitad de los productores ha tumbado y aserrado 5 ± 5 árboles de laurel y cedro amargo por finca. La mayor parte de la madera se destina a la construcción de casas, botes y, en menor proporción, para postes o venta (Suárez 2001). Otras especies que se aprovechan en menor escala son manú (*Vitex cooperi*), cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) y pilón (*Hyeronima alchorneoides*).

La abundancia de maderables aprovechables en los cacaotales, bananales y platanales es baja. Inventarios más recientes realizados por Arce (2006) indican una

mayor densidad de cedro y laurel en los cacaotales y bananales que las reportadas en este estudio; así, el cedro amargo ocurre a una densidad de 3 y 1 árboles ha^{-1} en zonas de loma y valle, respectivamente; mientras que el laurel es más abundante en loma que en el valle (59 y 35 árboles ha^{-1} , respectivamente). Otros estudios demuestran la abundante regeneración natural de laurel en las fincas indígenas de Talamanca (Guiracocho et ál. 2001, Suárez 2001, Suatunce et ál. 2003).

Transporte y comercialización de los productos

Los productores trasladaron sus productos desde las fincas hasta el centro de acopio a pie (40%), a caballo (30%), en bote (20%) o carro (10%). Los productores que lo hicieron a pie debieron caminar entre 1 y 3 horas para llegar al lugar de venta, mientras que los que lo hicieron a caballo o en carro invirtieron entre 0,5 y 1,5 h. El cacao y el banano se comercializan como productos orgánicos. El 90% de los productores vendió toda la producción de cacao en baba² (250 colones kg^{-1}) a APPTA y el banano (45 colones kg^{-1}) a TROBANEX. El restante 10% de los productores vende en el mercado local. Más de la mitad de los productores (55%) reportó que el mal estado de los caminos, el bajo precio de venta y los altos costos de transporte son los principales problemas que afectan la comercialización de banano y cacao. Los principales cultivos para autoconsumo fueron los granos básicos (maíz, arroz y frijoles) y los frutales de patio.

Especies de plantas preferidas para enriquecer las fincas

Los productores solicitaron 20 especies maderables y 38 especies frutales para enriquecer los campos agrícolas de sus fincas. La mayoría de las especies maderables solicitadas son nativas, mientras que las frutales fueron en su mayoría exóticas (Cuadro 4). Los productores perciben los maderables como una cuenta de ahorro que pueden usar en períodos de bajos precios del cacao o del banano o en alguna emergencia familiar; y los frutales para el comercio local y para mejorar la dieta familiar. Varios autores reconocen la importancia de los maderables y frutales en la economía familiar (Galloway y Beer 1997, Somarriba 1998, Ramírez et ál. 2001, Somarriba et ál. 2001, Trujillo et ál. 2003, López y Somarriba 2005, Orozco y Somarriba 2005, Degrande et ál. 2006). Muchos productores afirmaron estar dispuestos a reforestar sus fincas con el apoyo de proyectos en la

² Cacao recién sacado de la mazorca sin ningún proceso de fermentación.

Cuadro 4. Especies frutales y maderables solicitadas por los productores de Talamanca, Costa Rica, para enriquecer sus fincas, 2005

Nombre común	Nombre científico	Productores solicitantes (%)
Frutales		
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	49
Mamón chino	<i>Nephelium lappaceum</i>	38
Arazá	<i>Eugenia stipitata</i>	28
Biribá	<i>Rollinia mucosa</i>	20
Mamón	<i>Melicoccus bijugatus</i>	18
Zapote colombiano	<i>Quararibea cordata</i>	18
Guanábana	<i>Annona reticulata</i>	17
Manzana de agua	<i>Syzygium malaccensis</i>	13
Aguacate	<i>Persea americana</i>	11
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	9
Carambola	<i>Averrhoa carambola</i>	6
Limón	<i>Citrus lemon</i>	6
Zapote	<i>Pouteria sapota</i>	6
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	6
Guaba	<i>Inga spp.</i>	6
Limón dulce	<i>Citrus aurantifolia</i>	6
Mangostán	<i>Garcinia mangostana</i>	5
Pulazán	<i>Nephelium mutabile</i>	5
Pejibaye	<i>Bactris gasipaes</i>	4
Aviú caimo	<i>Pouteria caimito</i>	4
Mango	<i>Mangifera indica</i>	6
Maracuyá	<i>Passiflora edulis</i>	6
Cas	<i>Psidium friedrichsthalianum</i>	3
Fruta pan	<i>Artocarpus altilis</i>	3
Yuplón	<i>Spondias cytherea</i>	3
Anona	<i>Annona muricata</i>	3
Marañón	<i>Anacardium occidentale</i>	2
Castaña	<i>Bertholletia excelsa</i>	2
Maderables		
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	70
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	60
Cashá	<i>Chloroleucon eurycyclum</i>	38
Manú	<i>Vitex cooperi</i>	30
Pilón	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	9
Almendro	<i>Dipteryx panamensis</i>	6
Guanacaste	<i>Enterolobium schomburgkii</i>	6
Cedro maría	<i>Calophyllum brasiliense</i>	5
Manú negro	<i>Miconia guianensis</i>	5
Caobilla	<i>Carapa guianensis</i>	4
Teca	<i>Tectona grandis</i>	4
Espavel	<i>Anacardium excelsum</i>	4
Eucalipto	<i>Eucaliptus spp</i>	4
Fruta dorada	<i>Viola guatemalensis</i>	3
Gavilán	<i>Pentaclethra macroloba</i>	3
Guayabón	<i>Terminalia amazonica</i>	3
Melina	<i>Gmelina arborea</i>	3
Níspero	<i>Manilkara zapota</i>	2
Roble	<i>Tabebuia rosea</i>	2
Surá	<i>Terminalia oblonga</i>	2

producción de plantas, asistencia técnica y capacitación en la siembra y manejo de los árboles.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las fincas de Talamanca son pequeñas y en ellas se cultiva y comercializa cacao, banano orgánico y otros frutales de patio. La mayoría de los productores son dueños de dos fincas heredadas y han conformado familias pequeñas que residen y trabajan en la finca desde hace dos décadas. La mayor parte de la población fueron varones menores de 20 años de edad y con baja escolaridad. En el momento del diagnóstico, el cacao y el banano fueron los cultivos comerciales más importantes para los productores, mientras que los granos básicos y los frutales de patio se destinaban al consumo propio. Se puede integrar la producción sostenible y la fijación de carbono en las fincas cacaoteras de Talamanca mediante el manejo y enriquecimiento de los cacaotales, evitando el cambio de uso del suelo y reforestando las fincas con especies frutales y maderables valiosas.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Arce, HN. 2006. Almacenamiento de carbono en charrales y sistemas agroforestales de cacao y banano en fincas de pequeños productores de territorios indígenas Cabécar y Bribri de Talamanca, Costa Rica. Costa Rica, Informe de práctica de especialización. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. 73 p.
- Borge, C; Castillo, R. 1997. Cultura y Conservación en la Talamanca indígena. San José, CR, EUNED. 259 p.
- Degrande, A; Schreckenber, K; Mbooso, Ch; Anebeh, P; Okafor, V; Kanmegne, J. 2006. Farmers' fruit tree-growing strategies in the humid zone of Cameroon and Nigeria. *Agroforestry Systems* 67:159-175.
- Galloway, G; Beer, J. 1997. Oportunidades para fomentar la silvicultura en cafetales en América Central. Turrialba, CR, CATIE. 168 p. (Serie Técnica. Informe Técnico no. 285).
- Guiracocha, G. 2000. Conservación de la biodiversidad en los sistemas agroforestales cacaoteros y bananeros de Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 128 p.
- Guiracocha, G; Harvey, CA; Somarriba, E; Krauss, U; Carrillo, E. 2001. Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8 (30): 7-11.
- InfoStat. 2004. InfoStat versión 2004. Grupo Infostat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- López, A; Somarriba, E. 2005. Árboles frutales en las fincas de cacao orgánico del Alto Beni, Bolivia. *Agroforestería en las Américas* 43-44:38-45.
- Orozco, L; Somarriba, E. 2005. Árboles maderables en fincas de cacao orgánico del Alto Beni, Bolivia. *Agroforestería en las Américas* 43-44:46-53.
- Ramírez, OA; Somarriba, E; Ludewigs, T; Ferreira, P. 2001. Financial returns, stability and risk of cacao-plantain-timber agroforestry systems in Central America. *Agroforestry Systems* 51:141-154.
- Ryan, D; Bright, GA; Somarriba, E. 2003. Daño al cacao (*Theobroma cacao*) por el aprovechamiento de *Cordia alliodora* en cacaotales indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 42-45.
- Suatunce, P; Somarriba, E; Harvey, C; Finegan, B. 2003. Composición florística y estructura de bosques y cacaotales en los territorios indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10 (37-38): 31-35.
- Suárez, IA. 2001. Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 74 p.
- Somarriba, E. 1998. Diagnóstico y diseño agroforestal. *Agroforestería en las Américas* 5(17/18):68-72.
- Somarriba, E; Valdivieso, R; Vásquez, W; Galloway, G. 2001. Survival, growth, timber productivity and site index of *Cordia alliodora* in forestry and agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 51: 111-118.
- Somarriba, E; Harvey, C. 2003. ¿Cómo integrar producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas? *Agroforestería en las Américas* 10 (37-38): 12-17.
- Somarriba, E; Trivelato, M; Villalobos, M; Suárez, A; Benavides, P; Moran, K; Orozco, L; López, A. 2003. Diagnóstico agroforestal de pequeñas fincas cacaoteras orgánicas de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 24-30.
- Trujillo, L; Somarriba, E; Harvey, CA. 2003. Plantas útiles en las fincas cacaoteras de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 36-41.

Árboles frutales en los campos agrícolas de las fincas indígenas de Talamanca, Costa Rica¹

Ángela Burgos², Heiber Armero², Eduardo Somarriba³

RESUMEN

Se inventariaron 12 especies frutales prioritarias para la comercialización en las áreas agrícolas de 54 fincas en cinco comunidades de indígenas bribri y cabécar en Talamanca, Costa Rica, con el fin de identificar germoplasma promisorio y recabar datos que permitan diseñar estrategias para promover el enriquecimiento de las fincas con frutales de calidad. Se registró la abundancia, localización de los frutales e información dasométrica (altura total, diámetro, longitud, ancho y forma de la copa). Mediante entrevistas a los productores, se recabó información sobre la forma de propagación y manejo agronómico de los frutales, estado productivo y calidad de las frutas. Además, se construyó una lista de los árboles frutales preferidos por los productores, anotando la cantidad y el lugar potencial de establecimiento de cada especie. Se registraron 627 individuos en cinco usos del suelo: cacao, cacao-banano, huerto casero, huerto casero-cacao, y potrero. *Nephelium lappaceum* fue la especie más abundante, con 213 individuos, seguida por *Citrus limon*, con 88 individuos. El cacao y el huerto casero concentraron la mayor abundancia y riqueza de frutales. La mayoría de los árboles inventariados se concentraron en la clase diamétrica 10-29,9 cm. El 88% de los árboles registrados como productivos fueron considerados de buena calidad por los productores. Los productores solicitaron 2204 árboles de 25 especies para plantarlos principalmente en el huerto casero, cacao y banano.

Palabras claves: mercadeo, inventario, frutales exóticos, frutales nativos, preferencia, *Nephelium lappaceum*, *Theobroma cacao*, organismos indígenas, variedades naturalizadas.

INTRODUCCIÓN

Centroamérica y el Caribe poseen en las frutas un potencial aún no explotado (Morera 1993). Los frutales contribuyen a la diversificación de la producción en la finca, mejoran la rentabilidad y la dieta de los miembros de los hogares, evitan la expansión de monocultivos e incrementan la sostenibilidad ecológica en la región (Morera 1993, Styger et ál. 1999, Mithöfer y Waibel 2003, Hughes y Haq 2004). Las fincas indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica, manejan algunas

Fruit trees on agricultural fields of indigenous farms of Talamanca, Costa Rica

ABSTRACT

We characterized the twelve most important fruit tree species for commercialization in the agricultural areas of 54 farms in five indigenous communities of Bribri and Cabecar peoples in Talamanca, Costa Rica. We measured the abundance and location of fruit trees, as well as dasometric information such as total height, diameter, length and canopy width and shape. Through interviews with farmers, we collected information about propagation methods and agronomic management of species, productive status and fruit quality. In addition, a list was created showing the fruit species preferred by farmers, including the quantity and land use selected for the establishment of each species. A total of 627 individuals were recorded in five land uses: cacao plantations, cacao-banana plantations, domestic gardens, domestic gardens-cacao, and pastures. *Nephelium lappaceum* was the most abundant species, with 213 individuals, followed by *Citrus limon*, with 88 individuals. Cacao plantations and domestic gardens exhibited the highest fruit tree species abundance and diversity. Most of the inventoried trees had diameters of between 10 and 29.9 cm. The farmers described 88% of the trees as producing high quality fruit. Farmers asked for 2204 trees, of 25 different species for planting on their land, mainly in domestic gardens and cacao and banana plantations.

Keywords: marketing, exotic fruits, inventory, native fruits, preference, *Nephelium lappaceum*, *Theobroma cacao*, native species, introduced varieties.

especies frutales en los huertos caseros, cacaotales y bananales con sombra de árboles frutales, tales como aguacate (*Persea americana*), naranja (*Citrus sinensis*), rambután (*Nephelium lappaceum*), zapote (*Pouteria sapota*) y especies maderables (Guiracocha et ál. 2001, Suatunce et ál. 2003).

Varios proyectos han promovido entre los productores indígenas el cultivo de cacao con árboles frutales nativos y exóticos y, a la vez, han ayudado en la comercialización

¹ Basado en: Burgos, A.; Armero, H. 2004. Especies frutales para el enriquecimiento de fincas y aprovechamiento comercial en sistemas agroforestales de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. Tesis Ing Agroforestal, Nariño, CO, Universidad de Nariño. 47 p.

² Universidad de Nariño, Nariño, Colombia. Correos electrónicos: angielilla@hotmail.com, heiber_arza@latinmail.com

³ Grupo Temático Cacao, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Correo electrónico: esomarri@catie.ac.cr

de las frutas a nivel nacional. Sin embargo, no se conoce sobre las existencias de árboles frutales en las fincas, su ubicación, manejo, productividad y calidad (Armero y Burgos 2005). En el presente estudio, se inventariaron 12 especies frutales en 54 fincas indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica. Las 12 especies han sido priorizadas por la Asociación de Pequeños Productores de Talamanca (APPTA) con base en su potencial de mercado nacional orgánico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los Territorios Indígenas Bribri y Cabécar en Talamanca, ubicados en la provincia de Limón, al sureste de la zona atlántica, Costa Rica (9°00'-9°50'N; 82°35'-83°05'O). La temperatura y precipitación promedio anual de la región es de 25,1 °C y 2350 mm, respectivamente. Los suelos presentan pendientes de entre 7 y 15% (Borge y Villalobos 1995). Se inventariaron 54 fincas de productores indígenas bribri y cabécar, distribuidas en cinco comunidades: Amubri I y II, Watsi, San Miguel y Sibujú. Las fincas fueron seleccionadas de la base de datos de los diagnósticos agroforestales de 350 fincas realizados por el proyecto "Cacao Orgánico y Biodiversidad" del CATIE y debían contener alguno de los 12 frutales priorizados con fines comerciales por la APPTA (2001): cas (*Psidium friedrichsthalianum*), carambola (*Averrhoa carambola*), coco (*Cocos nucifera*),

grape fruit (*Citrus paradisi*), guaba caite (*Inga densiflora*), limón criollo (*Citrus aurantifolia*), limón dulce (*Citrus limetta*), limón mandarina (*Citrus limon*), mamón chino (*Nephelium lappaceum*), mandarina (*Citrus reticulata*), mangostán (*Garcinia mangostana*) y zapote colombiano (*Quararibea cordata*).

En cada finca, se visitaron todos los árboles frutales junto al productor y se determinó la especie de cada uno, el uso de la tierra donde se encontró (por ejemplo, en el cacaotal, en el huerto casero, etc.), su estado productivo (improductivo o cosechando), calidad de la fruta, propagación y manejo. Se preguntó al productor cuáles especies frutales y cuántos árboles por especie desearía en cuál uso de la tierra en su finca. Se midió el diámetro a la altura del pecho (dap) de cada individuo y se les agrupó en cinco clases de 10 cm de dap. Se estimó visualmente la densidad (liviana, media, densa), ancho y alto de la copa, y la altura total del árbol. Se establecieron cuatro clases de altura a intervalos de 3 m. Se calcularon estadísticas descriptivas por comunidad y uso de la tierra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Frutales dispersos en las fincas

Se inventariaron 627 árboles frutales de las 12 especies en cinco usos de la tierra (cacao estratificado,

Cuadro 1. Número de árboles frutales por especie y comunidad (54 fincas) en los Territorios Indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica (2004)

Especie	Comunidad					Total	Abundancia relativa (%)
	Watsi	Amubri I	Sibujú	San Miguel	Amubri II		
<i>Nephelium lappaceum</i>	44	42	48	40	5	179	28,5
<i>Citrus limon</i>	57	5	20	2	4	88	14,0
<i>Cocos nucifera</i>	13	22	6	4	6	51	8,1
<i>Citrus reticulata</i>	8	19	16	3	3	49	7,8
<i>Quararibea cordata</i>	1	7	12	25	0	45	7,2
<i>Psidium friedrichsthalianum</i>	9	3	14	12	2	40	6,4
<i>Nephelium lappaceum</i> ^a	2	14	5	11	2	34	5,4
<i>Citrus aurantifolia</i>	12	5	4	1	5	27	4,3
<i>Citrus limetta</i>	10	4	7	1	3	25	4,0
<i>Citrus reticulata</i> ^b	15	0	0	7	2	24	3,8
<i>Averrhoa carambola</i>	5	11	1	5	0	22	3,5
<i>Citrus paradisi</i>	3	7	0	2	1	13	2,1
<i>Garcinia mangostana</i>	3	3	1	6	0	13	2,1
<i>Inga densiflora</i>	0	2	6	1	0	9	1,4
<i>Averrhoa carambola</i> ^c	8	0	0	0	0	8	1,3
Total (individuos)	190	144	140	120	33	627	100
Área total (ha)	41,1	49,0	28,6	26,1	9,0	153,8	
Total (individuos ha⁻¹)	4,6	2,9	4,9	4,6	3,7	4,1	

Notas: ^a variedad amarilla, ^b variedad grande, ^c variedad dulce.

cacao-banano, huerto casero, huerto casero-cacao y potrero), encontrando una densidad promedio de árboles frutales de 4,1 individuos ha⁻¹. Las fincas en las comunidades Watsi y San Miguel presentaron la mayor diversidad de frutales y las fincas de Amubri II fueron las menos diversas (Cuadro 1). La mayor densidad de árboles frutales se encontró en San Miguel y Sibujú y la menor en Amubri I (4,6 y 2,9 individuos ha⁻¹, respectivamente; Cuadro 1). Los sistemas de uso de la tierra con mayor densidad de árboles frutales fueron los huertos caseros y los huertos caseros-cacao con 15,5 y 11,6 individuos ha⁻¹, respectivamente. Esto coincide con lo reportado por López (2005), quien encontró una mayor riqueza y abundancia de frutales en el huerto casero y en los cacaotales. En contraste, los potreros, los cacaotales estratificados y los cacaotales con banano presentaron la menor densidad (1,8; 2,4 y 2,4 individuos ha⁻¹, respectivamente).

N. lappaceum fue la especie más abundante, con 213 individuos, seguida de *C. limon*, con 88 individuos. *I. densiflora* y *A. carambola* fueron las especies menos abundantes. *N. lappaceum* fue la especie más abundante en los cacaotales y *C. limon* fue la más abundante en huertos caseros (125 y 60 individuos, respectivamente). La distribución de los árboles de una especie no fue homogénea entre fincas. Por ejemplo, en la comunidad de San Miguel el 52% del total de árboles de *Q. cordata* se encontraron

en una sola finca; en Watsi, 11 de los 13 individuos de *Cocos nucifera* inventariados se encontraron en una sola finca. El 53-60% de los árboles frutales tuvieron un dap entre 10-30 cm; 5-10 m de altura total y altura de copa entre 3-9 m, con copas de densidad media. El 99% de los productores no maneja sus árboles frutales.

Estado productivo de los frutales y calidad de los frutos

Los productores reportaron 552 árboles productivos en sus fincas (88% de la población total), de los cuales el 88% produjo frutas de buena calidad según el criterio del productor (Cuadro 2). Los descriptores de la calidad del fruto estuvieron frecuentemente relacionados con el tamaño, sabor y preferencia de consumo (por la familia y animales domésticos). Se establecieron criterios de calidad de fruta para cada especie; por ejemplo, un buen fruto de *N. lappaceum* debe ser dulce, grande, con fácil desprendimiento de la pulpa y sano.

Especies frutales preferidas para enriquecer las fincas

Los productores solicitaron 2240 individuos de 25 especies para enriquecer sus fincas en seis usos de la tierra: cacao, patio, banano, tacotal, potrero y cacao-banano. *C. sinensis*, *N. lappaceum*, *Q. cordata*, *A. muricata* y *G. mangostana* fueron las especies frutales preferidas, representando el 73% del total de árboles solicitados (Cuadro 3). El 92% del total de individuos solicitados se planta-

Cuadro 2. Producción y calidad de frutos de las especies más abundantes en las fincas indígenas bitibi y cabécar de Talamanca, Costa Rica (2004)

Especies	Producción promedio (frutos árbol ⁻¹ año ⁻¹)	Árboles con frutos de alta calidad (%)	Descriptores de calidad
<i>Nephelium lappaceum</i> ^a	886 ± 969	91	Dulce, sano, maduro
<i>Nephelium lappaceum</i>	704 ± 550	92	Dulce, pulpa se desprende fácilmente, completamente sano y grande
<i>Averrhoa carambola</i> ^a	650 ± 166	88	Jugosa, grande, sin daños en el fruto
<i>Citrus reticulata</i> ^b	526 ± 367	60	Grande, dulce y sin manchas
<i>Quararibea cordata</i>	415 ± 364	94	Grande, bien maduro, dulce, sin daños en el fruto
<i>Averrhoa carambola</i>	408 ± 283	81	Bien dulce y sin daños en el fruto
<i>Citrus limon</i>	365 ± 328	72	Jugoso, grande, sin manchas en el fruto, sin daño en la cáscara
<i>Citrus reticulata</i>	326 ± 303	97	Jugosa, dulce, sin daños en la cáscara
<i>Citrus aurantifolia</i>	323 ± 382	88	Muy verde, jugoso, olor intenso
<i>Inga densiflora</i>	322 ± 140	100	Grande, pulpa jugosa y de buen sabor
<i>Citrus paradisi</i>	265 ± 214	92	Bien amarilla, grande y jugoso
<i>Citrus limetta</i>	250 ± 241	88	Color amarillo claro, jugoso, muy dulce
<i>Psidium friedrichsthalianum</i>	228 ± 241	97	Grande, sin gusanos, sin aberturas
<i>Garcinia mangostana</i>	133 ± 124	100	Sin daños en el fruto, buen sabor, dulce
<i>Cocos nucifera</i>	88 ± 57	92	Sin rajaduras, carnoso, jugoso

Notas: ^a variedad amarilla, ^b variedad grande; ± desviación estándar

Cuadro 3. Especies y número de árboles frutales preferidos en comunidades bribri y cabécar para enriquecer sus fincas por uso de suelo en Talamanca, Costa Rica (2004)

Especie	Uso del suelo						Total
	HC	C	B	PO	CB	TA	
<i>Citrus sinensis</i>	109	35	500	10	0	0	654
<i>Nephelium lappaceum</i>	216	169	0	15	0	0	400
<i>Quararibea cordata</i>	134	144	0	0	0	0	278
<i>Annona muricata</i>	34	105	22	0	0	0	161
<i>Garcinia mangostana</i>	84	15	15	20	0	0	134
<i>Averrhoa carambola</i>	73	39	0	0	0	0	112
<i>Citrus reticulata</i>	30	15	0	10	30	0	85
<i>Cocos nucifera</i>	50	10	0	5	0	0	65
<i>Morinda citrifolia</i>	0	0	0	0	0	50	50
<i>Psidium friedrichthalianum</i>	25	22	0	0	0	0	47
<i>Nephelium mutabile</i>	14	33	0	0	0	0	47
<i>Citrus limetta</i>	15	20	0	10	0	0	45
<i>Citrus aurantifolia</i>	0	5	0	0	30	0	35
<i>Pourouma cecropiaefolia</i>	4	15	0	0	0	0	19
<i>Averrhoa carambola</i>	8	10	0	0	0	0	18
<i>Pouteria carmito</i>	7	8	0	0	0	0	15
<i>Mangifera indica</i>	10	5	0	0	0	0	15
<i>Rollinia mucosa</i>	13	0	0	0	0	0	13
<i>Annona spp.</i>	10	0	0	0	0	0	10
<i>Eugenia stipitata</i>	10	0	0	0	0	0	10
<i>Inga spp.</i>	0	10	0	0	0	0	10
<i>Dipteryx panamensis</i>	5	0	0	0	0	0	5
<i>Psidium guajava</i>	5	0	0	0	0	0	5
<i>Citrus paradisi</i>	4	0	0	0	0	0	4
<i>Artocarpus heterophyllus</i>	3	0	0	0	0	0	3
Total	863	660	537	70	60	50	2240

Nota: HC= huerto casero, C= cacao, B= banano, PO= potrero, CB cacao-banano, TA= tacotal.

rían en el patio (39%), cacao (29%) y banano (24%); el 8% restante se establecería en potreros, cacao-banano y tacotales. Los frutales son componentes preferidos para diversificar la sombra de cafetales, cacaotales, patios y potreros (Soto 1980, Somarriba 1985, Abbas y Dja'far 1989, Lascano y Pezo 1994, House y Ochoa 1998, Lok et ál. 1998, Bonilla 1999, Zamora et ál. 2001, López y Orozco 2003, Peeters et ál. 2003, Asare 2005) porque además de proveer servicios ecológicos, brindan productos para el consumo y la venta (Somarriba y Harvey 2003). Nueve de las especies frutales solicitadas por los productores en este estudio (*Q. cordata*, *N. lappaceum*, *A. carambola*, *C. sinensis*, *C. reticulata*, *C. nucifera*, *Rollinia mucosa*, *C. aurantifolia* e *Inga spp.*) coincidieron con las solicitadas

en un diagnóstico anterior de 350 fincas (Somarriba et ál. 2003).

CONCLUSIONES

Los frutales más abundantes en las fincas estudiadas fueron *N. lappaceum* y *C. limon*, los cuales se encontraron distribuidos en cinco usos del suelo: huerto casero, huerto casero-cacao, cacao, cacao-banano y potrero. El huerto casero y cacao fueron los usos con mayor abundancia de frutales. La mayoría de los árboles se encuentran en producción y, según la opinión de los productores, son de alta calidad. Los productores indígenas bribri y cabécar solicitaron 2204 individuos, de 25 especies, para enriquecer las



Frutales de coco en un cacaotal de Talamanca, Costa Rica (foto: Eduardo Somarriba)

fincas. Los huertos caseros y las plantaciones de cacao y de banano fueron los usos de suelo preferidos para establecer los árboles frutales.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Abbas, BS; Dja'far, D. 1989. Sensitivity analysis of cocoa cultivation: relative profitability of coconuts and *Leucaena glauca*. *Bulletin Perkebunan* 20(2): 97-103.
- Armero, HY; Burgos, AM. 2005. Especies frutales para el enriquecimiento de fincas y aprovechamiento comercial en diferentes sistemas agroforestales de indígenas Bribri y Cabecar de Talamanca-Costa Rica. Tesis Ingeniería, Pasto, CO, Universidad de Nariño. 112 p.
- Asare, R. 2005. Cocoa agroforest in West Africa. Danish Centre for Forest, Landscape and Planning KVL. 89 p. (Working paper no. 6).
- APPTA (Asociación de pequeños productores de Talamanca). 2001. Asociación de pequeños productores de Talamanca, Costa Rica (en línea). Consultado 12 mar 2004. Disponible en: <http://www.appta.org/>.
- Bonilla, G. 1999. Tipologías cafetaleras en el Pacífico de Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 70 p.
- Borge, C; Villalobos, V. 1995. Talamanca en la encrucijada. San José, CR, UNED. 121 p.
- Guiracocha, G; Harvey, CA; Somarriba, E; Krauss, U; Carrillo, E. 2001. Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30): 7-11.
- House, P; Ochoa, L. 1998. La diversidad de especies útiles en diez huertos caseros en la aldea de Camalote, Honduras. *In Lok, R. ed. Huertos Caseros Tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia, desde un enfoque de género.* Turrialba, CR, CATIE. p. 61-84.
- Hughes, A; Haq, N. 2004. Underutilised Indigenous Fruit Trees. *The Overstory* 136. 4 p.
- Lascano, CE; Pezo, D. 1994. Agroforestry systems in the humid forest margins of tropical America from livestock perspective. *In Copeland, JW; Djajanegara, A; Sabrán, A. eds. Agroforestry and Animal Husbandry for Human Welfare. Proceedings International Symposium.* Bali, Indonesia. p. 17-24.
- Lok, R; Wieeman A; Kass D. 1998. Influencia de las características de sitio y el acceso al agua en huertos de la península de Nicoya, Costa Rica. *In Lok, R. ed. Huertos Caseros Tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia, desde un enfoque de género.* Turrialba, CR, CATIE. p. 29-59.
- López, AM; Orozco, AL. 2003. Tipología y manejo de fincas cafetaleras en San Ramón y Matagalpa. Tesis Ing. Forestal. Managua, NI, UNA. 86 p.
- López, AM. 2005. Enriquecimiento agroforestal de fincas cacaoteras con frutales valiosos en el Alto Beni, Bolivia. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 91 p.
- Mithöfer, D; Waibel H. 2003. Income and labour productivity of collection and use of indigenous fruit tree products in Zimbabwe. *Agroforestry Systems* 59(3): 295-305.
- Morera, J. 1993. Sostenibilidad en el cacao basada en la diversidad genética de los frutales. *In Morera, J; Phillips, W. ed. Sombras y Cultivos Asociados con Cacao.* Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 91-98. (Serie Técnica, Informe Técnico no. 206).
- Peeters, LYK; Soto-Pinto, L; Perales, H; Montoya, G; Ishiki, M. 2003. Coffee production, timber and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 95: 481-493.
- Somarriba, E. 1985. Árboles de guayaba (*Psidium guajava*) en pastizales. 1. Producción de frutas y potencial de dispersión de semillas. *Turrialba* 35(3): 289-295.
- Somarriba, E; Harvey, C. 2003. ¿Cómo integrar producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas? *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 12-17.
- Somarriba, E; Trivelato, M; Villalobos, M; Suárez, A; Benavides, P; Moran, K; Orozco, L; López, A. 2003. Diagnóstico agroforestal de pequeñas fincas cacaoteras orgánicas de indígenas Bribri y Cabecar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 24-30.
- Soto, R. 1980. Proyecto para el estudio de los sistemas de producción de cacao de Sonocusco, Chiapas, México. Instituto de Investigaciones Agrícolas. 50 p.
- Styger, E; Rakotoarimanana, JEM; Rabevohitra, R; Fernandes, ECM. 1999. Indigenous fruit trees of Madagascar: potential components of agroforestry systems to improve human nutrition and restore biological diversity. *Agroforestry Systems* 46: 289.
- Suatunce, P; Somarriba, E; Harvey, C; Finegan, B. 2003. Composición florística y estructura de bosques y cacaotales en los territorios indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 31-35.
- Zamora, S; García, J; Bonilla, G; Aguilar, H; Harvey, CA; Ibrahim, H. 2001. Usos de frutos y follajes arbóreos en la alimentación de vacunos en la época seca en Boaco, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 8(31): 31-38.

Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*)¹

Ángela Ortiz², Lorena Riascos², Eduardo Somarriba³

RESUMEN

Se modeló el crecimiento y el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*) plantados en 1989–1990 en Changuinola, Panamá, para estimar el potencial de captura de carbono de sistemas agroforestales con cacao, uno de los principales usos de la tierra en los Territorios Indígenas. Los sitios difirieron en la densidad de siembra de laurel (6 × 6 m y 12 × 12 m) y en el relieve (loma y valle, respectivamente); el cacao fue plantado a 3 × 3 m en todos los sitios. El carbono almacenado en 25 años varió entre 43–62 t C ha⁻¹, con tasas de acumulación de entre 1,7 y 2,5 t C ha⁻¹ año⁻¹. La acumulación de carbono en estos sistemas podría contribuir a la economía familiar si se crean las condiciones para vender certificados de reducción de emisión de gases de efecto invernadero. Las mayores tasas de acumulación de carbono ocurrieron durante los primeros siete años.

Palabras claves: árboles de sombra, biomasa arriba del suelo, cacao híbrido, cambio climático, modelos de crecimiento, partes aéreas, plantas de sombra.

Carbon storage and fixation rates in agroforestry systems with cacao (*Theobroma cacao*) and laurel (*Cordia alliodora*)

ABSTRACT

We simulated carbon storage and fixation rates in cacao (*Theobroma cacao*) and laurel (*Cordia alliodora*) agroforestry systems planted in 1989 – 1990 in Changuinola, Panamá. The sites differed in the plantation density of laurel (6 × 6 m and 12 × 12 m) and in landscape (hillside and valley, respectively); cacao was planted at 3 × 3 m in all sites. The carbon stored in 25 years varied between 43 and 62 t C ha⁻¹, with accumulation rates between 1.7 and 2.5 t C ha⁻¹ year⁻¹. Carbon accumulation in these systems could contribute to the household economy if a market for carbon certificates for greenhouse gases reduction is created. The maximum carbon fixation rates occurred in the first seven years.

Keywords: aboveground biomass, aerial parts, climatic change, growth models, hybrid cacao plants, shade trees, shade plants.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una de las amenazas más preocupantes para el medio ambiente global, debido su posible impacto negativo sobre la salud humana, la seguridad alimentaria, la economía, los recursos naturales y la infraestructura física (Eguren 2004). El cambio climático es causado por el aumento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, especialmente dióxido de carbono (CO₂). Gran parte del CO₂ emitido a la atmósfera proviene del cambio de uso de la tierra, la deforestación en zonas tropicales, el uso de combustibles fósiles y la producción de cemento

en países desarrollados (Brown y Lugo 1992, Dixon 1995). Los sistemas agroforestales (SAF) pueden fijar y almacenar entre 12 y 228 t C ha⁻¹, incluyendo el carbono orgánico del suelo, lo cual representa entre el 20 y 46% del carbono secuestrado en bosques primarios (Alegre y Ricse 2000, Andrade e Ibrahim 2003, Beer et ál. 2003).

Los SAF de cacao con maderables son uno de los sistemas productivos más importantes en las fincas indígenas de Talamanca, Costa Rica; no solo por los ingresos económicos que generan a las familias, sino también por su contribución a la conservación de biodiversidad y

¹ Basado en: Ortiz, A; Riascos, L. 2006. Simulación del almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*) (Ruiz & pavón Oken) en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica. Tesis Ing Agroforestal. Nariño, CO, Universidad de Nariño. 111 p.

² Universidad de Nariño, Colombia. Correos electrónicos: mychaortiz@yahoo.com.mx, riascoslorena@yahoo.com.mx

³ Grupo Temático Cacao, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Correo electrónico: esomarri@catie.ac.cr

por su función como sumideros de carbono (Somarriba y Harvey 2003). En este trabajo se usan modelos de crecimiento y biomasa para simular el almacenamiento y la fijación de carbono de SAF de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*) (SAF-CL) plantados en 1989 – 1990 en dos fincas experimentales en Changuinola, Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios experimentales

Se han publicado descripciones detalladas de los sitios, las condiciones experimentales, el manejo y crecimiento de los árboles en Somarriba et ál. (1994, 1996a y b). Se evaluó el crecimiento del laurel plantado en dos experimentos en Changuinola, Panamá:

1) *Laurel-cacao híbrido*, plantado en 1989, compuesto por cuatro parcelas de 36 árboles, con 16 árboles útiles, plantados a 6 × 6 m en condiciones de loma en la comunidad de Ojo de Agua (Somarriba et ál. 1996b). Los árboles se midieron anualmente (dap y altura total) entre 1990-1999 y nuevamente en el 2005.

2) *Laurel-cacao injertado-plátano*, plantado en 1990, compuesto por seis parcelas de 0,25 ha cada una, con un total de 103 árboles útiles, plantados a 12 × 12 m en condiciones de valle en la comunidad de Charagre (Somarriba 1994, Somarriba et ál 1994, Somarriba et ál 1996a). Los árboles se midieron anualmente entre 1991 – 1999 y en el 2005.

El desarrollo de las plantas de cacao (mezclas de seis cruces interclonales o cacao híbrido) se midió en las parcelas de Ojo de Agua (114 plantas útiles) en el mismo período de medición de los laureles. Los modelos de crecimiento del cacao (D_{30} : diámetro del tronco a 30 cm sobre el suelo) incluyeron, además, 1932 árboles híbridos medidos durante ocho años en la Finca La Lola del CATIE en Matina, Limón (Proyecto “*Moniliasis resistant hybrid experiment at*

La Lola farm”), con condiciones de suelo y clima similares a las de Charagre. Los suelos de los ensayos en Charagre y Matina son inceptisoles, derivados de depósitos aluviales, clasificados como Fluvaquentic Eutropept y caracterizados por tener un nivel freático a más de 140 cm de profundidad y un riesgo leve de inundación. La fertilidad es alta, con un pH de 5,7–5,9, una capacidad de intercambio catiónico de 31 cmol(+) l⁻¹, saturación de bases del 91% y contenidos de materia orgánica de entre 2,6 y 4,0% en los primeros 20 cm de profundidad. En Ojo de Agua, los suelos son Aeríc Tropaquept y Aquic Distropept, originarios de rocas volcánicas depositadas sobre rocas sedimentarias del Terciario, tienen un drenaje natural pobre, profundidad efectiva de 60-90 cm, textura arcillo-limosa en los primeros 30–40 cm del perfil y arcillosa a profundidades mayores, con un pH de 5,1 y contenidos de materia orgánica del 6,2% en los primeros 20 cm de profundidad (Nieuwenhuys 1994).

Se ajustaron modelos de regresión para describir el crecimiento de laurel y cacao con registros de 16 años y se extrapoló hasta los 25 años. Se estimó la biomasa total aérea de cacao y laurel empleando los modelos alométricos desarrollados por Andrade et ál. (en preparación). La biomasa de las raíces (B_r) se estimó multiplicando la biomasa aérea (B_a) por 0,13 (MacDiken 1997). La biomasa total por árbol se obtiene sumando B_r y B_a . El carbono total por árbol (cacao y laurel) se obtuvo multiplicando la biomasa total por árbol por una fracción de carbono de 0,46 (Segura 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento de laurel y cacao

Los modelos que mejor predijeron el dap y la biomasa fueron de tipo exponencial (Cuadro 1). Se estimó que, en promedio, un árbol de laurel de 25 años de edad presentaría un dap de 48 y 39 cm en Charagre y Ojo de Agua, respectivamente. Se encontró un incremento

Cuadro 1. Modelos de crecimiento y acumulación de biomasa de laurel (*Cordia alliodora*) y cacao (*Theobroma cacao*) en sistemas agroforestales en Matina, Costa Rica y Ojo de Agua y Charagre, Panamá

Especie	Sitio	Densidad (individuos ha ⁻¹)	Modelo	R ²
<i>Cordia alliodora</i>	Charagre	69	dap = e ^(4,0-0,11E)	0,95
			B _r = e ^(7,2-0,26E)	0,95
	Ojo de Agua	278	dap = e ^(3,8-0,37E)	0,93
			B _r = e ^(6,9-0,7E)	0,93
<i>Theobroma cacao</i>	Ojo de Agua y Matina	1111	D ₃₀ = 0,37 ⁵ E ^{0,76}	0,75
			B _r = -2,02 + 0,19 ⁵ E - 3,7 × 10 ⁻⁴ E ²	0,68

Notas: dap = diámetro a la altura del pecho (cm), e = base de logaritmos naturales, E = edad (meses), B_r = biomasa total (kg árbol⁻¹), D₃₀ = diámetro del tronco a 30 cm de altura (cm)



Sistema agroforestal cacao-laurel (foto: Leigh Winowiecki)

medio anual (IMA) en dap de 1,9 y 1,6 cm año⁻¹ en valle y loma, respectivamente. El máximo incremento corriente anual (ICA) en dap para valle y loma se presentó al segundo año de edad (7,9 y 7,5 cm año⁻¹, respectivamente), mientras que el máximo IMA ocurrió al tercer y cuarto año en valle (5,7 cm año⁻¹) y al tercer año en loma (5,3 cm año⁻¹). En promedio, un árbol de laurel puede acumular 1,0 t de biomasa en condiciones de valle y 0,76 t en loma en 25 años. Un árbol de cacao presentaría un diámetro a 30 cm de altura de 28 cm, a los 25 años de edad, con incrementos de 1,1 cm año⁻¹; un individuo de cacao puede acumular, en promedio, 22 kg de biomasa a la edad de 25 años.

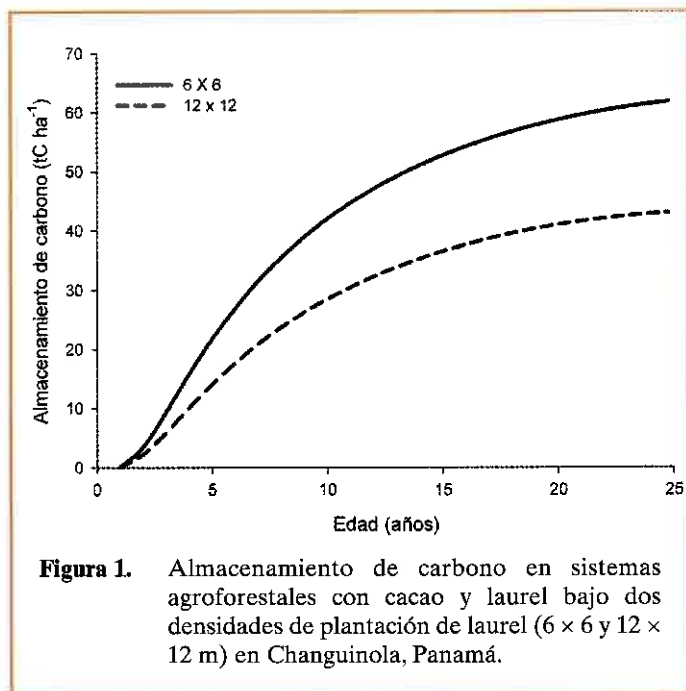


Figura 1. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con cacao y laurel bajo dos densidades de plantación de laurel (6 × 6 y 12 × 12 m) en Changuinola, Panamá.

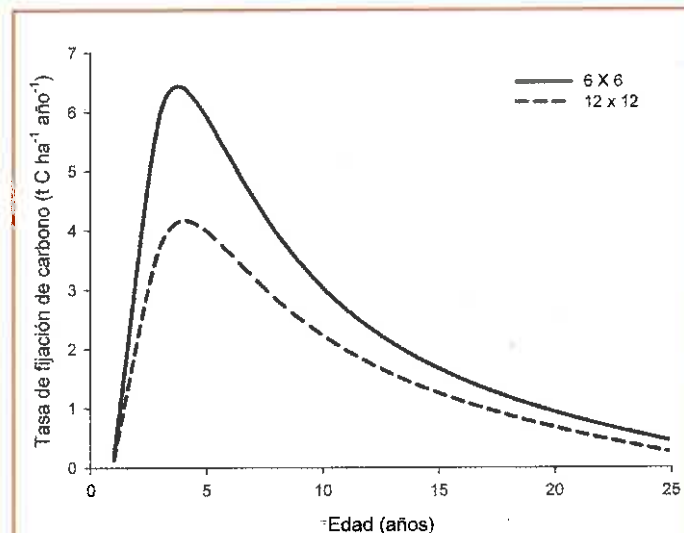


Figura 2. Incremento medio anual de carbono en sistemas agroforestales con cacao y laurel bajo dos densidades de plantación de laurel (6 × 6 m y 12 × 12 m), en Changuinola, Panamá.

Almacenamiento de carbono

En 25 años, los sistemas laurel-cacao almacenaron entre 43 y 62 t C ha⁻¹ (Figura 1); el laurel fijó entre 80-85% del carbono total en la biomasa. Estos resultados concuerdan con lo encontrado en otro estudio en Talamanca, que encontró entre 42 y 61 t C ha⁻¹ en cacaotales arbolados en loma y valle (Segura 2005). Albrecht y Kandji (2003) reportan almacenamiento de carbono similares para sistemas agroforestales en zonas bajas húmedas de Sudamérica (39-102 t C ha⁻¹). En cafetales asociados con *Eucalyptus deglupta*, se reportan existencias de carbono de entre 10,6 y 12,6 t C ha⁻¹ a los 4 y 10 años de edad, respectivamente (Ávila et ál. 2001).

Los sistemas cacao-laurel fijaron entre 1,7 y 2,5 t C ha⁻¹ año⁻¹ en 25 años (Figura 2). Segura (2005) encontró tasas de acumulación de carbono muy similares (2,1 y 2,8 t C ha⁻¹ año⁻¹) en cacaotales con 100-150 árboles ha⁻¹ en Talamanca. La máxima tasa de acumulación de carbono se presentó en el cuarto año, con un ICA de entre 4,2 y 6,4 t C ha⁻¹ año⁻¹ para espaciamientos de 12 × 12 m en valle y 6 × 6 m en loma, respectivamente (Figura 2). En Caldas, Colombia se estimó que el laurel (200 árboles ha⁻¹) en cacaotales fija 3,3 t C ha⁻¹ año⁻¹ y alcanza un total de 49,4 t C ha⁻¹ de carbono a los 15 años de edad (Aristizábal y Guerra 2002).

CONCLUSIONES

Los sistemas agroforestales con cacao y laurel en Changuinola, Panamá, almacenaron entre 43-62 t C ha⁻¹ en 25 años, lo que equivale a 1,7-2,5 t C ha⁻¹ año⁻¹.

Este servicio ambiental de secuestro de carbono podría aportar ingresos económicos adicionales a los hogares si se logran vender los certificados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Albrecht, A; Kandji, ST. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99(1-3): 15-27.
- Alegre, J; Ricse, A. 2000. Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la Amazonía peruana (en línea). s.f. Disponible en: <http://www.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/vbconfe7.htm>.
- Andrade, H; Ibrahim, M. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas* 10(39-40): 109-116.
- Andrade, H; Segura, M; Somarriba, E; Villalobos, M. Biomass equations to estimate aboveground biomass of woody components in indigenous agroforestry systems with cacao. *En preparación*
- Aristizábal, J; Guerra, A. 2002. Estimación de la tasa de fijación de carbono en el sistema agroforestal nogal cafetero *Cordia alliodora*-cacao *Theobroma cacao*-plátano *Musa paradisiaca*. Tesis de grado (Ingeniero Forestal). Universidad Distrital de Bogotá, Colombia. 108 p.
- Ávila, G; Jiménez, F; Beer, J; Gomez, 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.
- Beer, J; Harvey, C; Ibrahim, M, Harmand, JM; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 80-87.
- Brown, S; Lugo, A. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17(1): 8-18.
- Dixon, R. 1995. Sistemas agroforestales y gases invernadero. *Agroforestería en las Américas*. 2(7): 22-26.
- Eguren, L. 2004. El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas. Santiago, Chile, CEPAL. 83 p. (Serie Medio Ambiente y Desarrollo).
- MacDicken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, US, Winrock International Institute for Agricultural Development. 91 p.
- Nieuwenhuysse, A. 1994. Los suelos de los sitios del Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ Cantón de Talamanca, Costa Rica y Distrito de Changuinola, Panamá. Turrialba, CR, CATIE. 133 p.
- Segura, M. 2005. Estimación del carbono almacenado y fijado en sistemas agroforestales indígenas con cacao en la zona de Talamanca, Costa Rica. Turrialba: Proyecto Captura de Carbono y Desarrollo de Mercados Ambientales en Sistemas Agroforestales Indígenas con Cacao en Costa Rica (TF-052118), 2005. 139 p. (Informe final de consultoría).
- Somarriba, E. 1994. Sistemas cacao-plátano-laurel: el concepto. Turrialba, CR, CATIE. 33 p. (Serie Técnica, Informe Técnico no. 226).
- Somarriba, E; Beer J; Bonnemann, A. 1996a. Maderables y leguminosos como sombra para cacao en Talamanca Costa Rica y Bocas del Toro Panamá. Turrialba, CR, CATIE. 56 p. (Serie Técnica, Informe Técnico no. 274).
- Somarriba, E; Domínguez, L; Lucas, C. 1996b. Cacao bajo sombra de maderables en Ojo de Agua, Changuinola, Panamá: manejo, crecimiento y producción de cacao y madera. Turrialba, CR, CATIE. 47 p. (Serie Técnica, Informe Técnico no. 276).
- Somarriba, E; Domínguez, L; Lucas, C. 1994. Cacao-plátano-laurel: manejo, producción agrícola y crecimiento maderable en Changuinola Panamá. Turrialba, CR, CATIE. 54 p. (Serie Técnica, Informe Técnico no. 233).
- Somarriba, E; Harvey, C. 2003. ¿Cómo integrar simultáneamente producción sostenible y conservación de la biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas? *Agroforestería en las Américas* 10(37-38).

Existencias de carbono en charrales y sistemas agroforestales de cacao y banano de fincas indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica¹

Natalia Arce², Edgar Ortiz³, Marilyn Villalobos⁴, Silvia Cordero³

RESUMEN

Se estimó el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales (SAF) con cacao y banano y en charrales <10 años en 154 fincas de Talamanca indígena, Costa Rica, para construir una línea base de carbono y estimar la adictonalidad de carbono de un eventual proyecto de captura y venta de este servicio ambiental. Se establecieron y midieron 158 parcelas temporales de muestreo y se usaron modelos alométricos para estimar la biomasa arbórea en pie. El carbono almacenado por los SAF con cacao fue superior al almacenado por los SAF con banano y por los charrales (36,5, 24,0 y 23,5 t C ha⁻¹, respectivamente). Las fincas ubicadas en el valle acumularon más biomasa y carbono en los árboles (dap > 10 cm) que las localizadas en loma. Los árboles maderables de sombra de los cacaotales de Talamanca aportaron cerca del 38% del total del carbono almacenado, *Cordia alliodora* es la especie que más carbono almacena. Es necesario enriquecer las fincas con árboles maderables valiosos, aumentar la captura de carbono y generar ingresos complementarios por la venta de este servicio ambiental a la sociedad.

Palabras claves: cambio climático, *Cordia alliodora*, plantas de sombra, *Theobroma cacao*, servicios ambientales.

Carbon storage in fallows and agroforestry systems with cacao and banana on indigenous farms of the Bribri and Cabecar peoples of Talamanca, Costa Rica

ABSTRACT

The capacity for carbon storage in agroforestry systems (AFS) with cacao and with banana and in fallows <10 years old, in the indigenous zone of Talamanca, Costa Rica, was estimated in 154 farms, 158 temporal sample plots and allometric models were used to estimate carbon storage. More carbon was stored in AFS with cacao than in AFS with banana or fallows (36.5, 24.0 and 23.5 t C ha⁻¹, respectively). Farms in the valley stored more carbon in trees (dbh > 10 cm) than those on the foothills. The shade timber tree species in the AFS with cacao contributed 38% of total carbon storage in aboveground biomass, where *Cordia alliodora* was the most important species. We conclude it is necessary to enrich farms with valuable trees to capture carbon for sale while producing fruits, timber and other goods and services for both households and society.

Keywords: climate change, *Cordia alliodora*, environmental services, *Theobroma cacao*, shade plants.

INTRODUCCIÓN

Los gases de efecto invernadero aumentan cada día, provocando cambios en el clima de todo el mundo (Dixon 1995, Alfaro 1997, Montenegro y Abarca 2002). La concentración de CO₂ en la atmósfera, el cual es uno de los principales gases responsables del calentamiento global, ha aumentado en más de un 25% desde 1800 (EPA 1994). La emisión de CO₂ a la atmósfera por la deforestación en áreas tropicales sólo es superada por la emisión debida al consumo

mundial de combustibles fósiles (Veldkamp 1993). Los sistemas agroforestales (SAF) pueden retener y aumentar las reservas de carbono en la vegetación y en el suelo (Kursten y Buschel 1993), con tasas de fijación de entre 0,1 y 4,3 t C ha⁻¹ año⁻¹ (Kursten y Buschel 1993, Beer et ál. 2003).

Los productores indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica, cultivan cacao, banano, plátano, frutales de patio y manejan charrales (vegetación secundaria

¹ Basado en: Arce H, N. 2006. Almacenamiento de carbono en charrales y sistemas agroforestales de cacao y banano, en fincas de pequeños productores de territorios indígenas Cabécar y Bribri de Talamanca, Costa Rica. Tesis Bachiller Ing. For. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 73 p.

² Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago, Costa Rica. Correo electrónico: nataliahe@gmail.com

³ Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago, Costa Rica. Correos electrónicos: eortiz@itcr.ac.cr, scordero@itcr.ac.cr

⁴ Grupo CACAO, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Correo electrónico: marilyn@catie.ac.cr

Cuadro 1. Ecuaciones alométricas empleadas para la estimación de biomasa arriba del suelo de árboles individuales en cacaotales, bananales y charrales de Talamanca, Costa Rica

Especies	Modelo	R ² ajustado	Fuente
<i>Theobroma cacao</i>	$B_t = 10^{(-1.63 + 2.63 \log(d_{30}))}$	0,98	
<i>Cordia alliodora</i>	$B_t = 10^{(-0.76 + 2.38 \log(dap))}$	0,94	Andrade et ál (en preparación)
Frutales	$B_t = 10^{(-1.11 + 2.64 \log(dap))}$	0,95	
Palmas: <i>Euterpe precatoria</i> y <i>Phenakospermum guianensis</i>	$B_t = 6,67 + 12,83 \cdot h_t^{0,54} \ln(h_t)$	0,75	IPPC (2003)
<i>Bactris gasipaes</i>	$B_t = 0,74 \cdot h_t^2$	0,95	Szott et ál (1993)
Otras especies tolerantes a la sombra	$B_t = 0,017 \cdot dap^{1,67} \cdot h_t^{1,44}$	0,98	
Otras especies intolerantes o parcialmente tolerantes a la sombra	$B_t = 0,014 \cdot dap^{1,85} \cdot h_t^{1,26}$	0,97	Ortíz (1997)
Otras especies de bosques	$B_t = 10^{(-1,87 + 2,72 \log(dap))}$	0,89	Proyecto LUCAM (en preparación)
Árboles dap > 60 cm	$B_t = e^{(0,76 + 0,00015 \cdot dap^2)} + 1000$	0,71	Segura y Kanninen (2005)

Notas: B_t = biomasa total arriba del suelo (kg árbol⁻¹), d_{30} = diámetro del tronco (cm) a 30 cm sobre el suelo, dap = diámetro a 1,30 m del suelo (cm), h_t = altura total (m); log = logaritmo en base 10, ln = logaritmo natural base e.

joven) para la producción de granos básicos (arroz, maíz y frijoles) (Somariba *et al.* 2003). El cacao y el banano se cultivan tanto en ladera como en valle bajo diversos SAF y sin utilizar agroquímicos. El dosel de sombra de los cacaotales y bananales contiene árboles remanentes del bosque original, maderables de regeneración natural, frutales y árboles de servicio plantados (Somarriba y Harvey 2003) que desempeñan un papel clave en la acumulación y fijación de carbono en las fincas. Esto brinda la oportunidad a los productores de obtener ingresos adicionales por la venta de este servicio ambiental a la sociedad (Beer *et al.* 2003). En este artículo, se presentan los resultados del inventario de carbono en los cacaotales, bananales y charrales de 154 fincas de productores indígenas en Talamanca, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los Territorios Indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, ubicados en la provincia de Limón, al sureste de la Zona Atlántica, Costa Rica (9°00'-9°50'N;

82°35' -83°05'O). La temperatura y precipitación promedio anual son de 25,1 °C y 2350 mm, respectivamente. Los terrenos del área de estudio presentan pendientes de entre 7 y 15% (Borge y Villalobos 1995).

Se diagnosticaron 158 fincas, en tres comunidades cabécar (San Miguel, San Vicente, Sibujú) y seis comunidades bribri (Uatsi, Katsi, Shuabb, Yorkin, Coroma y Bajo Coen). Los diagnósticos constaron de dos partes: (i) caracterización socioeconómica del productor y su familia (no se incluye en este artículo) y (ii) mapeo e inventario de carbono en los SAF (con cacao y con banano) y charrales de menos de 10 años de edad. En el inventario de carbono se establecieron 158 parcelas temporales de muestreo de forma circular (102 en SAF con cacao, 44 en SAF con banano y 12 en charrales) con un radio de 15 m (706,86 m²). Se midió el dap de los árboles (maderables, no maderables, frutales) y palmas mayores a 10 cm de dap, así como el diámetro del tronco a 30 cm del suelo de todas las plantas de cacao.

Cuadro 2. Densidad arbórea, biomasa total arriba del suelo y carbono total en biomasa arriba del suelo en sistemas agroforestales (SAF) con banano y cacao y en charrales, en valle y lomas de Talamanca indígena, Costa Rica

Sistema	Loma			Valle		
	Densidad arbórea (árboles ha ⁻¹)	Biomasa (t ha ⁻¹)	Carbono total (t ha ⁻¹)	Densidad arbórea (árboles ha ⁻¹)	Biomasa (t ha ⁻¹)	Carbono total (t ha ⁻¹)
SAF Cacao	659	83	41	676	65	32
Charrales	179	28	14	349	67	33
SAF Banano	116	35	18	129	60	30
Promedio	318	49	24	385	64	32

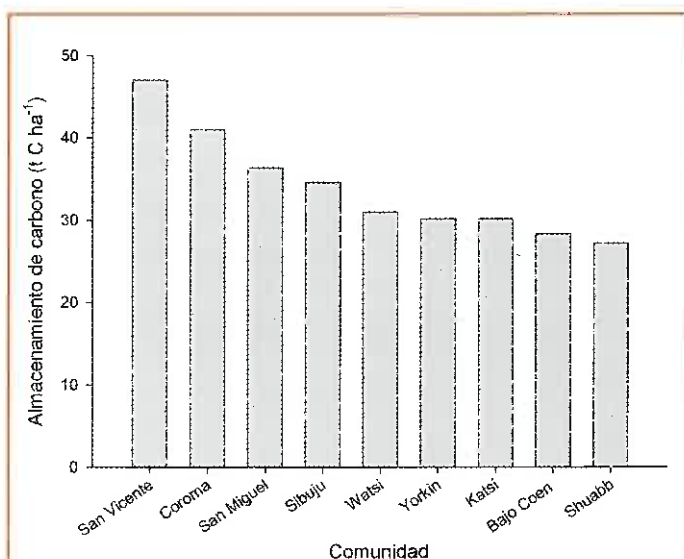


Figura 1. Carbono promedio almacenado (t C ha⁻¹) en SAF con cacao, SAF con banano y charrales en diferentes comunidades indígenas de Talamanca, Costa Rica.

La biomasa arriba del suelo se estimó usando ecuaciones alométricas, algunas de las cuales fueron desarrolladas localmente y otras obtenidas de la literatura (Cuadro 1). Se estimó el carbono almacenado multiplicando la biomasa por una fracción de carbono de 0,5, excepto para laurel (0,46), cacao (0,46) y frutales (0,47), para los que se utilizó fracciones de carbono reportadas por Segura (2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El SAF con cacao acumuló más carbono que los demás sistemas, superando en 52 y 55% a los SAF con banano y charrales, respectivamente (36,5; 24,0 y 23,5 t C ha⁻¹, respectivamente; Cuadro 2). Esto se debió principalmente a que los SAF con cacao tuvieron la mayor densidad de plantas con dap \geq 10 cm (668, 264 y 123 árboles ha⁻¹ en SAF con cacao, charrales y SAF con banano,

respectivamente). En promedio, las fincas ubicadas en el valle almacenaron un 30% más de biomasa y carbono que las fincas ubicadas en lomas (Cuadro 2), lo cual concuerda con una mayor densidad arbórea en el valle (21% más que en ladera). Los charrales y los SAF con banano almacenaron más carbono en el valle que en las lomas. Esto contrasta con una mayor existencia de carbono en SAF con cacao en lomas en comparación a los encontrados en valle (Cuadro 2).

El carbono almacenado en los diferentes usos de la tierra fue similar en todas las comunidades (20-40 t C ha⁻¹), excepto en San Vicente, donde se reportó casi 50 t C ha⁻¹ (Figura 1), debido a que en esta comunidad la mayoría de las plantaciones de cacao fueron viejas y presentaron árboles grandes de cacao. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Segura (2005) en la misma área de estudio, con un promedio de 42,1; 27,7 y 20,3 t C ha⁻¹ para SAF con cacao, charrales y SAF con banano, respectivamente. En contraste, los SAF con cacao de Talamanca almacenaron menos carbono que cafetales de Chiapas, México (87 t C ha⁻¹) (De Jong et ál. 1997). El almacenamiento de carbono en el SAF con banano y charrales en las fincas de Talamanca fue mayor a lo reportado por Ruiz (2002) para árboles dispersos en pastos y charrales (8,2 y 12,5 t C ha⁻¹, respectivamente).

En Talamanca, los árboles maderables de sombra de los cacaotales almacenan, en promedio, el 38% del carbono total de la biomasa arriba del suelo. *Cordia alliodora* es la especie que más carbono almacena (32%), debido a su abundancia (Cuadro 3). En Talamanca, los árboles maderables aportan menos carbono al SAF cacao que en otros estudios, debido a las bajas densidades con las que se manejan. *C. alliodora*, a una densidad de 47 árboles ha⁻¹, acumuló 11,5 t C ha⁻¹, mientras que *C. odorata* acumuló solo 1,3 t C ha⁻¹ con una densidad de 2 árboles ha⁻¹ en cacaotales (Cuadro 3). A pesar de no ser una especie maderable, el cacao acumuló el 19% del carbono

Cuadro 3. Densidad arbórea, biomasa total arriba del suelo y carbono total en biomasa arriba del suelo por especie y relieve en cacaotales de Talamanca indígena, Costa Rica

Especie	Loma			Valle		
	Densidad arbórea (árboles ha ⁻¹)	Biomasa (t ha ⁻¹)	Carbono total (t ha ⁻¹)	Densidad arbórea (árboles ha ⁻¹)	Biomasa (t ha ⁻¹)	Carbono total (t ha ⁻¹)
Otras especies	102	40	19	81	29	14
<i>Cordia alliodora</i>	35	28	14	59	18	9
<i>Theobroma cacao</i>	519	15	7	535	16	7
<i>Cedrela odorata</i>	3	1	0,5	1	3	2
Total	659	84	40	676	66	32

no en biomasa arriba del suelo (7 t C ha⁻¹; Cuadro 3). En cafetales de tres zonas de Costa Rica y con sombra de maderables, los árboles de *C. alliodora*, *Terminalia amazonia* y *Eucalyptus deglupta* almacenaron 39, 32 y 14 t C ha⁻¹, respectivamente, con una densidad entre 78-373 árboles ha⁻¹ (Dzib-Castillo 2003).

CONCLUSIONES

Los cacaotales fueron el uso de la tierra que más carbono almacena en valles y laderas, gracias a su mayor densidad arbórea. Los sistemas en el valle almacenaron un 33% más de carbono que en la ladera. Las comunidades de San Vicente y Coroma, ubicadas en ladera, acumularon mayor carbono por unidad de área, debido principalmente al abandono de muchos cacaotales en esta área. Es necesario enriquecer las fincas de Talamanca indígena con árboles maderables valiosos que generen ingresos directos, acumulen carbono y generen ingresos complementarios a la economía familiar mediante por el pago del servicio ambiental de fijación de carbono que las fincas proveen a la sociedad global.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Alfaro, M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en ecosistemas forestales. *Revista Forestal Centroamericana* 19: 9-12.
- Andrade, H; Segura, M; Somarriba, E; Villalobos, M. Biomass equations to estimate aboveground biomass of woody components in indigenous agroforestry systems with cacao. *En preparación*.
- Beer, J; Harvey, C; Ibrahim, M; Harmand, JM; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 80-87.
- Borge, C; Villalobos, V. 1995. Talamanca en la encrucijada. San José, CR, UNED. 121 p.
- De Jong, B; Soto-Pinto, L; Nelson, K; Taylor, J; Tipper, R. 1997. Forestry and agroforestry alternatives for carbon mitigation: an analysis from Chiapas, Mexico. In Adger, WD; Pattenella, MC. eds. *Climate Change Mitigation and European Land Use Policies*. Wallingford, UK. p. 263- 284.
- Dixon, K. 1995. Sistemas agroforestales y gases de invernadero. *Agroforestería en las Américas* 2(7): 22-26.
- Dzib-Castillo, B. 2003. Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 124 p.
- EPA (Environmental Protection Agency). 1994. Inventory of US greenhouse gas emissions and links: 1990-1993. Cincinnati, US, National Center for Environmental Publications and Information. 74 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Kanagawa, Japón, IGES. 595 p.
- Kursten, E; Burschel, P. 1993. CO₂-mitigation by agroforestry. *Water, Air and Soil. Pollution* 70: 533-544.
- Montenegro, J; Abarca, S. 2002. Los sistemas silvopastoriles y el calentamiento global. *Agronomía Costarricense* 26(1): 17-24.
- Ortiz, E. 1997. Refinement and Evaluation of two Methods to Estimate Aboveground Tree Biomass in Tropical Forest. Doctoral Dissertation. New York. p: 116-118.
- Proyecto LUCCAM. Allometric models for biomass estimation in secondary forests, San Carlos Municipal District, Nicaragua. Proyecto Cambio de uso de la tierra y flujos de carbono para Centroamérica. CATIE-Universidad de Helsinki (Finlandia). *En preparación*.
- Ruiz, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 105 p.
- Segura, M; Kanninen, M. 2005. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biotrópica* 37(1): 2-8.
- Segura, M. 2005. Estimación de carbono almacenado y fijado en sistemas agroforestales indígenas con cacao en la zona de Talamanca, Costa Rica. Informe de Consultoría. Proyecto Captura de Carbono y desarrollo de mercados ambientales en sistemas agroforestales indígenas con cacao en CR. Turrialba, CR, CATIE. 147 p.
- Somarriba, E; Trivelato, M; Villalobos, M; Suárez, A; Benavides, P; Morán, K; Orozco L; López, A. 2003. Diagnóstico agroforestal de pequeñas fincas cacaoteras orgánicas de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 24-30.
- Somarriba, E; Harvey, C. 2003. ¿Cómo integrar producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaotales indígenas? *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 12-17.
- Szott, LT; Arévalo-López, LA; Pérez, J. 1993. Allometric relationships in Pijuayo (*Bactris gasipaes* H.B.K.). Mora-Urpí, J; Szott, LT; Murillo, M; Patiño, VM. Eds. Congreso Internacional sobre Biología, Agronomía e Industrialización del Pijuayo (4, Iquitos, PE, 1989). San José, CR, Editorial de la Universidad de Costa Rica. p. 91-114.
- Veldkamp, E. 1993. Soil organic carbon dynamics in pastures established after deforestation in the humid tropics of Costa Rica. Ph. D. Thesis. Wageningen, NE, University of Wageningen. 117 p.

Aprovechamiento, rendimiento maderable y carbono perdido en los residuos de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales (*Theobroma cacao*) y bananales (*Musa* AAA cv. Gros Michel) de Talamanca, Costa Rica

Eduardo Somarriba¹, Alfonso Suárez², Wilson Calero³, Anderson Botina⁴, Diego Chalaca⁴

RESUMEN

Se evaluó la tasa de aprovechamiento (1997-2005, nueve años) de árboles de laurel (*Cordia alliodora*) de regeneración natural en 40 cacaotales (36,3 ha) y 28 bananales (8 ha) indígenas de Talamanca, Costa Rica. Se estimó el carbono en pie, el que se aprovecha en forma de madera aserrada y el que se pierde como residuo del aprovechamiento. Los productores manejan la regeneración natural del laurel y mantienen 50-55 árboles ha⁻¹ que contienen 3,13 – 7,28 t ha⁻¹ de carbono en pie. En cada hectárea de cacaotal y bananal, los hogares aprovechan un árbol de laurel cada tres años, con un dap de 51 cm, del que obtienen 3 m³ árbol⁻¹ de volumen total de fuste, equivalente a 1,05 t árbol⁻¹ de biomasa y 0,57 t C árbol⁻¹. Se pierde el 77% del C por árbol durante el aserrado de los árboles con motosierra, equivalente a 73 kg ha⁻¹ año⁻¹.

Palabras claves: Agroforestería, conocimiento local, cubierta de copas, dosel de sombra, inventario, plantas de sombra, tasa de corta

Logging, timber yield and carbon losses in *Cordia alliodora* residues from natural regeneration in cacao (*Theobroma cacao*) and banana (*Musa* AAA cv. Gros Michel) plantations in Talamanca, Costa Rica

ABSTRACT

We estimated the logging rate (1997-2005, nine years) of laurel (*Cordia alliodora*) trees from natural regeneration in 40 indigenous cocoa plantations (36.3 ha) and 28 banana plantations (8 ha) of Talamanca, Costa Rica. We calculated the carbon in tree biomass, in extracted products and in losses from logging residues. The farmers manage the natural regeneration of laurel and maintain 50-55 trees ha⁻¹, equivalent to 3.13 – 7.28 t ha⁻¹ of carbon stock. In each hectare of cacao and banana plantations, the households cut one laurel tree every three years, with a dbh of 51 cm, obtaining a total volume 3 m³ tree⁻¹ of trunk, which represent 1.05 t biomass tree⁻¹ and 0.57 t carbon tree⁻¹. Seventy-seven percent of the carbon, equivalent to 73 kg ha⁻¹ year⁻¹, was lost during the sawing and logging process.

Keywords: Agroforestry, canopy, local knowledge, shade canopy, shade plants, timber harvest rate, tree inventory.

INTRODUCCIÓN

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son la principal causa del calentamiento global. El dióxido de carbono (CO₂), el GEI más importante, es liberado por la quema de combustibles fósiles y la deforestación (Dixon et ál. 1994, Cielsa 1995, Smith et ál. 1999). Las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales (SAF) son una opción para la fijación y almacenamiento de carbono (Puri y Nair 2004, Swamy y Puri 2005). A nivel mundial, se calcula que los SAF pueden secuestrar entre 0,8-2,2 Pg C año⁻¹ (1 Pg = 10¹⁵ g) en un período

de 50 años (Dixon et ál. 1994). Otros autores estiman que para el año 2010, los SAF podrían almacenar 26 Tg C año⁻¹ (1 Tg = 10¹² g; Watson et ál. 2000). Los árboles maderables son depósitos de carbono a corto plazo, ya que al cortarlos o quemarlos, o al morir por causas naturales y descomponerse, liberan el carbono de la madera a la atmósfera (Cielsa 1995).

Los productores indígenas de Talamanca, Costa Rica, manejan la regeneración natural de laurel (*Cordia alliodora*) y cedro (*Cedrela odorata*) en sus cacaotales

¹ Grupo Temático Cacao, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Correo electrónico: esomarri@catie.ac.cr

² Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Correo electrónico: alfonsosuareszislas@yahoo.com.mx.

³ CATIE, Turrialba, Costa Rica. Correo electrónico: wcalero@catie.ac.cr.

⁴ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Colombia. Correos electrónicos: ambgarzon@gmail.com, teyo@mail.udenar.edu.co.

y bananales para producir madera y construir casas y botes, así como para la venta (Suárez 2001, Somarriba et ál. 2003). Los productores voltean y asierran los árboles en las fincas usando motosierra y marco para producir tablas (60%), tablillas (30%) y madera de cuadro (10%), lo que genera una gran cantidad de residuos que quedan en el campo, se descomponen rápidamente y liberan CO₂ a la atmósfera (Winjun et ál. 1998, Bámaca et ál. 2004). En este artículo, se estimó la tasa anual de corta, el rendimiento maderable y las pérdidas de carbono en residuos del aprovechamiento del laurel en los cacaotales y bananales de indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Talamanca indígena se ubica en la Provincia de Limón, Costa Rica (9°21'38"-9°39'30"N; 82°50'40"-83°50'40"O). En la zona se distinguen dos unidades de paisaje: el valle, constituido por la coalescencia de los abanicos aluviales de varios ríos (suelos Typic Troporthent), y las laderas, ubicadas entre 40 y 400 m de altitud y constituidas de materiales sedimentarios y rocas intrusivas (suelos Oxic Palehumults y Aeríc Tropaquepts). La precipitación promedio anual es de 2800 mm y la temperatura media anual de 25,6° C (Kapp 1989, Borge y Castillo 1997). En otros artículos se encuentran descripciones detalladas de las fincas y los cacaotales (Somarriba y Harvey 2003, Somarriba et ál. 2003).

¿Cuánto laurel se aprovecha en las fincas?

Suárez (2001) seleccionó al azar 68 productores de la lista de 700 productores cacaoteros y bananeros indígenas de la Asociación de Pequeños Productores de Talamanca (APPTA). Las parcelas de estos productores pudieron estar dominadas por cacao, por banano o por una mezcla de cacao y banano, y ubicarse en el valle o en las laderas. En cada parcela se trazó un polígono cerrado con brújula y cinta métrica, se elaboró un mapa de la parcela y se determinó con precisión su superficie; se evaluaron (dap, altura, forma del fuste y estado sanitario) todos los árboles vivos de laurel y cedro (*Cedrela odorata*) con dap ≥ 5 cm; y con el productor se fechó (año de corte) y midió el diámetro y altura del tocón de todos los árboles de laurel aprovechados en la parcela reconocibles en el momento del inventario. Los productores fueron capaces de determinar con precisión el año de corte de todos los árboles aprovechados en su parcela hasta cinco años antes. Las parcelas se reinventariaron en el 2005. Los datos de aprovechamiento de laurel en las 68 parcelas abarcan entre 1997 y 2005 (nueve años).

Los aserradores cortan el tronco a diferentes alturas sobre el suelo, dependiendo de la topografía alrededor del árbol y de la presencia de gambas y otras irregularidades en la base del tronco. Las ecuaciones alométricas que permiten estimar la biomasa de los árboles de laurel utilizan el dap (a 1,3 m sobre el suelo) como variable independiente. Se midió el diámetro de todos los tocones, los cuales tienen diferente altura, y los datos se usaron para estimar el dap usando la ecuación de ahusamiento del laurel (Ecuación 1) desarrollada por Pérez (1954). La biomasa total por árbol se estimó con Ecuación 2 (Andrade et ál. en preparación); el volumen total del fuste se estimó con Ecuación 3 (Somarriba y Beer 1987). El carbono se estimó como 0,5 de la biomasa (IPCC 1996).

$$\text{dap} = -136,90622 + 37,51902 * \ln(d_h) + 8,15199 * \ln(h) \quad [1]$$

$$B_i = 10^{-0,51+2,08 * \log(\text{dap})} \quad [2]$$

$$V = e^{-9,62 + 2,697 * \log(\text{dap})} \quad [3]$$

donde:

dap = diámetro a la altura del pecho (1,3 m; cm)

h = altura del tocón (cm)

d_h = diámetro del tronco (cm) a la altura del tocón

B_i = biomasa total arriba del suelo (kg árbol⁻¹)

V = volumen total del fuste, con corteza (m³)

ln = logaritmo natural de base e

log = logaritmo base 10

¿Cuánto carbono se extrae en madera y cuánto queda en los residuos en el campo?

Se contrataron tres aserradores expertos locales (operadores de motosierra: Walter Romero Torres, Rubén Morales Morales y Abel Pita Pita) para que estimaran



Aprovechamiento maderable en un cacaotal (foto: Eduardo Somarriba)

visualmente, en unidades locales (pies tablares; $1 \text{ m}^3 = 423,77$ pies tablares; 1 pie tablar = $0,00236 \text{ m}^3$), y en forma individual y secreta, la madera (tablas 60%; tablilla 30%; madera cuadrada 10%) que rendiría el aserrío de cada uno de 160 árboles de laurel en pie presentados ante ellos. Los árboles, que deberían ser aprovechables (dap ≥ 40 cm), se seleccionaron al azar mediante caminatas por las fincas, buscando evaluar al menos 30 árboles por clase de dap de 10 cm. En total, se evaluaron 60 árboles de entre 40 y 50 cm y aproximadamente 30 árboles por clase entre 51 y 80 cm. A cada árbol se midió el dap. Se ajustaron modelos de regresión lineal entre el dap y el rendimiento en volumen de madera aserrada estimado por cada aserrador, un modelo por aserrador. Mediante análisis de varianza se evaluaron las diferencias entre aserradores y la posibilidad de ajustar un solo modelo de regresión a todos los datos.

El volumen de madera aserrada "estimado" por el modelo se convirtió a biomasa total con una gravedad específica de $0,47 \text{ g cm}^{-3}$ (Reyes et ál. 1992, Segura 2005) y a carbono con una fracción de 0,5 (IPCC 1996). El carbono que se pierde en forma de residuos del aprovechamiento de cada árbol se calculó restando el carbono de la madera aserrada del carbono total. Las pérdidas de carbono por árbol se expresaron en unidades absolutas y en porcentaje del carbono total almacenado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inventarios de laurel

La superficie inventariada fue de 44,3 ha, de las cuales 36,3 ha fueron cacaotales y 8 ha bananales. El tamaño

promedio de las parcelas de cacao fue $1,25 \pm 0,45$ ha y de banano $0,75 \pm 0,25$ ha. La densidad del laurel se incrementó de 51 a 56 árboles ha^{-1} en cacaotales y de 40 a 51 árboles ha^{-1} en bananales, entre 2001 y 2005 (Cuadro 1).

En 2001 y 2005, la población de árboles de laurel tuvo una distribución de frecuencia de árboles por clase de dap en forma de j invertida (muchos árboles pequeños y pocos árboles grandes), típica de poblaciones que se reproducen exitosamente en una localidad o región. En Talamanca, cada año el laurel produce y dispersa grandes cantidades de semillas (Somarriba 1999) que exploran cada posible micrositio favorable para el desarrollo de la especie y generan un reclutamiento anual de jóvenes a la población en toda Talamanca (Cuadro 2). La única desviación del patrón de j invertida en la población de laurel es el menor número de individuos en la primera clase de dap (los árboles más pequeños, con dap entre 5-14 cm) que en la segunda (dap entre 15-24 cm). Esta "anomalía" parece deberse al patrón de reclutamiento y el manejo del dosel de sombra por los agricultores. A continuación una hipótesis.

Cada año, caen al suelo millones de semillas de laurel; unas germinan, otras no, unas plántulas sobreviven porque cayeron en buenos micrositios; otras, la gran mayoría, caen en malos micrositios y mueren tempranamente. Muchas plántulas y brinzales mueren por el exceso de sombra en el piso, bajo la copa de los árboles de cacao, otras son cortadas y eliminadas durante las 1-3 chapeas por año que el agricultor aplica al cacaotal para

Cuadro 1. Densidad, biomasa, carbono y volumen total del fuste de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales y bananales de Talamanca, Costa Rica

Variables	Cacao		Banano	
	2001	2005	2001	2005
Área total (ha)	36,3	36,3	8	8
N (árboles total)	1866	2020	321	407
Biomasa total (t)	372	480	57	90
Carbono total (t)	186	240	28	45
Volumen (m^3)	1573	2153	232	433
Densidad (árboles ha^{-1})	$51,4 \pm 5$	$55,6 \pm 7$	40 ± 7	51 ± 8
Biomasa (t ha^{-1})	$10,2 \pm 0,005$	$13,2 \pm 0,004$	$7,1 \pm 0,02$	$11,3 \pm 0,02$
Carbono (t ha^{-1})	$5,12 \pm 0,002$	$6,6 \pm 0,002$	$3,55 \pm 0,01$	$5,6 \pm 0,01$
Volumen ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	$43,33 \pm 0,04$	$59,3 \pm 0,04$	$29,0 \pm 0,13$	$54,1 \pm 0,23$
Biomasa (t árbol^{-1})	$0,20 \pm 0,17$	$0,24 \pm 0,18$	$0,20 \pm 0,16$	$0,25 \pm 0,21$
Carbono (t árbol^{-1})	$0,1 \pm 0,08$	$0,12 \pm 0,09$	$0,10 \pm 0,08$	$0,12 \pm 0,10$
Volumen ($\text{m}^3 \text{ árbol}^{-1}$)	$0,84 \pm 1,27$	$1,06 \pm 1,46$	$0,72 \pm 1,07$	$1,06 \pm 1,83$

Notas: \pm desviación estándar, área total inventariada = 44,3 ha.

Cuadro 2. Inventario de biomasa, carbono y volumen de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica (2005)

dap (cm)	Cacao				Banano			
	N	Biomasa (t)	Carbono (t)	Volumen (m ³)	N	Biomasa (t)	Carbono (t)	Volumen (m ³)
5-14	261	10,4	5,2	10,7	80	2,74	1,37	2,59
15-24	503	54,8	27,4	108,7	110	11,96	5,98	23,64
25-34	531	106,4	53,2	321,7	96	18,64	9,31	55,27
35-44	389	123,3	61,7	515,1	53	16,75	8,37	70,0
45-54	196	87,8	43,9	468,8	40	18,51	9,25	101,17
55-64	91	54,8	27,4	361,2	15	9,04	4,52	59,65
65-74	35	27,5	13,8	219,6	3	2,34	1,17	18,62
> 75	14	14,8	7,4	147,5	10	10,40	5,20	101,82
Total	2020	479,8	239,9	2153,3	407	90,38	45,19	432,66

Notas: área = 36,5 ha de cacao y 8 ha de banano

controlar las malezas y facilitar la cosecha y recolección de los frutos del cacao. La observación en Talamanca muestra que para entender el manejo de los árboles de laurel en el cacaotal, solo interesa observar los latizales (dap > 5cm), los cuales ya han superado todas las condiciones de selección descritas anteriormente y sus copas se encuentran a la misma altura (o mayor) que las copas del cacao. A partir de este momento, y hasta que los árboles alcanzan unos 15 cm de dap, los productores pueden decidir si ralean o no el laurel joven debido a que, por ejemplo, se encuentra en un sitio donde ya existen otros árboles y la sombra sobre el cacao es excesiva; porque necesitan una vara o madera rolliza en la finca, o porque el arbolito tiene el fuste muy torcido (un

problema frecuente de forma de fuste de los laureles en Talamanca, debidos al tránsito del tallo delgado y joven del laurel a través de la copa del árbol de cacao, ver Suárez 2001). La mayor presión de raleo sobre los árboles de laurel ocurre cuando éstos miden entre 5 y 14 cm de dap. Con mucha reticencia, los agricultores eliminan laureles (dap > 15 cm) para regular sombra o por mala forma de fuste.

Tasa de corta, rendimiento maderable y residuos de aprovechamiento

El análisis de varianza no detectó diferencias significativas ($P < 0,0001$) entre las pendientes de las líneas de regresión por aserrador, por lo que se calculó una sola ecuación ($R^2 = 0,56$) con las estimaciones de los tres aserradores (Ecuación 4, Figura 1).

$$V_{est} = - 201,7 + 8,8 (dap) \quad [4]$$

donde:

- V_{est} = Volumen de madera aserrada estimada por aserradores expertos (pies tablares)
- dap = Diámetro a la altura del pecho (cm).

En nueve años, los productores de 68 parcelas de cacao y banano, con un área total de 44,3 ha, aprovecharon 118 árboles de laurel, con dap promedio de 51 cm, conteniendo 124 t de biomasa total, 67 t de carbono y 350 m³ de madera en el fuste principal. El aprovechamiento con motosierra produjo tablas, tablillas y madera cuadrada que contienen 31 t de biomasa, 16 t de carbono y 66 m³ de madera. El C que queda en el campo como producto del aprovechamiento es un 77% del C total en pie al momento del aprovechamiento (Cuadro 3). En bosques

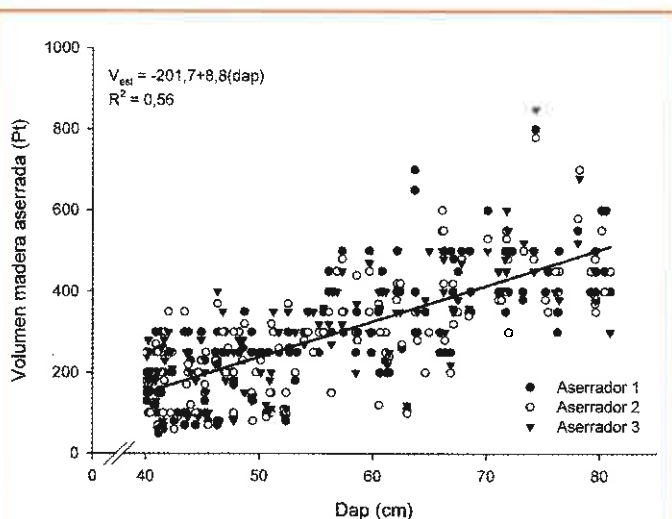


Figura 1. Volumen de madera aserrada (Pt = pies tablares) estimada por expertos locales en función del diámetro a la altura del pecho (dap) de árboles en pie de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales y bananales de Talamanca, Costa Rica. 1 m³ = 423,77 Pt; 1 Pt = 0,00236 m³.

Cuadro 3. Madera cortada y aserrada y pérdidas de carbono de aprovechamiento de *Cordia alliodora* en regeneración natural en fincas de cacao y banano de Talamanca, Costa Rica

Año	Tasa de corta		Total cortado			Total madera aserrada			% pérdidas C
	(árboles año ⁻¹)	dap (cm)	Biomasa (t)	C (t)	Volumen (m ³)	Biomasa (t)	C (t)	Volumen (m ³)	
1997	1	60	1,54	0,83	4,07	0,36	0,18	0,76	79
1998	3	55 ± 4	3,86	2,09	9,96	0,95	0,47	2,01	77
1999	14	55 ± 18	18,03	9,74	58,52	4,48	2,24	9,53	77
2000	12	49 ± 13	12,16	6,56	33,7	3,11	1,55	6,62	76
2001	8	48 ± 12	7,76	4,19	20,94	2,00	1,00	4,27	76
2002	13	55 ± 17	16,75	9,04	51,09	4,05	2,02	8,61	78
2003	18	47 ± 6	16,72	9,03	40,03	4,25	2,12	9,03	76
2004	18	46 ± 15	15,99	8,63	45,84	4,12	2,06	8,77	76
2005	31	49 ± 13	31,40	16,96	85,72	7,92	3,96	16,85	77
Total	118	51*	124,22	67,08	349,9	31,24	15,6	66,45	77
Árbol ⁻¹	—	—	1,05	0,57	3,04	0,26	0,13	0,56	—
ha ⁻¹ año ⁻¹	0,29	—	0,31	0,17	0,90	0,08	0,04	0,17	—

Notas: área total evaluada = 44,3 ha, * = promedio, ± desviación estándar

naturales manejados de la reserva de la Biosfera Maya, solo el 25% del volumen total de un árbol se convierte en madera, el restante (75%) son residuos (ramas, corteza, orillas, aserrín, tablillas, etc.) que rápidamente se descomponen y emiten en forma diferida CO₂ a la atmósfera (Bámaca et ál. 2004).

En los cacaotales y bananales de Talamanca indígena, se aprovecha un árbol de laurel por hectárea cada tres años (o lo que es equivalente, se cosecha anualmente un árbol por cada tres hectáreas de cacao y banano), con un rendimiento anual de 1 m³ ha⁻¹ año⁻¹ de volumen total de fuste (Cuadro 3). Esta tasa de corta es mayor a la reportada por Suárez y Somarriba (2001) para el período 1997-2001 en estas mismas plantaciones (0,8 y 0,17 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para cacao y banano, respectivamente). La extracción de madera de laurel ha aumentado significativamente en los últimos años debido a la presencia de varios proyectos habitacionales en los territorios indígenas, los cuales exigen que la madera de construcción provenga de los mismos territorios para estimular la economía local. Afortunadamente, a pesar del incremento en la extracción, los cacaotales y bananales acumularon 4,4 m³ ha⁻¹ año⁻¹ entre 2001 y 2005, mostrando que el aprovechamiento en los territorios indígenas es sostenible.

CONCLUSIONES

Los árboles de laurel de regeneración natural en los cacaotales y bananales indígenas de Talamanca, Costa

Rica, son fuente importante de madera para el consumo familiar y la venta y generación de ingresos para unos 1000 hogares. Los productores manejan la regeneración natural del laurel y mantienen 50-55 árboles ha⁻¹ que contienen 3,13 – 7,28 t ha⁻¹ de carbono. En cada hectárea de cacaotal, los hogares aprovechan un árbol de laurel cada tres años, con un dap de 51 cm, obtienen 3 m³ árbol⁻¹ de volumen total de fuste, equivalente a 1,05 t árbol⁻¹ de biomasa, 0,57 t árbol⁻¹ de C. Se pierde el 77% del C por árbol durante el aserrado de los árboles con motosierra, equivalente a 73,1 kg ha⁻¹ año⁻¹.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Andrade, H; Segura, M; Somarriba, E; Villalobos, M. (En preparación). Aboveground biomass equations for dominant woody perennial species of indigenous cacao agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica.
- Bámaca, EEF; Kanninen, M; Louman, B; Pedroni, L; Gómez, M. 2004. Contenido de carbono en los productos y residuos forestales generados por el aprovechamiento y el aserrío en la Reserva de Biosfera Maya. Recursos Naturales y Ambiente 41: 102-110.
- Borge, C; Castillo, R. 1997. Cultura y conservación en la Talamanca indígena. San José, CR, Editorial Universidad Estatal a Distancia. 259 p.
- Cielsa, WM. 1995. Climate Change, forests and forest management: an overview. Roma, IT, FAO. 146 p.
- Dixon, RK; Brown, S; Houghton, RA; Solomon, AM; Trexler, MC; Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263: 185-190.
- IPCC (Intergovernmental Panel of climate change). 1996. Guía para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: libro de trabajo (en línea). Eds. JT Houghton, LG Meira Filho, B Lim, K Treaton, I Marnaty, Y Bonduki, DG Griggs, BA Callander.

- Consultado 20 feb 2006. Disponible en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/mvs1.htm>.
- Kapp, G. 1989. Perfil ambiental de la zona baja de Talamanca, CR, CATIE. 97 p. (Serie Técnica Informe Técnico no. 155).
- Pérez, CA. 1954. Estudio forestal del laurel (*Cordia alliodora*) (R&P) Cham., Costa Rica. Tesis Mag. Sci. Turrialba, CR, IICA. 182 p.
- Puri, S; Nair, PKR. 2004. Agroforestry research for development in India: 25 years of experience of a national program. *Agroforestry Systems* 61-62(1-3): 437-452.
- Reyes, G; Brown, S; Chapman, J; Lugo, AE. 1992. Wood densities of tropical tree species. General Technical Report - Forest Service (USDA). Feb 1992. SO-88.
- Segura, M. 2005. Estimación del carbono almacenado y fijado en sistemas agroforestales indígenas con cacao en la zona de Talamanca, Costa Rica. Informe final de consultoría, Proyecto Captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en sistemas agroforestales indígenas con cacao en Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. 46p + anexos.
- Smith, J; van de Kop, P; Reategui, K; Lombarda, I. 1999. Dynamics of secondary forest in slash-and-burn farming: interactions among land use types in the Peruvian Amazon. *Agriculture Ecosystems and Environment* 76: 85-98.
- Suárez, AI. 2001. Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* de regeneración natural en cacaotales y bananales indígenas de Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 74 p.
- Suárez, A; Somarriba, E. 2001. Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca. *Agroforestería en las Américas* 9(35-36): 50-54.
- Somarriba, E. 1999. Regeneración natural de maderables en campos agrícolas. *Agroforestería en las Américas* 6(24):31-34.
- Somarriba, E; Harvey, C. 2003. ¿Cómo integrar producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas? *Agroforestería en las Américas* 10(37-38):12-17.
- Somarriba, E; Trivelato, M; Villalobos, M; Suárez, A; Benavides, P; Moran, K; Orozco, L; López, A. 2003. Diagnóstico agroforestal de pequeñas fincas cacaoteras orgánicas de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 24-30.
- Somarriba, E; Beer, J. 1987. Dimensions, volumen and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems. *Forest Ecology and management* 18:113-118.
- Swamy, SL; Puri, S. 2005. Biomass production and C-sequestration of *Gmelina arborea* in plantation and agroforestry system in India. *Agroforestry Systems* 64:181-185.
- Watson, RT; Noble, RI; Bolin, B; Ravindranth, NH; Verardo, DJ; Dokken, DJ. (eds). 2000. Land use, land-use change, and forestry. Cambridge University Press, US, Intergovernmental Panel on Climate Change. 377 p.
- Winjun, JK; Brown, S; Schlamadinger, B. 1998. Forest harvest and wood products: sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. *Forest Science* 44(2): 272-283.

Suelos del valle y del piedemonte en Talamanca: un paisaje dinámico para el almacenamiento de carbono

Beth Polidoro¹, Leigh Winowiecki¹, J. Johnson-Maynard, P. McDaniel, M. Morra

RESUMEN

El tipo de suelo, la posición en el paisaje, vegetación y los procesos geomorfológicos dinámicos deben ser considerados cuando se estima y evalúa el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo. Talamanca es una región de piedemonte dominada por suelos clasificados como Ultisoles e Inceptisoles y una enorme llanura aluvial o valle dominada por Entisoles. Ambas posiciones del paisaje son susceptibles a eventos de erosión, inundaciones y derrumbes que influyen en las características del suelo. El almacenamiento de carbono fue estimado utilizando perfiles de suelo de 1 m de profundidad en ambos tipos de paisaje. Aunque los suelos del valle son muy variables, almacenaron entre 95 y 350 Mg C ha⁻¹, mientras los valores de almacenamiento de carbono en el piedemonte fueron de entre 81 y 176 Mg C ha⁻¹. El carbono de la subsuperficie del suelo es un importante componente del carbono total almacenado en ambos tipos de suelo. Las próximas investigaciones del suelo deben tomar en cuenta las diferencias entre los tipos de suelos y el uso de la tierra para entender mejor las dinámicas de carbono en el paisaje de Talamanca.

Palabras claves: densidad aparente, dinámica de carbono, perfiles de suelo, profundidad, relieve, sistemas agroforestales

INTRODUCCIÓN

El carbono es una parte importante de la biomasa y materia orgánica del suelo (Van Noordwijk et ál. 1997), que ayuda a retenerlo y mitigar el cambio climático (Jia y Askiyama 2005, Lal 2005, Mutuo et ál. 2005). La cuantificación del carbono del suelo permite estimar la tasa de descomposición, almacenamiento y la dinámica del componente orgánico del suelo (Balesdent y Marriotti 1996), evaluar los efectos del cambio de uso de la tierra sobre el suelo (Schroth et ál. 2002) y estimar la produc-

Soils in the valley and foothills areas of Talamanca, Costa Rica: A dynamic landscape for carbon storage

ABSTRACT

Soil type, landscape position, vegetation, and dynamic geomorphological processes must be considered when estimating and understanding belowground carbon storage. The Talamanca landscape consists of a foothill region dominated by Ultisols and Inceptisols and a large alluvial floodplain dominated by Entisols. Both landscape positions are susceptible to erosion, flooding and landslide events that continue to influence soil characteristics. Carbon storage was calculated using 1 m deep soil profiles in both the foothills and floodplain. Although floodplain soils are highly variable, they were calculated to store between 95 and 350 Mg C ha⁻¹, compared to foothill carbon storage values between 81 and 176 Mg C ha⁻¹. Subsurface soil carbon is an important source of the total carbon storage in both soil types. Further soil research must take into account differences in both soil type and land use to better understand carbon dynamics throughout the Talamanca landscape.

Keywords: Agroforestry systems, bulk density, carbon dynamics, depth, landscape, soil profiles

tividad del ecosistema (Schlesinger 1997). El tipo de suelo, el contenido y la mineralogía de las arcillas, el pH, la historia de uso del suelo y los procesos dinámicos (como erosión y deslizamientos) que transportan suelo y carbono a través del paisaje (Feller et ál. 2001, Powers y Schlesinger 2002) afectan potencialmente el contenido de carbono del suelo.

El movimiento de carbono a lo largo del paisaje presenta varias etapas. Las fases iniciales de las inundaciones, caracterizadas por alta velocidad de flujo, pueden remover

¹ Estudiantes de Doctorado CATIE/University of Idaho. Correos electrónicos: bethpolidoro@vandals.uidaho.edu; leigh@vandals.uidaho.edu

suelo y vegetación, mientras que en fases posteriores una velocidad más baja permite la deposición de sedimentos suspendidos y nuevos materiales de suelo. Los suelos de las llanuras aluviales generalmente tienen un depósito neto de carbono, cuando se considera las llanuras en su totalidad, aunque los nuevos depósitos de inundaciones en las partes superiores de las llanuras aluviales pueden tener inicialmente una menor concentración de carbono en el suelo. En este artículo se (i) cuantifica el almacenamiento potencial de carbono en dos diferentes tipos de suelo bajo diferentes usos de la tierra en Talamanca indígena, Costa Rica, y (ii) ilustra cómo las inundaciones periódicas afectan las existencias de carbono en la capa superficial del suelo en el valle de Talamanca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio

La región de Talamanca puede separarse en tres paisajes: montañas escarpadas, piedemontes ondulados y un valle aluvial extenso (Borge y Cartillo 1997). La Cordillera de Talamanca está compuesta principalmente de sedimentos terciarios entremezclados con depósitos de caliza y material volcánico (Weyl 1980, Bergoeing 1998, Denyer y Kusmaul 2000). La precipitación anual varía, según la altitud, entre 2600 mm en las partes bajas (40 m) y 6400 mm en las partes más altas (1000 m). La combinación de alta precipitación y pendientes escarpadas eleva la tasa de meteorización, lixiviación y erosión, y provoca inundaciones frecuentes (Borge y Castillo 1997).

El paisaje de Talamanca es un mosaico de tres tipos de suelos: Ultisoles, Inceptisoles y Entisoles. Los Ultisoles e Inceptisoles se encuentran principalmente en los piedemontes de Talamanca (Kapp 1989). Los Ultisoles son suelos profundos, enriquecidos con arcilla, bajo pH y bajo contenido de bases (Soil Survey Staff 2003). Los Ultisoles generalmente se forman en superficies viejas, en tierras relativamente estables, bajo condiciones climáticas húmedas y tibias que promueven la lixiviación de los cationes básicos. La arcilla dominante en los Ultisoles tropicales es la caolinita (Sánchez 1976). En contraste con los Ultisoles, los Inceptisoles son suelos jóvenes, débilmente desarrollados, en posiciones del paisaje poco estables (Soil Survey Staff 2003). Los Inceptisoles no acumulan arcilla con la profundidad y pueden tener altos o bajos contenidos de bases (Soil Survey Staff 2003). El uso de la tierra en el piedemonte de Talamanca está dominado por sistemas agroforestales con cacao y banano, sistemas de cultivos estacionales (*shifting cultivation*) y bosques secundarios (Somarriva et ál. 2003).

Los Entisoles son suelos recientemente depositados; se encuentran principalmente en el valle de Talamanca (Kapp 1989). En esta posición del paisaje, los Entisoles están fuertemente influenciados por eventos de deposición y erosión provocados por las inundaciones periódicas de los cinco ríos principales que desaguan de las montañas de Talamanca. La morfología de estos suelos del valle es extremadamente variable y consiste en múltiples horizontes enterrados, dependiendo de su posición en la llanura y la frecuencia de las inundaciones. Los Entisoles están principalmente dominados por la arcilla esmectita y son ricos en cationes básicos (Juo y Franzluebbbers 2003). El uso de la tierra en el valle de Talamanca está dominado por monocultivo de plátano, sistemas agroforestales con cacao y banano y muy pocas áreas de bosque natural (Morera et ál. 1999).

Muestreo del suelo en el piedemonte

En el piedemonte se tomaron muestras de suelo de perfiles de 1 m profundidad bajo sistemas agroforestales con cacao y bosque secundario en las comunidades de Sibujú, San Miguel, San Vicente y Yorkín. Se tomaron 36 muestras por horizonte de seis pedones representativos. Se secaron las muestras al aire, se tamizaron a 53 μm , se secaron al horno a 60 °C por 24 h, se pesaron y se utilizaron para calcular el carbono por combustión seca en un analizador Elemental VarioMax CNS. El pH del suelo fue determinado usando el método 1:1 (suelo: agua desionizada) (NRCS 1996). Se utilizaron los datos de densidad aparente de los suelos de Talamanca medida con el método del cilindro (Segura 2005, sin publicar).

Muestreo del suelo en el valle

Todos los suelos del valle se muestrearon entre cuatro y diez meses después de la fuerte inundación de enero 2005. Las muestras de suelo del valle fueron tomadas de siete fincas de plátano en monocultivo (1-2 ha) ubicadas en Shiroles y China Kicha (cuatro de las fincas inundadas y tres no inundadas). En cada finca, se barreararon entre seis y ocho perfiles de suelo a lo largo de un transecto de 150 a 200 m, tomando muestras de suelo de cada horizonte a una profundidad de 1,0 a 1,2 m. Se tomó un total de 168 muestras de 47 perfiles de suelo del valle. Todas las muestras se secaron al aire, se tamizaron a 2 mm y se analizaron para estimar el contenido de materia orgánica por pérdida en ignición (NRCS 1996). El contenido de carbono se estimó multiplicando el contenido de materia orgánica por el factor 0,37, el cual se derivó de los valores del carbono total de las sub-muestras de treinta y tres muestras analizadas en el equipo Elemental VarioMax CNS. El pH del suelo fue

determinado usando el método 1:1 (suelo: agua desionizada) (NRCS 1996). La densidad aparente para cada muestra se obtuvo del peso de las muestras secadas al horno de un volumen conocido y colectado en el campo (NRCS 1996). El carbono total en el perfil del suelo se calculó según la Ecuación 1.

$$TC = \sum_i (V_i * \rho_{bi} * C_i) \quad [1]$$

donde:

- TC: Almacenamiento de carbono orgánico en suelos (Mg C ha⁻¹)
- V_i: Volumen de suelo del horizonte *i* (m³ ha⁻¹)
- ρ_{b*i*}: Densidad aparente del suelo del horizonte *i* (Mg m⁻³)
- C_i: Contenido de carbono orgánico del suelo en horizonte *i* (g C g suelo⁻¹)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades y carbono del suelo

La profundidad del horizonte, pH, densidad aparente y carbono acumulado se muestran en el Cuadro 1. Los Ultisoles ubicados en el piedemonte fueron más ácidos (pH < 5) y tuvieron mayor densidad aparente que los suelos del valle. Los Entisoles en el valle tienen un porcentaje más alto de carbono por peso en todos los horizontes en comparación con los suelos del piedemonte. Estos datos de carbono de suelos en el piedemonte de Talamanca están en el rango reportado por van Noordwijk et ál. (1997) para las capas superficial y sub-superficial de suelos cultivables y de bosques secundarios en Sumatra. Los datos de carbono

de suelos del valle de Salamanca están también dentro del rango reportado por van Noordwijk et ál. (1997) para Entisoles (Psamments, Orthents y Fluvents). Los Entisoles del valle son extremadamente variables (Nieuwenhuys 1994), lo que no permite comparaciones sencillas entre las muestras de suelos tomadas a profundidades iguales. Tales variaciones son producto de la distribución irregular y desigual de las inundaciones en el tiempo. Dentro de la región de Talamanca, las comparaciones del almacenamiento de carbono en estos dos tipos de suelos son aun más difíciles por el efecto potencial de la variación de usos de suelo y prácticas de manejo de las fincas.

Distribución vertical del carbono en los suelos de Talamanca

La distribución del carbono en el perfil del suelo fue influenciada por la deposición, lixiviación, descomposición y reincorporación de biomasa. En suelos del piedemonte, el carbono disminuyó regularmente con la profundidad (Figura 1); a menudo la capa superficial tuvo el doble de carbono que los horizontes subsuperficiales. Los suelos del piedemonte no varían mucho en las existencias, ni en el patrón de distribución vertical del carbono. Los suelos del valle almacenan más carbono que los del piedemonte, y fueron más variables en la distribución del carbono en el perfil.

Perfil del almacenamiento de carbono

El almacenamiento de carbono en los dos tipos de suelos refleja diferencias no solamente en el porcentaje de carbono, sino también en el grosor del horizonte y en la densidad aparente. Los suelos del

Cuadro 1. Propiedades fisicoquímicas promedio por horizonte del suelo en el piedemonte y el valle de Talamanca indígena, Costa Rica.

Uso del suelo	Posición en paisaje	Orden del suelo	Profundidad del horizonte (cm)	Densidad aparente (Mg m ⁻³)	pH (H ₂ O)	COS (%)
Cacao/ bosque	Piedemonte	Ultisol/ Inceptisol	0-10	1,1	4,0 (0,6)	3,6 (0,9)
			10-33	1,3	4,0 (0,5)	1,5 (0,5)
			33-57	1,3	4,3 (0,5)	0,9 (0,3)
			57-98	1,3	4,5 (0,5)	0,5 (0,2)
Plátano	Valle	Entisol	0-13	1,0 (0,1)	6,9 (0,7)	2,9 (1,2)
			13-44	1,0 (0,1)	6,7 (0,3)	2,2 (0,7)
			44-86	1,0 (0,1)	6,9 (0,4)	1,8 (0,7)
			86-107	1,0 (0,1)	7,2 (0,4)	1,4 (0,5)

Notas: COS = carbono orgánico del suelo. Valores de desviación estándar entre paréntesis.

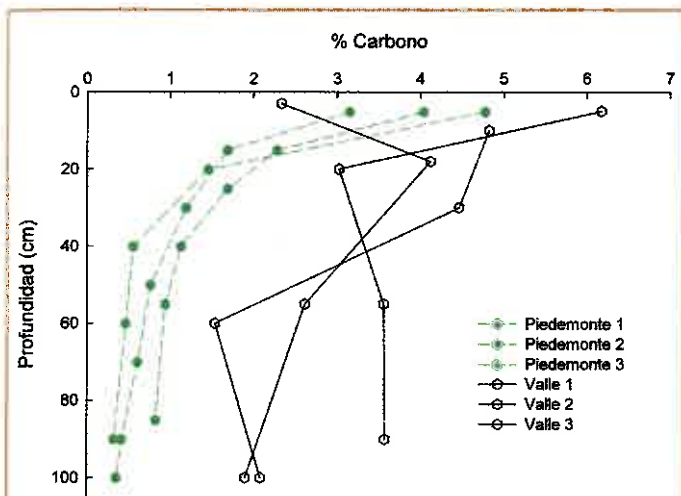
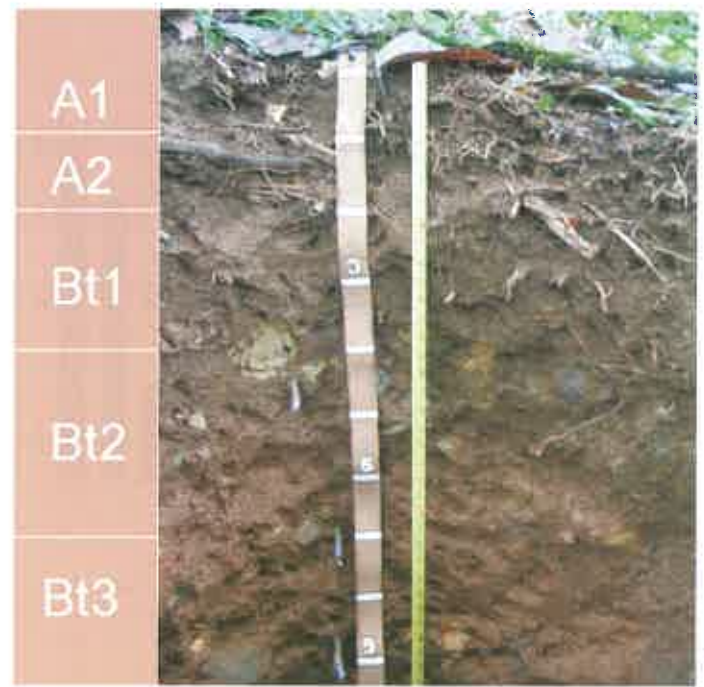


Figura 1. Distribución del carbono orgánico del suelo a diferentes profundidades en tres perfiles del piedemonte y tres en el valle de Talamanca indígena, Costa Rica. Los datos están marcados en el punto medio de los horizontes muestreados

valle pueden almacenar hasta el doble del carbono en 1 m de perfil que los suelos del piedemonte (Figura 2). Los suelos del piedemonte almacenan entre 81 y 176 Mg C ha⁻¹ en 1 m de perfil. El carbono almacenado en la capa superficial (0-10 cm) en los suelos del piedemonte de Talamanca bajo cacao fue el doble de lo reportado para la capa superficial (0-15 cm) de sistemas agroforestales con cacao en Ghana (Issac et ál. 2005). Esto podría deberse al mayor contenido de arcilla y a la mayor densidad de árboles en el piedemonte de Talamanca. Los suelos del valle almacenan 95-350 Mg C ha⁻¹ en 1 m de perfil (Figura 2). Aunque no se encontró en la literatura las estimaciones de almacenamiento de carbono a 1 m de profundidad en llanuras aluviales tropicales, el porcentaje de carbono orgánico del suelo encontrado en Talamanca es similar a las reportadas por Nieuwenhuys (1994) para suelos de llanuras aluviales en Sixaola, Talamanca y por van Noordwijk et ál. (1997) para suelo en la capa superficial de Entisoles (0-10 cm) en Sumatra. Los suelos del valle de Talamanca parecen almacenar más carbono que el promedio global (130-160 Mg C ha⁻¹) estimado para suelos bajo bosques tropicales o sabanas tropicales (Jobbagy y Jackson 2000).

Carbono en la capa superficial de suelos inundados y sin inundar

Las muestras de la capa superficial de áreas inundadas estuvieron compuestas de material nuevo depositado,



Suelo del orden Ultisol en Talamanca (foto: Leigh Winowiecki)

presentaron una textura arenosa y un menor porcentaje de carbono orgánico que las muestras de suelo superficial de áreas no inundadas. La profundidad promedio de la capa superficial en suelos inundados fue de 15,7 cm con 2,1% de carbono orgánico, comparado con un 9,8 cm y 3,8%, respectivamente, en suelos no inundados. El primer horizonte o suelo superficial puede ser vulnerable a disturbios o cambios, especialmente en paisajes dinámicos tales como la llanura aluvial de Talamanca. Las inundaciones redistribuyen el carbono orgánico del suelo a través de la erosión, el transporte y la deposición (Martinelli et ál. 2003, Smith et ál. 2005). En la cuenca amazónica, por ejemplo, se estima que anualmente entran 150 millones de toneladas de sedimento al canal principal del río desde los suelos de llanuras aluviales, mientras que 200 millones de toneladas de sedimento son transferidos desde el río a las llanuras aluviales (Dunne et ál. 1998).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El almacenamiento de carbono orgánico en los suelos del valle es mayor y más variable que los suelos del piedemonte de Talamanca. Sin embargo, como el valle es más propenso a inundaciones, el contenido de carbono en el piedemonte podría ser más estable. La capa superficial del suelo protege y aumenta las reservas del carbono en los suelos subsuperficiales. Por eso, las estrategias de manejo deben tratar de mantener el carbono de las capas superficiales y atender especialmente las zonas vulnerables a la pérdida de carbono.

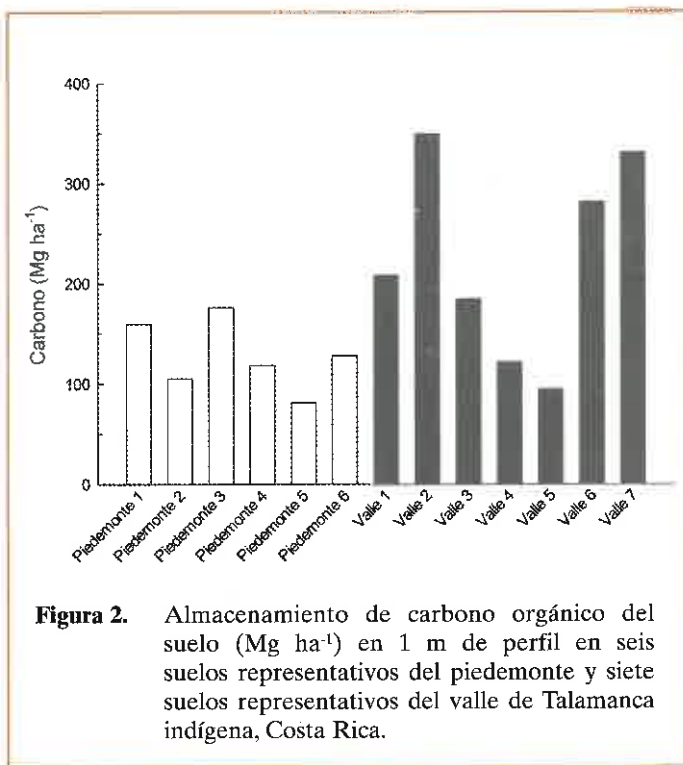


Figura 2. Almacenamiento de carbono orgánico del suelo (Mg ha⁻¹) en 1 m de perfil en seis suelos representativos del piedemonte y siete suelos representativos del valle de Talamanca indígena, Costa Rica.

AGRADECIMIENTOS

A Eduardo Somarriba y Marilyn Villalobos por su apoyo constante. También a Jeison Chale Rojas, Wilbur Hidalgo Fernández y Fidel Fernández Ríos por su fortaleza y conocimiento en el campo. A Franklin López y Carlos Aguirre Morales por su invaluable ayuda en el laboratorio. Finalmente, a Stacy Sesnie, Erika Barrientos y Mariangie Ramos por la traducción: ¡muchas gracias!

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Balesdent, J; Mariotti, A. 1996. Measurement of soil organic matter turnover using C-13 natural abundance. *In* Boutton, TW; Yamasaki, S. eds. *Mass Spectrometry of Soils*. New York, US, Marcel-Dekker. p. 83-111.

Bergoing, JP. 1998. *Geomorfología de Costa Rica*. San José, CR, Instituto Geográfico Nacional. 416 p.

Borge, C; Castillo, R. 1997. *Cultura y conservación en la Talamanca indígena*. San José, CR. EUNED. 261 p.

Denyer, P; Kussmaul, S. 2000. *Geología de Costa Rica*. Cartago, CR, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 508 p.

Dunne, T; Mertes L; Meade, RH; Richey, JE; Fosberg, BR. 1998. Exchanges of sediment between the flood plain and channel of the Amazon River in Brazil. *Geological Society of America Bulletin* 110:450-467.

Feller, C; Albrecht, A; Blanchart, E; Cabidoche, YM; Chevallier, T; Hartmann, C; Eschenbrenner, V; Larré-Larrouy, MC; Ndandou, JF. 2001. Soil organic carbon sequestration in tropical areas. General considerations and analysis of some edafic determinants for Lesser Antilles soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61:19-31.

Issac, ME; Gordan, AM; Thevathasan N; Oppong SK; Quashie-Sam, J. 2005. Temporal changes in soil carbon and nitrogen in west African multistrata agroforestry systems: a chronosequence of

pools and fluxes. *Agroforestry Systems* 65:23-31.

Jia, S; Askiyama, T. 2005. A precise, unified method for estimating carbon storage in cool-temperate deciduous forest ecosystems. *Agriculture and Forest Meteorology* 134:70-80.

Jobbagy, EG; Jackson, RB. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* 10:423-432.

Juo, ASR; Franzluebbers, K. 2003. *Tropical Soils and Management for Sustainable Agriculture*. Oxford, UK, Oxford University Press. 281 p.

Kapp, GB. 1989. *Perfil ambiental de la zona Baja de Talamanca, Costa Rica*. Turrialba, CR, CATIE. 97 p. (Informe Técnico no.155).

Lal, R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220: 242-258.

Martinelli, LA; Victoria, RL; deCamargo, PB; deCassia Piccolo, M; Mertes, L; Richey, JE; Devoí, AH; Fosberg, BR. 2003. Inland variability of carbon-nitrogen concentrations and delta C-13 in Amazon floodplain (varzea) vegetation and sediment. *Hydrological Processes* 17:1419- 1430.

Morera, C; Spencer, L; Chavarria A; Barrantes, E; Oviedo, M; Morales, G; Zuniga, R. 1999. *Proyecto de ordenamiento de los territorios Bribri y Cabecar de Talamanca*, Informe Final. 156 p.

Mutuo, PK; Cadish, G; Albrecht, A; Palm, CA; Verchot, L. 2005. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emission from soil in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71: 43-54.

Nieuwenhuys, A. 1994. *Los suelos de los sitios experimentales del proyecto agroforestal: Cantón de Talamanca, Costa Rica y distrito de Changuinola, Panamá*. Guápiles, CR, CATIE-GTZ. 133 p.

NRCS. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. 3 ed. Washington, DC, USDA. 716 p.

Powers, JS; Schlesinger, WH. 2002. Geographic and vertical patterns of stable carbon isotopes in tropical rain forest soils of Costa Rica. *Geoderma* 109:141-160.

Sánchez, P. 1976. *Properties and management of soils in the tropics*. New York, US, John Wiley and Sons. 618 p.

Schlesinger, WH. 1997. *Biogeochemistry: An analysis of global change*. 2 ed. Amsterdam, NL, Academic Press. 588 p.

Schroth, G; D'Angelo, SA; Teixeira, WG; Haag, D; Lieberei, R. 2002. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. *Forest Ecology and Management* 163:131-150.

Segura, M. 2005. *Estimación del carbono almacenado y fijado en sistemas agroforestales indígenas con cacao en la zona de Talamanca, Costa Rica*. Informe final de consultoría, Proyecto Captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en sistemas agroforestales indígenas con cacao en Costa Rica, CATIE. Turrialba, 46 p + anexos. *Datos sin publicar*.

Smith, SV; Sleezer, RO; Renwick, WH; Buddemeier, RW. 2005. Fates of eroded soil organic carbon: Mississippi Basin case study. *Ecological Applications* 15:1929-1940.

Soil Survey Staff. 2003. *Keys to Soil Taxonomy*. 9 ed. Washington, DC, USDA. 332 p.

Somarriba, E; Trivelato, M; Villalobos, M; Suárez, A; Benavides, P; Moran, K; Orozco, L; López, A. 2003. *Diagnóstico agroforestal de pequeñas fincas cacaoteras orgánicas de indígenas Bribri y Cabecar de Talamanca, Costa Rica*. *Agroforestería en las Américas* 10:24-30.

Van Noordwijk, M; Cerri, C; Woormer, PL; Nugroho, K; Bernoux, M. 1997. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. *Geoderma* 79:187-225.

Weyl, R. 1980. *Geology of Central America*. 2 ed. Alemania, Konrad Tritsch, Graphischer Betrieb, Wuezburg. 371 p.

Avances de Investigación

Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica

Hernán J. Andrade¹; Milena Segura¹; Eduardo Somarriba¹; Marilyn Villalobos¹

RESUMEN

Se estimó el almacenamiento de carbono de cinco usos de la tierra (cacaotales con árboles, bananales con árboles, plátano monocultivo, charrales y bosques de galería), el margen bruto y el costo de oportunidad de cambiar el uso actual del suelo hacia otros con mayor contenido de carbono en las fincas de Talamanca indígena, Costa Rica. Los usos de la tierra en las lomas almacenaron 22% más carbono total y 47% más de carbono en biomasa que los del valle. Los bosques de galería son los sistemas que más carbono almacenaron, seguidos de cacaotales con árboles, charrales, banana con árboles y, por último, plátano en monocultivo. El suelo fue el mayor reservorio de carbono (27-74%), seguido de la biomasa arriba del suelo (15-57%). El plátano es el uso del suelo más rentable, con un beneficio neto de 798 US\$ ha⁻¹ año⁻¹. Las plantaciones de cacao con árboles y arroz presentan beneficios negativos (59 y 14 ha⁻¹ US\$ año⁻¹, respectivamente), pero permiten capitalizar la mano de obra familiar en zonas sin otras opciones de empleo. El cambio de plantaciones a otros usos del suelo para fijar carbono es poco factible, ya que el costo de oportunidad es muy elevado (20,8-50,1 US\$ tC⁻¹). Los cambios de cultivos de maíz o arroz a charrales y cacaotales son más atractivos por sus bajos costos de oportunidad.

Palabras claves: banano, bosques de galería, charrales, costo de oportunidad, fustales, latizales, materia orgánica, necromasa, plátano, *Theobroma cacao*.

INTRODUCCIÓN

El uso del suelo y el cambio de uso del suelo (LULUCF, por las siglas en inglés de *Land Use, Land Use Change and Forestry*) son importantes en el ciclo global de carbono (IPCC 2003). Los sistemas agroforestales (SAF) cumplen un papel relevante en la mitigación del calentamiento del planeta, ya que pueden almacenar entre 12 y 228 tC ha⁻¹ (Winjun et ál. 1992, Schroeder 1994, Dixon 1995, Beer et ál. 2003), principalmente en la madera del

Biophysical and financial valuation of carbon fixation according to land use in indigenous cacao farms of Talamanca, Costa Rica

ABSTRACT

We estimated carbon storage in five land uses (cocoa plantations with trees, banana plantations with trees, plantain plantations, fallows and riparian forests), the gross margin and the opportunity cost of changing the current land use towards others with higher carbon storage rates in indigenous farms of Talamanca, Costa Rica. A total of 199 permanent sampling plots were established in these land use systems and landscapes (hillsides and valleys) to estimate carbon stock. Land use systems in the hillsides stored 22% more carbon and 47% of carbon in biomass than those in valleys. The riparian forest was the system with the highest carbon storage, followed by cocoa plantations with trees, fallows, banana plantations with trees and plantain plantations. Soil constituted the highest carbon pool (27-74%), followed by aboveground biomass (15-57%). Plantain plantations was the more profitable land use system in Talamanca, with a gross margin of US\$798 ha⁻¹ year⁻¹, however, they also had the highest production costs. Cacao plantations with trees and rice production had negative benefits (59 and 14 US\$ ha⁻¹ year⁻¹, respectively), but they turned family labour into capital at places without alternative jobs. The feasibility of change from plantain plantation to other land use systems to increase carbon fixation is low, due to the high opportunity cost of growing plantains (20.1 - 50.1 US\$ tC⁻¹). Changing maize and rice fields into other land uses have low opportunity costs.

Keywords: banana, fallows, gallery forests, litter, necromass, opportunity cost, organic matter, plantains, *Theobroma cacao*, trees, saplings.

componente leñoso. El pago a los productores por prestar el servicio ambiental de captura de carbono podría generar ingresos complementarios al hogar. Además, los SAF producen bienes y servicios para el consumo del hogar, uso en la finca y venta (Albrecht y Kandji 2003).

La valoración del costo de secuestrar carbono por cambios de uso del suelo permite establecer montos mínimos para compensar a los productores que cambian de

¹ Investigadores del Grupo CACAO, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Correos electrónicos: handrade@catie.ac.cr, msegura@catie.ac.cr, esomarri@catie.ac.cr, marilyn@catie.ac.cr

sistemas rentables, pero que fijan poco carbono, hacia otros con menor rentabilidad pero con un mayor potencial de almacenamiento. En este caso, el costo de oportunidad se define como “el beneficio al que se renuncia al utilizar un recurso escaso para una finalidad en lugar de usarlo en otra de mayor rentabilidad” (Banco Mundial 1994). Los objetivos de este estudio fueron (i) estimar la rentabilidad financiera y el potencial de almacenamiento de carbono en los sistemas de uso del suelo más predominantes de los Territorios Indígenas de Talamanca; y (ii) estimar el costo de oportunidad de secuestrar carbono por el cambio de uso del suelo mediante una matriz de transición que muestra los costos de oportunidad (cálculo basado en los cambios de beneficios netos y de existencias de carbono) de todos los posibles cambios de uso del suelo en Talamanca indígena, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en nueve comunidades en los Territorios Indígenas de Talamanca, Limón, Costa Rica (9°00'-9°50'N, 82°35'-83°05'O), a menos de 300 m de altitud, en la zona de bosque húmedo tropical (Holdridge 1967), con temperatura media mensual entre 22 y 27 °C y precipitación de 1900 y 2740 mm año⁻¹.

Estimación del almacenamiento de carbono por uso del suelo

Se establecieron 199 parcelas permanentes de muestreo (PPM) en cinco usos del suelo (banano con árboles, cacao con árboles, plátano en monocultivo, charrales y bosques de galería) en relieves de loma y valle de los Territorios Indígenas (Cuadro 1). Los charrales son bosques secundarios jóvenes dejados temporalmente en descanso o barbecho para recuperar la fertilidad de suelo después de uno o varios ciclos de producción agrícola.

Cuadro 1. Número de parcelas permanentes de muestreo establecidas por uso del suelo y relieve en los Territorios Indígenas de Talamanca, Costa Rica

Uso del suelo	Relieve		Total
	Valle	Loma	
Cacao con árboles	42	42	84
Charrales	7	38	45
Bosque de galería	14	13	27
Banano con árboles	14	14	28
Plátano monocultivo	15	0	15
Total	92	107	199

La estimación del carbono almacenado en las PPM se describe detalladamente en Segura (2005). El carbono almacenado se dividió en cuatro componentes: (i) biomasa arriba del suelo; (ii) biomasa abajo del suelo; (iii) necromasa y (iv) carbono orgánico del suelo. En cada PPM, se midieron el diámetro y la altura total de todas las plantas leñosas. El diámetro del tronco de las plantas de cacao fue medido a 30 cm de altura; mientras que en árboles maderables y frutales se midieron a 1,3 m de altura (dap). Se utilizó un sistema de parcelas anidadas; la biomasa arriba del suelo de fustales (dap ≥ 10 cm) se estimó en PPM circulares de 1000 m², excepto para bosques de galería, donde se emplearon PPM rectangulares de 500 m². Los latizales (dap < 10 cm y altura total >1,5 m) se midieron en parcelas circulares de 50,3 m² y la biomasa de vegetación herbácea se estimó mediante el método destructivo, empleando tres marcos de 50 × 50 cm. La biomasa y el carbono de los árboles de cacao fueron estimados mediante parcelas circulares de 154 m². La estimación de la biomasa aérea total por árbol fue realizada usando modelos alométricos desarrollados localmente (Andrade et ál. en preparación; Cuadro 2) y publicados (IPCC 2003, Segura y Kanninen 2005, Segura et ál. 2006, Segura et ál. en preparación).

La biomasa de raíces fue estimada con base en la biomasa aérea total y empleando la ecuación recomendada por el IPCC (2003) para bosque húmedo tropical (Cuadro 2). El carbono almacenado en la necromasa —la cual se compone de tocones, madera caída y hojarasca— fue estimado siguiendo las recomendaciones del IPCC (2003). El carbono orgánico en los primeros 40 cm del perfil del suelo se estimó tomando una muestra compuesta de 20 submuestras por PPM. La densidad aparente del suelo se estimó con el método del cilindro (MacDicken 1997) y el carbono orgánico con un auto-analizador de CHN Thermo Finnigan FLASH EA 1112 (Rodano, Milan, Italy) en el laboratorio de suelos del CATIE.

Costo de oportunidad de realizar cambios de uso del suelo para secuestrar carbono

El costo de oportunidad se estimó con base en el margen bruto y el almacenamiento de carbono en biomasa en cada uso del suelo. El margen bruto se calculó como la diferencia entre los ingresos y costos variables de producción, incluyendo el valor de la mano de obra, que en su mayoría fue familiar (4,2 y 5,2 \$ jornal⁻¹ para valle y loma, respectivamente) y sin descontar el valor de la tierra, la depreciación de equipos e infraestructura, los costos financieros, etc. Los costos e ingresos fueron

calculados con base en el manejo típico de cada sistema de cultivo, establecido mediante encuestas a informantes clave (Ministerios de Medio Ambiente y Energía y de Agricultura y Ganadería, Consejo Nacional de Producción, Asociación de Mujeres Indígenas de Talamanca, Asociaciones de Desarrollo del Territorio

Cabécar y Bribri, Asociación de Productores Orgánicos de Talamanca, UCANEHÜ, ACAPRO, y productores líderes de la zona). Se empleó un ciclo de producción de 20 años para todos los sistemas de cultivos perennes. En maíz y arroz, se empleó un ciclo semestral de cultivo, pero las estimaciones de costos e ingresos se realiza-

Cuadro 2. Ecuaciones alométricas empleadas para estimar biomasa aérea total en árboles individuales de diferentes especies en fincas de Talamanca indígena, Costa Rica

Componente	Especie o grupo de especies	Ecuación	R ² ajustado	Rango dap (cm)	Rango altura total (m)	Fuente
Biomasa total arriba del suelo	Frutales	$B_t = 10^{(-1.11+2.64 \cdot \log(\text{dap}))}$	0,95	1,9-46,5	—	Andrade et ál en preparación
	Cacao	$B_t = 10^{(-1.625+2.63 \cdot \log(d_{30}))}$	0,98	1,3-26,8	—	
	Laurel	$B_t = 10^{(-0.51+2.08 \cdot \log(\text{dap}))}$	0,92	3,9-102,0	—	
	Individuos (dap < 10 cm)	$B_t = 10^{(-1.27+2.20 \cdot \log(\text{dap}))}$	0,88	0,3-9,3	—	
	Siete especies de bosque natural	$B_t = e^{(0.76+0.00015 \cdot \text{dap}^2)} \cdot 1000$	0,71	60-105	19,5-39,0	Segura y Kanninen (2005)
	49 especies de bosque secundario	$B_t = 10^{(-1.5+2.7 \cdot \log(\text{dap}))}$	0,89	5-60	—	Segura et ál. en preparación
	<i>Coffea arabica</i>	$B_t = 10^{(-1.18+1.99 \cdot \log(d_{15}))}$	0,93	0,3-7,4	0,3-3,3	Segura et ál (2006)
	Varias especies del trópico húmedo	$B_t = 21,30 - 6,95 \cdot \text{dap} + 0,74 \cdot \text{dap}^2$	0,92	4-112	—	Brown e Iverson (1992)
	<i>Sabal</i> sp.	$B_t = 24,56 + 4,92 \cdot h_t + 1,02 \cdot h_t^2$	0,82	—	0,2-14,5	IPCC (2003)
	<i>Euterpe precatoria</i> y <i>Phenakospermum guianensis</i>	$B_t = 6,67 + 12,83 \cdot h_t^{0,5} \cdot \ln(h_t)$	—	—	1-33	
Biomasa abajo del suelo		$B_{\text{raíces}} = e^{(-1.06 + 0.88 \cdot \ln(B_t))}$	0,84	—	—	IPCC (2003)

Notas: B_t = biomasa arriba del suelo (kg árbol⁻¹), dap = diámetro a la altura del pecho (cm), d_{30} = diámetro del tronco a 30 cm de altura (cm), d_{15} = diámetro del tronco a 15 cm de altura (cm); h_t = altura total (m); $B_{\text{raíces}}$ = biomasa de raíces (kg árbol⁻¹). Log = logaritmo base 10; Ln = logaritmo natural base e.

Cuadro 3. Carbono almacenado en biomasa aérea, necromasa y suelo en los sistemas de uso del suelo y relieves predominantes en las fincas de Talamanca indígena, Costa Rica

Sistema de suelo	Carbono almacenado (t C ha ⁻¹)					
	Fustales*	Latizales	Raíces	Necromasa	Suelo	TOTAL
Loma						
BG	100,5 ± 87,3	1,1 ± 1,3	18,2 ± 14,0	10,1 ± 2,4	47,5 ± 25,0	177,4 ± 104,5
CHA	13,7 ± 14,8	11,4 ± 13,4	5,3 ± 4,1	15,0 ± 10,2	56,8 ± 15,7	102,2 ± 30,7
SAFB	16,0 ± 17,9	0,6 ± 0,5	3,7 ± 3,5	7,4 ± 4,2	49,5 ± 19,4	77,3 ± 31,4
SAFC	50,3 ± 20,0	0,6 ± 0,5	10,2 ± 3,6	13,6 ± 6,5	61,3 ± 18,3	136,0 ± 29,5
Valle						
BG	53,3 ± 50,9	0,7 ± 0,6	10,3 ± 8,9	5,5 ± 4,6	52,4 ± 28,2	122,2 ± 77,6
CHA	41,6 ± 31,7	2,5 ± 2,6	8,8 ± 5,8	5,2 ± 1,2	66,8 ± 26,1	124,9 ± 30,3
PM	7,5 ± 6,9	1,0 ± 0,9	2,0 ± 1,5	4,0 ± 1,8	41,9 ± 15,6	56,3 ± 16,5
SAFB	24,7 ± 18,3	1,1 ± 0,7	5,5 ± 3,7	8,9 ± 5,2	47,3 ± 25,1	87,5 ± 37,4
SAFC	33,9 ± 16,7	0,7 ± 0,7	7,20 ± 3,03	11,7 ± 5,1	62,0 ± 33,9	115,5 ± 45,2

Notas: dap = diámetro a la altura del pecho; fustales = dap ≥ 10 cm, latizales = dap < 10 cm, altura total > 1,5 m y vegetación herbácea, BG = bosque de galería, CHA = charral; PM = plátano monocultivo, SAFB = banano con árboles, SAFC = cacao con árboles, * = incluye palmas para todos los sistemas y plantas de cacao para el sistema SAFC. Valores corresponden a promedios ± desviación estándar.

Cuadro 4. Almacenamiento de carbono en biomasa (arriba y abajo del suelo) y margen bruto (valor actualizado neto, US\$ ha⁻¹ año⁻¹) por uso de la tierra en los Territorios Indígenas de Talamanca, Costa Rica

Uso actual	Carbono total	Uso anterior						
		SAF con cacao	Charrales	SAF con banano	Plátano	Arroz	Maíz	Promedio
SAF con cacao	51,5	—	-62,8	-58,8	-58,3	-57,6	-57,6	-59,0
Charrales	41,7	0	—	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SAF con banano	25,8	23,8	22,2	—	26,2	26,8	26,8	25,1
Plátano	10,4	796,4	794,1	799,2	—	800,7	800,7	798,2
Arroz	0,0	-19,1	-25,5	-11,0	-9,4	—	-7,0	-14,4
Maíz	0,0	-3,4	-7,4	0,6	2,3	4,7	—	-0,6

Nota: SAF = sistemas agroforestales

ron para un período de 4 años, ya que los productores comúnmente destinan alrededor de 4 ha para sus ciclos de producción de granos para el consumo propio (cultivo-charral-cultivo). Los ingresos se calcularon basados en la producción y se valoraron los productos para el consumo propio, asignándoles el precio de mercado y el costo del transporte hasta el hogar. Los costos e ingresos fueron descontados a una tasa de actualización del 10%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Almacenamiento de carbono por uso de la tierra

Los usos de la tierra en las lomas almacenaron un 22% más de carbono que los del valle. Considerando solo el carbono en biomasa y en necromasa, esta diferencia es del 47%. Los bosques de galería almacenan la mayor cantidad de carbono, seguidos de cacaotales con árboles, charrales, banano con árboles y, por último, plátano en monocultivo (Cuadro 3). El suelo fue el mayor reservo-

rio de carbono, con 54,0 t C ha⁻¹, equivalentes al 27-74% del carbono total. La biomasa arriba del suelo, especialmente los fustales (árboles con dap > 10 cm), almacenó 13-57% del carbono total (8,4-101,6 t C ha⁻¹; Cuadro 3). La necromasa y la biomasa bajo suelo (raíces) almacenaron apenas 5-9% del carbono total. El almacenamiento de carbono total y por componente presentó una alta variabilidad dentro de cada sistema de uso del suelo.

Costos, ingresos y beneficios netos por uso del suelo

El plátano fue el sistema más rentable en los Territorios Indígenas de Talamanca, con un margen bruto de 798 US\$ ha⁻¹ año⁻¹ (Cuadro 4), a pesar de sus altos costos de producción. Cacao con árboles —el sistema más común en la zona— y arroz tienen un margen bruto negativo (59 y 14 US\$ ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente), pero sirven para capitalizar la mano de obra familiar en regiones donde no existen otras opciones de empleo. Los banales resultaron ser una buena opción productiva, ya

Cuadro 5. Costo de oportunidad (US\$ t C⁻¹) del cambio de uso del suelo para la fijación de carbono en fincas de Talamanca indígena, Costa Rica

Uso actual	Uso futuro					
	SAF con cacao	Charrales	SAF con banano	Plátano	Arroz	Maíz
Cacao con árboles	—	-6,0	-3,2	-20,8	-0,8	-1,1
Charrales	-6,4	—	-1,4	-25,4	0,6	0,2
Banano con árboles	-3,3	-1,6	—	-50,3	1,4	0,9
Plátano monocultivo	-20,8	-25,5	-50,1	—	77,7	76,5
Arroz	-0,8	0,3	1,6	78,4	—	0,0
Maíz	-1,1	0,0	1,1	77,0	0,0	—

Notas: SAF = sistema agroforestal. Las casillas sombreadas indican necesidad de pago por disminución de VAN e incremento en el secuestro de carbono.



Medición del diámetro de árboles maderables (foto: Rolando Cerda)

que tienen un buen margen bruto y costos totales de producción menores a los del plátano (Cuadro 4).

Costo de oportunidad de cambiar el uso del suelo para fijar carbono

Cambiar el uso de la tierra de plátano a cualquiera de los otros usos predominantes en Talamanca requiere que el precio del carbono varíe entre 20,8 y 50,1 US\$ t C⁻¹ (Cuadro 5), lo cual no sería factible en proyectos de secuestro de carbono. Si un productor de banano cambiara a charral o cacao (sistemas con mayor tasa de fijación de carbono), se debería pagar entre 1,6 y 3,3 US\$ t C⁻¹, respectivamente. Los productores de maíz y arroz deberían recibir montos menores si cambiaran a SAF con cacao, ya que están teniendo bajos beneficios financieros en la producción de estos cultivos. Todos los otros cambios de uso del suelo no deberían recibir pagos debido a que incrementan su valor actualizado neto (VAN) o disminuyen su VAN y su almacenamiento de carbono.

El costo de oportunidad de cambiar de plátano a cualquier otro uso del suelo para secuestrar carbono en Talamanca es muy superior a los encontrados en sistemas silvopastoriles en Matiguás (Nicaragua), con costos entre 3,3 y 26,4 US\$ t C⁻¹ (Ruiz et ál. 2004). En SAF con cafetales en Nicaragua, se estimó un costo de oportunidad de US\$ 1,5 t C⁻¹ (Suárez 2003). Igualmente, estos costos resultaron muy superiores a los precios actuales del servicio de secuestro de carbono, los cuales varían entre 11 y 22 US\$ t C⁻¹ (Lecocq

2004). Segura (1999) encontró valores similares en valoraciones en bosques tropicales de Costa Rica (18,3-43,5 US\$ t C⁻¹). Sin considerar el plátano, los montos estimados en este estudio estarían en el rango de los precios mundiales de carbono. Sin embargo, la transformación de uso del suelo para aprovechar el mercado del carbono capturado en los árboles no es atractiva para los productores porque los costos de administración, monitoreo, validación, certificación y comercialización del carbono capturado son altos y la rentabilidad baja.

CONCLUSIONES

Los Territorios Indígenas de Talamanca son un sumidero importante de carbono atmosférico que puede ser mayor si se aumenta la densidad de árboles por uso del suelo. En Talamanca, los cultivos de arroz y maíz podrían migrar hacia charrales y sistemas agroforestales con cacao. La posibilidad de estimular un cambio de uso del suelo que aumente el carbono almacenado en los árboles mediante el pago del carbono almacenado es poco factible con los precios del carbono y costos de producción y gestión actuales.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto Captura de Carbono y Desarrollo de Mercados Ambientales en Sistemas Agroforestales Indígenas con Cacao en Costa Rica (CATIE-ACOMUITA-ADITICA-ADITIBRI-MINAE), a los productores y el equipo técnico en el apoyo por la

recolección de información. Especial agradecimiento al M.Sc. Marco Otárola por el apoyo en la evaluación financiera.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Albrecht, A; Kandji, ST. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99(1-3): 15-27.
- Andrade, H; Segura, M; Somarriba, E; Villalobos, M. Biomass equations to estimate aboveground biomass of woody components in indigenous agroforestry systems with cacao. *En preparación*.
- Banco Mundial. 1994. Glosario anotado de términos basados en el análisis Económico de Proyectos Agrícolas. Baltimore, US, John Hopkins University Press. 134 p.
- Beer, J; Harvey, C; Ibrahim, M; Harmand, JM; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 80-87.
- Brown, S; Iverson, LR. 1992. Biomass estimates for tropical forests. *World Resource Review* 4(3): 366-383.
- Dixon, RK. 1995. Agroforestry systems: Sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems* 31: 99-116.
- Holdridge, L. 1967. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, CR, IICA. 95 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. In Penman, J; Gytarsky, M; Hiraishi, T; Krug, T; Kruger, D; Pipatti, R; Buendia, L; Miwa, K; Ngara, T; Tanabe, K; Wagner, F. IPCC Good Practice Guidance for LULUCF. Hayama, Kanagawa, JP, IPCC. p. 4, 113 - 116.
- Lecocq, F. 2004. State and Trends of the Carbon Market 2004. Washington DC, US, World Bank/Carbon Finance Business Team. 31 p.
- MacDicken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, US. Winrock International Institute for Agricultural Development. 91 p.
- Ruiz, A; Ibrahim, M; Locatelli, B; Andrade, H; Beer, J. 2004. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica de fincas ganaderas en Matiguás, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 41-42: 16-21.
- Schroeder, P. 1994. Carbon storage benefits of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 27:89-97.
- Segura, MA. 1999. Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 119 p.
- Segura, M. 2005. Estimación del carbono almacenado y fijado en sistemas agroforestales indígenas con cacao en la zona de Talamanca, Costa Rica. Informe final de consultoría, Proyecto Captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en sistemas agroforestales indígenas con cacao en Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. 46p + anexos.
- Segura, M; Kanninen, M. 2005. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biotrópica* 37(1): 2-8.
- Segura, M; Kanninen, M; Suárez, D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforestry Systems* 68: 143-150.
- Segura, M; Kanninen, M; Ferreira, C. Allometric models for biomass estimation in secondary forests, San Carlos municipal district, Nicaragua. *En preparación*.
- Suárez, D. 2003. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en la Comarca Yasica Sur, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 117 p.
- Winjum, JK; Dixon, RK; Schroeder, PE. 1992. Estimating the global potential of forest and agroforest management practices to sequester carbon. *Water, air and soil pollution* 64: 213-227.

Medios de vida y dinámica del uso del suelo en los Territorios Indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica¹

Matthew Whelan², Dietmar Stoian³, J.D. Wulffhorst⁴, Eduardo Somarriba³, Gabriela Soto³, Kees Prins³

RESUMEN

Se estudiaron las estrategias de vida de los hogares, y los cambios en el uso de la tierra en sus parcelas, en tres zonas con diferente facilidad de acceso y servicios básicos, en los territorios Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. Los hogares ubicados en la zona alta (Zona I), con menos acceso a infraestructura y culturalmente homogéneos, practican una agricultura de subsistencia y dependen de la venta de mano de obra en el mismo territorio. En el valle, Zona II (Sepeque y parte de Mojoncito) y Zona III (Shiroles y alrededores), con más acceso a infraestructura y culturalmente más diversos, los hogares practican una agricultura más intensiva, centrada en el plátano, pero igualmente dependiente de la venta de mano de obra. Los bosques, charrales y sistemas agroforestales con cacao se están convirtiendo en monocultivos de plátano y sistemas agroforestales mixtos (plátano, banano y cacao) y de banano. El cambio de uso de suelo en las Zonas II y III estuvo influenciado por las reglas de la certificación orgánica de cacao y banano y por la venta de plátano. En la Zona I, el cambio de uso del suelo fue determinado por las nociones culturales de buen manejo de suelo, topografía y características del suelo, presencia de animales (ganadería), acceso a mercado y eventos naturales.

Palabras claves: bosques, agricultura orgánica, cacao, barbecho, hogares, metodologías participativas, plátano.

Livelihoods and land use dynamics in the Bribri and Cabecar Indigenous Territories, Talamanca, Costa Rica

ABSTRACT

The livelihoods and farm land use change in three zones with different access and basic services were studied in the indigenous territories of Bribri and Cabecar groups in Talamanca, Costa Rica. The households located in the highlands (Zone I), where there was less infrastructure and cultural homogeneity, practiced subsistence agriculture and depended on the sale of their labour in the same area. In the valley, Zone II (Sepeque and part of Mojoncito) and Zone III (Shiroles and surroundings), which had greater access to infrastructure and were more culturally diverse, the households practiced more intensive agriculture based on plantain, but they also depended on the sale of their labour. Forests, fallows and agroforestry with cacao are being converted to plantain monocultures and mixed (plantain, banana and cacao) and banana agroforestry systems. The land use change in Zones II and III was affected by the rules and regulations for organic certification of cacao and banana and the sales of plantain. In Zone I, land use change was determined by cultural concepts about good soil management, topography, soil characteristics, presence of animals (cattle), market access and natural events.

Keywords: fallows, forests, households, organic agriculture, participative methodologies, plantain.

INTRODUCCIÓN

La región de Talamanca se caracteriza por una alta concentración de biodiversidad, suelos fértiles, reservas de petróleo y bosques primarios (Borge y Castillo 1997), pero también por la presencia de los grupos indígenas bribri y cabécar (Bozzoli y Guevara 2002), quienes registran uno de los índices de pobreza más extremos del país (Gutiérrez 2002). Las diferentes visiones e

intereses de los residentes locales (indígenas, negros, mestizos, nativos e inmigrantes), gobierno local (indígena y municipal) y nacional, empresas transnacionales, organismos de desarrollo, instituciones y organizaciones de conservación y de investigación que trabajan en los territorios indígenas, hacen difícil conciliar las perspectivas sobre el uso del suelo y las estrategias de medio de vida de los residentes locales. Este artículo analiza

¹ Basado en Whelan M. 2005 Reading the Talamanca landscapes: land use and livelihoods in the Bribri and Cabecar indigenous territories, Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag Sc. Turrialba, CR, CATIE. 122 p.

² Mag. Sc. en Agricultura Ecológica, CATIE, Turrialba 7170, Costa Rica. Correo electrónico: mwhelan@catie.ac.cr

³ Profesores-investigadores, CATIE, Turrialba 7170, Costa Rica. Correos electrónicos: stoian@catie.ac.cr, gabisoto@catie.ac.cr, esomarri@catie.ac.cr, prins@catie.ac.cr

⁴ Social Science Research Unit, University of Idaho, Idaho, Estados Unidos. Correo electrónico: jd@uidaho.edu

las estrategias de vida de los hogares y los cambios en el uso de la tierra en tres zonas con diferente facilidad de acceso y servicios básicos en los territorios Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio

La investigación se realizó en los Territorios Indígenas Bribri y Cabécar en Talamanca, provincia de Limón, Costa Rica (9°00'- 9°50'N; 82°35'-83°05'O), donde predominan bosques húmedos y muy húmedos tropicales (Holdridge 1967). La temperatura mensual y la precipitación promedio anual varían entre 22 y 27 °C y 1900 y 2740 mm, respectivamente (Borge y Villalobos 1995). Se distinguen dos unidades de paisaje: valle (65% de la superficie y 80% de la población) y laderas (35% de la superficie y 20% de la población). El valle se ubica en un abanico aluvial formado por cuatro ríos (Telire, Cohen, Lari y Uren) que, al unirse con el Yorkín, forman el río Sixaola. El valle, dominado por Entisoles, se inunda periódicamente debido a su pendiente moderada, alta precipitación y pendientes pronunciadas en la zona de captación; las laderas, dominadas por Ultisoles e Inceptisoles, se caracterizan por pendientes pronunciadas y propensas a derrumbes por las altas precipitaciones (Polidoro et ál. 2007, en esta edición).

Los Territorios Indígenas se crearon en 1977 por decreto de la Ley Indígena No. 1662 (Chacón 1993). En 1982, el territorio fue dividido en la Reserva Indígena Bribri y la Reserva Indígena Cabécar, con superficies de 43.690 ha y 22.729 ha, respectivamente. Las reservas abarcan, en conjunto, el 40% del territorio que históricamente les perteneció (Bozzoli y Guevara 2002). Debido a la



Figura 1. Ubicación de las zonas de estudios dentro de los Territorios Indígenas Bribri y Cabécar, Talamanca, Costa Rica. Fuente: Polidoro (sin publicar).

alta concentración de biodiversidad y a la presencia de las comunidades indígenas, el 87% del territorio está bajo alguna forma de protección (Municipalidad de Talamanca 2003). Los Territorios Indígenas Bribri y Cabécar forman parte de un grupo de áreas protegidas que componen el Corredor Biológico Talamanca-Caribe. Talamanca es el cantón más pobre de Costa Rica, ya que el 49,7% de la población que lo habita vive en condiciones de pobreza (Municipalidad de Talamanca 2003) y tiene acceso limitado a electricidad, centros de salud, escuelas, colegios, transporte público y carreteras (Yépez 1999). En las reservas indígenas la tenencia de la tierra es comunal, lo que dificulta el acceso de los indígenas al crédito; se prohíbe la comercialización de la tierra entre indígenas y no indígenas, y la tala de árboles es restringida, aun en los casos donde los productores los hayan sembrado.

Cuadro 1. Características de las comunidades estudiadas en los territorios Bribri y Cabécar, Talamanca, Costa Rica

Variables	Zona 1			Zona 2		Zona 3
	San José Cabécar	Alto Cohen	Orochico	Mojoncito	Sepeque	Shiroles
No. total de hogares	10	12	24	70	126	300
No. de hogares entrevistados	2	3	3	18	24	32
Distancia a Bribri (km)	40	36	25	23-25	17	13,5
Tiempo de viaje a Bribri (una vía, h)	> 14	> 12	3	3	2	1
Acceso por carretera	No	No	No	Estacional	Sí	Sí
Altitud (m)	500	500	200	200	100	50
Relieve	Ladera	Ladera	Ladera	Ladera	Valle	Valle
Pendiente (%)	29-57	29-57	13-29	13-29	< 6	< 6

Fuente: Whelan (2005)

El área de estudio se dividió en tres zonas (Figura 1) de acuerdo con la altitud, distancia hasta el mercado, acceso a infraestructura y homogeneidad cultural. La *Zona I*, formada por las comunidades de San José Cabécar, Alto Cohen, Orochico y parte de Mojoncito, se caracteriza por altitudes mayores a los 500 m, sin vías de transporte y pobre acceso al mercado e infraestructura. La *Zona II*, ubicada en el valle, incluye la comunidad de Sepeque y parte de Mojoncito, presenta altitudes inferiores a los 500 m, cuenta con caminos y está separada del mercado local por el río Sixaola. La *Zona III*, ubicada también en el valle, abarca la comunidad de Shiroles y sus alrededores, presenta una altitud promedio de 50 m, con carretera todo el año, buen acceso al mercado y a servicios básicos (Cuadro 1).

Marco conceptual

Se utilizó el enfoque de medios de vida (Chambers y Conway 1991, Carney et ál. 1999) para analizar las actividades y decisiones que toman las personas y hogares y cómo emplean los recursos a su disposición para ganarse la vida. Los recursos o capitales de que disponen las familias son *humanos* (educación o salud), *naturales* (tierra, árboles en las fincas, etc.), *financieros* (ahorros), *sociales* (acceso a redes sociales), y *físicos* (construcciones, caminos, etc.). Las actividades y las decisiones ocurren dentro de un contexto de vulnerabilidad (choques, tendencias, y estacionalidad) y en el marco de políticas, instituciones y procesos que afectan los medios de vida de las personas y sobre las cuales las personas carecen de control.

Descripción del estudio

La investigación se dividió en cuatro fases. En la *Fase I*, se recolectó y estudió la literatura (publicada y gris) sobre la etnografía y características biofísicas y socioeconómicas de los territorios indígenas.

En la *Fase 2*, se recolectó información primaria a través de entrevistas semiestructuradas a informantes clave ($n = 30$). El dibujo del croquis de sus parcelas junto con los miembros del hogar fue uno de los componentes centrales de dichas entrevistas. En los croquis, los hogares mostraron lo que hay hoy en día y los cambios que han ocurrido en el tiempo. Con base en los mapas de historia de uso de suelo, se agregaron los cambios por parcela y se construyeron figuras de la historia del uso del suelo. Se calcularon las tasas de cambio, como el porcentaje de reducción de un uso dado respecto a su número original de parcelas. Se analizaron las decisiones del hogar y los cambios de uso del suelo en sus parcelas. En lo humano,

el hogar fue la unidad de análisis. En lo biofísico, la parcela (no la finca o área total bajo manejo familiar) fue la unidad de análisis.

El investigador permaneció un mes y medio en cada zona del área de estudio y participó en las actividades de los hogares. Se utilizaron varios métodos participativos, incluyendo la observación participante (conversaciones casuales y participación en las actividades del hogar), entrevistas semiestructuradas al 10% de los hogares ($n = 82$), y el dibujo de mapas de usos del suelo (pasado, presente y potencial) en las fincas. Los usos del suelo considerados en el estudio fueron bosques, charrales (bosques secundarios con menos de cinco años de edad), sistemas agroforestales (SAF) con cacao, SAF con banano, SAF mixtos (plátano, banano y cacao), potreros y plátano en monocultivo. Después de la entrevista, y dependiendo de la cercanía a la finca y la disposición de los miembros del hogar, se realizaron visitas a las parcelas. En la Zona I se visitaron 84 parcelas, en la Zona II 149 y en la Zona III 86 parcelas, equivalentes a 1131, 940 y 222 ha, respectivamente. Se trabajó con un asistente de campo local que ayudó en la logística del trabajo y en la traducción del bribri y cabécar al español.

La *Fase 3* fue la triangulación de la información obtenida de informantes clave y hogares. La triangulación se realizó de tres maneras: (i) en las entrevistas, preguntándoles los mismos temas de diferentes formas; (ii) mediante conversaciones informales con miembros de otros hogares dentro de la misma comunidad, y (iii) evaluando la información publicada en la literatura.

En la *Fase 4* se diseñó una base de datos en Microsoft Access para organizar y analizar los datos con cuadros de referencias cruzadas. Las estadísticas descriptivas se calcularon con Microsoft Excel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uso del suelo

En la Zona I, los granos básicos (arroz, maíz, frijol) y el banano son los cultivos predominantes del paisaje. La agricultura es de subsistencia, las parcelas están diversificadas (cultivos intercalados, múltiples variedades y varias parcelas agrícolas en diferentes sitios geográficos). El 93% de los hogares tiene suficiente tierra para cultivar; se manejan en promedio 86 ha por hogar y el uso del suelo tiende a ser extensivo. El 93% de los hogares tiene dos o más miembros involucrados regularmente en el trabajo de la finca. Las influencias predominantes en el cambio de uso de suelo son:ocio-

Cuadro 2. Tendencias en el cambio de uso de tierra en los territorios Bribri y Cabécar, Talamanca, Costa Rica ($n = 82$)

Uso de suelo	Área original (ha)	Parcelas originales (%)	Área original (%)	Cambio de uso de suelo (%)
Bosque	1787	32,5	77,9	-10,7
Charrial	395	46,6	17,3	-8,5
SAF-cacao	81	13,6	3,5	-2,2
Granos básicos	14	2,7	0,6	-5,5
Plátano	5	1,6	0,2	+22,7
SAF mixto ^a	7	2,1	0,3	+23,9
Pasto	3	0,3	0,1	+6,0
SAF-banano	2	0,6	0,1	+20,5
Total	2294	100	100	100^a

Fuente: Whelan (2005)

^aincluye plátano, banano y cacao. ^bsumatoria de los valores absolutos. - disminución neta. + incremento neto

nes culturales del buen uso del suelo, importancia de mantener la diversidad, condiciones biofísicas (topografía), características del suelo, eventos naturales como derrumbes e inundaciones, falta de acceso al mercado y la presencia de animales de cría.

En la Zona II, el plátano en monocultivo y los SAF con banano son los sistemas de cultivo predominantes. La producción se orienta al mercado. La tierra se maneja más intensivamente y se dedica menos área y tiempo a los cultivos de subsistencia que en la Zona I. Los hogares tienen una superficie promedio de 27 ha. El 69% de los hogares no tiene suficiente tierra para cultivar. A diferencia de la Zona I, la mitad de los hogares no dispone de mano de obra para manejar bien su tierra. El 66% de los hogares dispone de dos o más miembros para trabajar la finca; el 34% de los hogares dispone de un solo miembro.

En la Zona III, al igual que en la Zona II, la economía local gira alrededor de la producción de plátano, comercializado en el mercado nacional y de exportación. El banano se cultiva con menos sombra que en la Zona II y III. La agricultura es de mayor intensidad, manejo y capital. Los hogares manejan en promedio 6,8 ha y el 72% de los hogares no tiene suficiente tierra para cultivar. El 16% de los hogares entrevistados no tienen tierra propia, y el 22% tiene 1 ha o menos. El 53% de los hogares disponen de dos o más miembros para el trabajo agrícola de la finca; 47% de los hogares cuenta con un miembro. Como existe menos tierra por hogar, el 64,5% expresó que tiene suficiente mano de obra para manejar bien la tierra.

En las Zonas II y III, las influencias dominantes en el uso del suelo son las diferentes "reglas del juego" (North

1994) establecidas por los organismos de certificación y los intermediarios de plátano. Por ejemplo, las diferencias en la venta del plátano (por peso o racimo), la forma de pago (inmediato o diferido) y las posibilidades de crédito. El 74% de los hogares de las tres zonas tuvieron al menos una parcela con banano y plátano, pero estos usos del suelo se concentraron en el valle. El 89% de los hogares cultiva tres variedades de banano bajo SAF, conocidas localmente como Gran Michel, Congo y Lacatán; 11% de los hogares maneja solo una variedad. El manejo del plátano difiere mucho del banano, ya que se cultiva con poco o nada de sombra y conlleva la aplicación de agroquímicos: 33% de los productores los aplica regularmente para controlar plagas; 22% los aplica ocasionalmente; y 55% no usa agroquímicos. La predominancia del plátano en la Zona III tiene que ver no solo con el atractivo de su rentabilidad, sino también con la imposibilidad de cultivar banano o cacao orgánico (los otros mercados principales dentro de los territorios) si en su tierra o la de su vecino se utilizan agroquímicos. En toda el área de estudio se evidencia una disminución de los usos de suelos estructuralmente más diversos (bosques, charrales y SAF con cacao) en favor de cultivos menos diversos como el plátano, SAF con banano y potreros (Cuadro 2).

Medios de vida

Los siguientes choques biofísicos y socioeconómicos han afectado los territorios y poblaciones indígenas en la historia reciente: inundaciones (1970, 1991 y 2005); terremoto (1991); moniliasis del cacao (*Moniliophthora roreri* en 1978); retiro del principal comprador de cacao certificado orgánico y comercio justo en el 2002; fluctuaciones en el mercado nacional de plátano, y la llegada y asentamiento de familias no indígenas en los territorios, que llegaron con las exploraciones por hidrocarburos y carbón de RECOPE

Cuadro 3. Capital natural por zona y comunidad en los territorios Bribri y Cabécar, Talamanca, Costa Rica

Capital natural	Zona I		Zona II		Zona III	
	SJC	AC	OCH	MO	SE	SH
Área total promedio (ha hogar ¹)	86		27		7	
Área forestal (ha hogar ¹)	60		18		13	
Área agrícola (ha hogar ¹)	26		9		6	
Área promedio de parcelas preinundaciones (ha)	6		4		3	
Área promedio de parcelas postinundaciones (ha)	5		3.7		2	
No. de vacas por hogar	8		1		0,6	
No. de cerdos por hogar	9		3		0,9	
No. de gallinas por hogar	16		22		19	
No. de pavos por hogar	0,8		0,5		0,2	
No. de patos por hogar	2		1		2	
No. de caballos por hogar	0,6		1		0,9	

(instituto de refinado de petróleo del Gobierno de Costa Rica). Otros aspectos que afectan los medios de vida de los hogares indígenas son (i) la división de la tierra debido al crecimiento poblacional y la herencia; (ii) la imposibilidad de tener especies menores (cerdos) en los hogares de las zonas más pobladas, debido a la molestia que ocasionan a los vecinos; (iii) la influencia no-indígena (guanacastecos y nicaragüenses) en los territorios y en el uso del suelo; (iv) el declive de los ingresos reales y del poder adquisitivo frente al aumento de los gastos del hogar, y (v) la intermediación en la comercialización del plátano y otros productos agrícolas.

El trabajo asalariado fuera de la finca ocupa un lugar muy importante en la economía familiar, aun en la Zona I, con menor acceso al mercado e infraestructura básica. En el 35-40% de los hogares entrevistados, el trabajo como jornalero fue significativo en el ingreso total del hogar. La venta de mano de obra destaca el cambio de una economía de subsistencia hacia una economía monetarizada, hasta en las comunidades más aisladas. El mejor capital físico se encontró en la Zona III, seguido de la II y de la I, la cual solo

cuenta con acceso a escuela (Cuadro 4). Los hogares de la Zona I tienen más acceso a activos del capital natural (área promedio por finca, número de cerdos por hogar), capital humano (número de miembros en el hogar) y capital financiero (acceso a préstamos o crédito informal) que los hogares de las Zonas II y III (Cuadro 4). La Zona III presentó valores más altos en capital humano (nivel de educación alcanzado por los miembros del hogar) y capital físico (acceso a electricidad) que las otras dos zonas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los hogares de Talamanca utilizan como estrategia de vida la diversificación de las actividades agrícolas y la venta de mano de obra, centrada principalmente en el cultivo de plátano. Bosques, charrales y cacao con sombra están siendo convertidos en monocultivos de plátano y sistemas agroforestales mixtos (plátano, banano y cacao) y con banano. Se recomienda diversificar la estrategia de vida de los hogares mediante el desarrollo de la producción de banano orgánico, el cual aporta buenos ingresos y facilita la conservación de biodiversidad

Cuadro 4. Capital físico por zona y comunidad en los territorios Bribri y Cabécar, Talamanca, Costa Rica

Capital físico	Zona I		Zona II			Zona III
	SJC	AC	OCH	MO	SE	SH
Acceso a caminos	No	No	No	No/Sí	Sí	Sí
Acceso a luz	No	No	No	No	No	Sí
Acceso a agua potable	No	No	No	No/Sí	Sí	Sí
Acceso a centro de salud	No	No	No	No/Sí	Sí	Sí
Acceso a escuela	No	Sí	Sí	No/Sí	Sí	Sí
Acceso a colegio	No	No	No	No	Sí	No

SJC = San José Cabécar; AC = Alto Cohén; MO = Mojoncito; SE = Sepeque; SH = Shiróles



Familias indígenas bribri y cabécar en Talamanca, Costa Rica (foto: Eduardo Somarriba)

AGRADECIMIENTOS

A Nilsa Bosque-Pérez y todo el comité coordinador del proyecto CATIE-IGERT (donación NSF 011434) y a la Organización de Estados Americanos (a través de su programa de becas para la investigación) por el financiamiento para realizar esta investigación. A Eduardo Somarriba, Marilyn Villalobos y los demás miembros del proyecto “Captura de Carbono y el Desarrollo de Mercados Ambientales en cacaotales y otros sistemas agroforestales indígenas en Talamanca, Costa Rica” del CATIE por su ayuda logística en Talamanca.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Borge, C; Castillo, R. 1997. Cultura y conservación en la Talamanca indígena. San José, CR, EUNED. 261 p.
- Borge, C; Villalobos, V. 1995. Talamanca en la encrucijada. San José, CR, UNED. 121 p.
- Bozzoli, M; Guevara, M. 2002. Los indígenas costarricenses en el siglo XXI. San José, CR, EUNED. 76 p.
- Carney, D; Drinkwater, M; Rusinow, T; Neeffjes, K; Wanmali, S; Singh, N. 1999. Livelihoods approaches compared. Londres, UK, Department for International Development (DFID). 19 p.
- Chacón, RC. 1993. Legislación indígena costarricense Convenio 169 de la O.I.T y La ley indígena: dos instrumentos fundamentales para la defensa de los derechos humanos de los pueblos indios de Costa Rica. San José, CR, Iglesia Luterana Costarricense. 46 p.
- Chambers, R; Conway, G. 1991. Sustainable rural livelihoods: practical concepts for the 21st century. Sussex, UK, Institute of Development Studies. IDS Discussion Paper 296. 33 p.
- Gutiérrez, M. 2002. Una exploración de datos censales sobre la pobreza, aproximada según necesidades básicas insatisfechas en la Costa Rica actual. Ponencia preparada para el simposio “Costa Rica a la luz del Censo del 2000”. San José, Costa Rica. Inédito.
- Holdridge, L. 1967. Ecología basada en zonas de vida. San José, CR, IICA. 216 p.
- Municipalidad de Talamanca. 2003. Plan local de desarrollo: 2003:2013. 144 p. *Sin publicar.*
- North, DC. 1994. Economic performance through time. *American Economic Review* 84(3): 359-368.
- Polidoro, B; Winowiecki, L; Johnson-Maynard, J; McDaniel, P; Morra, M. 2007. Suelos del valle y del piedemonte en Talamanca: un paisaje dinámico para el almacenamiento de carbono. *En esta edición.*
- Whelan, M. 2005. Reading the Talamanca landscape: Land use and livelihoods in the Bribri and Cabécar Indigenous Territories. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 122 p.
- Yépez, JP. 1999. Talamanca frente al segundo milenio: estrategias para el desarrollo sostenible. Talamanca, CR, Documento Proyecto Namasol. 124 p.

Artículos invitados

Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica

William Fonseca G.¹, Federico E. Alice¹, Johan Montero¹, Henry Toruño¹, Humberto Leblanc²

RESUMEN

Se estudió la acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios (de 5, 8 y 18 años) y en plantaciones de *Vochysia guatemalensis* Donn e *Hieronyma alchorneoides* Allemão en la zona atlántica de Costa Rica. Se instalaron parcelas de 500 m² en sitios con diferente edad para construir una pseudo-cronosecuencia en ambos tipos de ecosistemas forestales. Se cuantificó la biomasa aérea y de raíces, la necromasa y el carbono orgánico del suelo en todas las parcelas. Se determinó la fracción de carbono por componente. El mayor incremento en el almacenamiento de carbono se encontró en las plantaciones de *H. alchorneoides*, seguido de las de *V. guatemalensis* y, por último, en los bosques secundarios. La biomasa aérea, biomasa de raíces y la necromasa aumentaron con la edad en los bosques secundarios y plantaciones forestales. En cambio, la biomasa de la vegetación herbácea decreció con la edad en ambos tipos de ecosistemas forestales. La biomasa arriba del suelo contiene entre 11 y 17% del carbono total. El suelo fue el principal depósito de carbono, ya que almacenó el 76 a 86% del carbono total.

Palabras claves: biomasa abajo del suelo, biomasa arriba del suelo, carbono orgánico del suelo, especies nativas, necromasa, potreros, regeneración natural.

Biomass and carbon accumulation in secondary forests and forestry plantations as restoration tools in the Caribbean zone of Costa Rica

ABSTRACT

Biomass and carbon accumulation were studied in secondary forests (5, 8 and 18 years old) and forestry plantations of *Vochysia guatemalensis* Donn and *Hieronyma alchorneoides* Allemão in the Caribbean zone of Costa Rica. Sampling plots, each of 500 m², were established in both forestry ecosystems. The above and belowground biomass, the necromass (litter and dead wood material) and the soil organic carbon were estimated in all plots. Carbon content in biomass was quantified by component. The highest increment in carbon storage was found in plantations of *H. alchorneoides*, followed by plantations of *V. guatemalensis* and, lastly, secondary forests. The above and belowground biomass and the necromass increased with age in the secondary forest and plantations. In contrast, herbaceous biomass decreased with age in both ecosystems. The aboveground biomass stored between 11 and 17% of total carbon. Soil was the main carbon pool, storing between 76 and 86% of total carbon.

Keywords: aboveground biomass, belowground biomass, grasslands, native species, natural regeneration, necromass, soil organic carbon.

INTRODUCCIÓN

El aumento en la temperatura atmosférica, indicador del calentamiento global causado por el incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero (varios compuestos de carbono) en la atmósfera, es una amenaza para la humanidad que interesa a todos en el ámbito científico, político, económico y ambiental. La firma del Protocolo de Kyoto en el 2005 estableció el marco legal para el comercio mundial de carbono,

abriéndose oportunidades para que los países en desarrollo obtengan financiamiento para proyectos de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y forestería (LULUCF, por sus siglas en inglés). La reforestación y aforestación, sea por medio de restauración activa (plantaciones) o pasiva (regeneración natural), son opciones válidas para los proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL). Es necesario conocer la capacidad de los ecosistemas forestales y agroforestales para capturar

¹ Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR), Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Correos electrónicos: wfonseca@una.ac.cr; falice@geotropico.com.com; johmontero@hotmail.com; htoruño@una.ac.cr.

² Universidad EARTH. Correo electrónico: hleblanc@earth.ac.cr.

carbono y así determinar la compensación económica que deben recibir los propietarios de la tierra por el servicio ambiental de captura de carbono atmosférico y mitigación del cambio climático prestado a la sociedad. El objetivo del presente artículo es cuantificar la fijación de carbono de plantaciones de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* y de bosques secundarios jóvenes en la región Caribe de Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y muestreo

La investigación se realizó en la Universidad EARTH ("Escuela de Agricultura de la Región del Trópico Húmedo"; 10°10'N; 83°37'O) y en la Hacienda Las Delicias (10°14'N; 83°66'O), en la vertiente del Caribe de Costa Rica. La zona de vida es un bosque muy húmedo premontano con transición a basal (Bolaños y Watson 1993). La altitud del lugar varía entre 64 y 95 m, con una precipitación anual de 3464 mm, distribuidos uniformemente durante todo el año, y temperatura promedio de 25,1 °C. Los suelos son Typic Tropaquent asociados con Aeric Tropic Fluvaquent, de poco desarrollo, mal drenaje e inundables en depresiones (Gómez 1986). La topografía es regular, con pendientes inferiores al 5% y un nivel freático > 90 cm de profundidad. Se seleccionaron plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* y *Hieronyma alchorneoides* y bosques secundarios con un amplio rango de edades y localizados en condiciones de suelo, topografía y clima similares. Los bosques secundarios y las plantaciones forestales están localizados en sitios ocupados originalmente por potreros (los cuales se incluyen como testigos). Todos los sitios se midieron una vez.

Estimación de la biomasa y del carbono

La biomasa y el carbono almacenado en la biomasa de árboles, hierbas, necromasa, raíces y en la materia orgánica del suelo se estimaron con la metodología propuesta por MacDiken (1997), con algunas modificaciones. Se empleó un sistema de parcelas anidadas de diferente tamaño, donde se midieron cinco componentes de la biomasa: (i) parte aérea de árboles y arbustos; (ii) parte aérea de hierbas, árboles y arbustos pequeños; (iii) materia muerta sobre el suelo o necromasa; (iv) raíces; y (v) materia orgánica del suelo. A continuación se describen los procedimientos empleados para medir cada componente.

Biomasa aérea de componentes leñosos

En cada plantación forestal y en los bosques secundarios de 5, 8 y 18 años, en una parcela rectangular de 500 m²,

se midió el dap de todos los árboles y arbustos con dap ≥ 2,5 cm, y la altura total de los árboles dominantes (el 10% de los árboles más altos por parcela). Se utilizaron cinco clases diamétricas (bosques secundarios de 5, 8 y 18 años, respectivamente) de 5 cm de intervalo y se muestreó un árbol de dap promedio por clase diamétrica. Se estimó la biomasa de fustes, ramas y hojas de la especie con mayor Índice de Valor de Importancia (Krebs 1985). Los árboles de dap promedio por clase seleccionados fueron cortados y separados en componentes (fuste, ramas y hojas), pesados en fresco y recolectadas muestras de 300 g por componente para estimar su contenido de materia seca (MS) en horno (75 °C por 72 h).

Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña

La vegetación herbácea y leñosa pequeña (gramíneas, bejucos, helechos, plantas pequeñas y arbustos o regeneración de árboles con dap < 2,5 cm) se midió en una subparcela de 1 × 1 m en cada esquina de la parcela de 500 m². En cada subparcela se cortó al nivel del suelo todo el material vegetal, se pesó en el campo y se tomaron muestras para estimar la MS.

Necromasa

La necromasa se dividió en fina (< 2 cm) y gruesa (≥ 2 cm) (Scott et ál. 1992, Saldarriaga 1994, Moran et ál. 2000). La biomasa de la necromasa fina fue estimada en cuatro subparcelas de 0,5 × 0,5 m y la necromasa gruesa en una subparcela de 5 × 5 m, ambas ubicadas al azar en la parcela de 500 m². La necromasa fina y gruesa en cada parcela se recogió del suelo, se pesó en campo y se tomó una muestra para estimar la MS.

Raíces, densidad aparente y materia orgánica del suelo

Se utilizó la metodología propuesta por Sierra et ál. (2001). El sistema radicular se dividió en raíces gruesas (diámetro ≥ 5 mm) y finas (diámetro < 5 mm). Las raíces gruesas fueron estimadas mediante la excavación y extracción del sistema radicular de los árboles promedio seleccionados. Las raíces gruesas fueron lavadas en el campo, pesadas luego de secar al aire y muestreadas para determinar la MS. Las raíces finas se estimaron en cuatro puntos al azar dentro de la parcela de 500 m²; de estos mismos sitios se tomó un cilindro de suelo para determinar su densidad aparente y el contenido de materia orgánica del suelo. En cada sitio se excavó un bloque de 20 × 20 × 30 cm, se lavó con agua sobre un tamiz de 250 μm y se secaron al horno y pesaron las raíces.

Se determinó el porcentaje de carbono orgánico del suelo mediante el método de Pregl y Dumas (Bremner

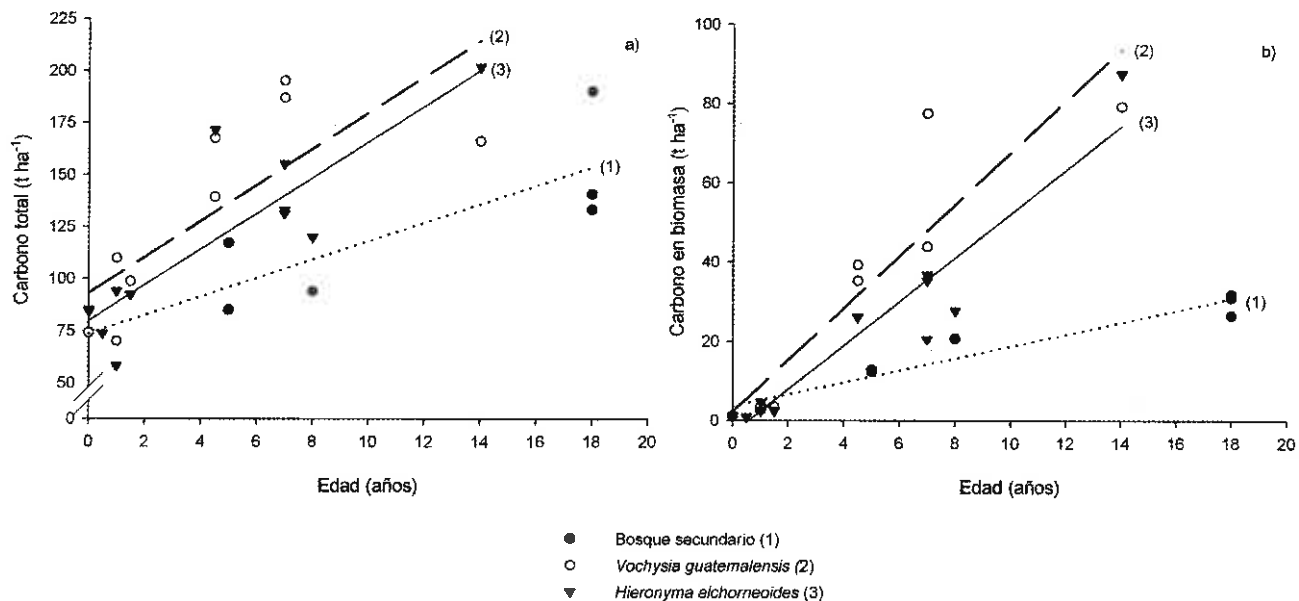


Figura 1. Fijación de carbono total (a) y en biomasa total (b) en plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. Las líneas (1, 2 y 3) representan los modelos lineales de mejor ajuste para los tres sistemas evaluados.

y Mulvaney 1982) en un autoanalizador (Perkin-Elmer serie II, CHN/S 2400, Norway Co.). Se determinó la densidad aparente del suelo en los primeros 30 cm del perfil mediante el método del cilindro (MacDicken 1997). El porcentaje de carbono orgánico del suelo se multiplicó por la densidad aparente del suelo para estimar el carbono almacenado por hectárea en los primeros 30 cm del suelo bajo plantaciones forestales y bosques secundarios.

Análisis químico de tejidos y suelos

Las muestras de tejido vegetal (fuste, ramas, follaje, vegetación herbácea, hojarasca, necromasa y raíces) se secaron a 60 °C durante tres días y se molieron a 240 μm . Las muestras de suelo se secaron a una temperatura de 55 °C durante tres días y se molieron a 240 μm . El contenido de carbono se determinó con el mismo método con que se estimó el carbono en la materia orgánica del suelo, descrito arriba.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fijación de carbono total (suelo + biomasa) y en la biomasa

Las tasas promedio de fijación de carbono total y solo en la biomasa total fue mayor en las plantaciones forestales de *V. guatemalensis* y *H. alchorneoides* que en los bosques secundarios (BS). La fijación de carbono total fue de

8,7; 8,6 y 4,4 t C ha⁻¹ año⁻¹ y la de carbono en la biomasa fue 6,5; 5,5 y 1,5 t C ha⁻¹ año⁻¹ para *V. guatemalensis*, *H. alchorneoides* y BS, respectivamente (Figura 1).

Bosques secundarios

Los bosques secundarios almacenaron un total de 154,9 t C ha⁻¹ a los 18 años de edad (Cuadro 1). La biomasa total de los bosques secundarios pasó de 28,9 t ha⁻¹ a los 5 años a 67,9 t ha⁻¹ a los 18 años (Cuadro 1), lo cual representa una tasa de fijación promedio de 3,0 t C ha⁻¹ año⁻¹. Hughes et ál. (1999) encontraron una biomasa promedio de 272,1 t ha⁻¹ a los 16 años de edad. Corrales (1998) encontró 162,1 t ha⁻¹ de biomasa en bosques secundarios de 15 años y 324,1 t ha⁻¹ en bosques primarios en climas húmedos y muy húmedos de Costa Rica.

El suelo almacenó el 86% del carbono total del sistema (Cuadro 1), pasando de 73,0 t C ha⁻¹ en la línea base (pastura) a 125,3 t C ha⁻¹ a los 18 años (Cuadro 1). Cifuentes et ál. (s.f.) encontraron existencias de carbono orgánico del suelo de 93,5 t C ha⁻¹, con valores similares entre bosques primarios y secundarios. Feldpausch et ál. (2004) encontraron una tasa de acumulación de carbono en el suelo de 42 a 84 t C ha⁻¹ hasta 45 cm de profundidad en bosques secundarios de 12 a 14 años. Valero (2004) indica que la acumulación de carbono en la biomasa es más rápida que en el suelo, pero en el suelo la estabilidad es mayor.

Cuadro 1. Biomasa y carbono almacenado por sitio y componente en bosques secundarios, Guácimo, Limón, Costa Rica (2006)

Variable	Sitios							
	EARTH-línea base ^a	Delicias-línea base ^a	EARTH-A38-P1	EARTH-A38-P2	Las Delicias P1	Las Delicias P2	EARTH-Las Ingas	EARTH-Los Brown
Edad (años)			5	5	8	18	18	18
Dap promedio (cm)			4,9	5,0	9,7	9,0	10,7	10,2
Área basal (m ² ha ⁻¹)			7,9	7,4	9,2	20,8	18,1 *	16,7
Biomasa (t ha ⁻¹)								
Vegetación herbácea	2,6	2,6	3,1	2,7	6,1	1,8	2,8	2,1
Necromasa gruesa			0,0	1,2	3,8	7,4	0,5	0,0
Necromasa fina			2,1	6,2	3,3	4,4	6,8	8,7
Fustes			12,9	10,1	15,6	35,3	32,0	22,3
Ramas			3,4	2,9	4,0	10,5	10,5	9,2
Hojas			1,4	0,7	2,7	2,5	1,6	4,1
Raíces gruesas			5,1	4,3	8,6	7,3	8,1	8,2
Raíces finas			1,6	0,016	0,003	1,8	6,6	3,1
Biomasa total	2,6	2,6	29,6	28,1	44,1	71,2	68,9	63,8
Carbono (t ha ⁻¹)								
Vegetación herbácea	1,2	1,1	1,3	1,1	2,6	0,7	1,1	0,9
Necromasa gruesa			0,0	0,5	2,1	3,9	0,2	0,0
Necromasa fina			0,8	2,6	1,4	1,9	2,5	4,1
Fustes			5,5	4,6	7,2	14,9	15,2	10,0
Ramas			1,6	1,4	2,0	5,08	5,0	4,3
Hojas			0,7	0,3	1,2	1,1	0,8	1,9
Raíces gruesas			2,3	1,9	4,2	3,5	3,5	3,9
Raíces finas			0,6	0,006	0,0015	0,7	2,6	1,2
Biomasa total	1,2	1,1	12,8	12,4	20,7	31,8	30,9	26,5
Carbono del suelo	73,0	73,0	72,3	104,8	73,5	101,6	159,6	114,6
Carbono total	74,2	74,1	85,1	117,2	94,2	133,4	190,5	140,9

* Potreros de pasto natural

Los fustes de los bosques secundarios contuvieron el 7% del carbono total y el 41% del carbono almacenado en la biomasa (9,6 t ha⁻¹). La vegetación herbácea, la necromasa fina y gruesa, las ramas, hojas y raíces fueron los componentes que almacenaron la menor cantidad de carbono, variando de 0,85 t C ha⁻¹ en raíces finas a 3,2 t C ha⁻¹ en ramas y raíces gruesas (< 2,8% del carbono total por cada uno (Cuadro 1). La biomasa aérea y la necromasa almacenaron el 14% del carbono total del sistema (18,4 t C ha⁻¹). Brown y Lugo (1982) reportan entre 2,6 y 3,8 t C ha⁻¹ de necromasa en bosques primarios y mientras que Delaney et ál. (1997) encontraron entre 2,4 y 5,2 t C ha⁻¹. Tanner (1980) reportó de 3,8 a 6,0 t C ha⁻¹ de necromasa en bosques de Jamaica; Raich (1983) encontró 0,7 t C ha⁻¹ de necromasa en un bosque secundario en Costa Rica; Schroeder y Winjum (1995) encontraron que la hojarasca representa apenas 5-6% del C total en bosques naturales en Brasil y Delaney et ál. (1997) reportan entre 2,2 y 7,8% en Venezuela.

La biomasa en los árboles, arbustos y necromasa aumentó con la edad de la sucesión, no así la biomasa de la vegetación herbácea que rápidamente se estabilizó y aun decreció con la edad del bosque o plantación foerstal (Cuadro 1). La necromasa gruesa se incrementó de 0,6 t ha⁻¹ a los 5 años a 2,6 t ha⁻¹ a los 18 años; mientras que la necromasa fina se redujo de 3,1 a 6,6 t ha⁻¹ y la vegetación herbácea disminuyó de 2,9 a 2,2 t ha⁻¹ en el mismo período. La necromasa fina se incrementó debido posiblemente a incrementos en la densidad de las plantas y a la mortalidad de plantas pioneras de vida corta, como las hierbas de la familia Piperaceae. El crecimiento de la vegetación causa el cierre del dosel, disminuyendo la radiación al estrato bajo y eliminando la vegetación herbácea. Herrera et ál. (2001) encontraron resultados similares en Colombia, con un incremento exponencial de la necromasa y una disminución exponencial negativa en la vegetación herbácea y leñosa pequeña conforme avanza la edad. La biomasa abajo

Cuadro 2. Biomasa y carbono almacenado por sitio y componente en plantaciones de *Vochysta guatemalensis*, Guácimo, Limón, Costa Rica (2006)

Variable	Sitios									
	EARTH línea base ^a	Delicias línea base ^a	EARTH Tiro al blanco P1	EARTH Tiro al blanco P2	EARTH Puente- hamaca	Las Delicias P1	Las Delicias P2	EARTH el Cruce P1	EARTH el Cruce P2	EARTH la Bomba
Edad (años)			1	1	1,5	4,5	4,5	7	7	14
dap promedio (cm)			2,7	0,0	2,9	23,3	20,3	28,7	30	30,7
Área basal (m ² ha ⁻¹)			0,4	0,0	0,5	26,6	19,2	28,9	21,4	36,8
Biomasa (t ha ⁻¹)										
Vegetación herbácea	2,6	2,6	2,3	7,7	5,0	0,9	2,0	0,4	0,5	9,3
Necromasa gruesa			0,0	0,0	0,0	3,1	2,8	6,4	17,3	7,5
Necromasa fina			0,0	0,0	0,0	9,4	3,6	5,0	7,6	7,1
Fustes			0,6	0,1	1,0	45,8	35,0	82,8	41,0	106,2
Ramas			0,6	0,1	0,2	10,7	6,8	23,7	9,7	8,3
Hojas			1,0	0,16	0,5	4,9	5,5	12,7	3,8	2,2
Raíces gruesas			0,28	0,06	0,11	12,2	15,0	39,5	18,1	27,0
Raíces finas			1,8	0,56	1,3	2,1	0,7	3,9	2,9	2,6
Biomasa total	2,6	2,6	6,5	8,7	8,1	89,1	71,4	174,4	100,9	170,2
Carbono (t ha ⁻¹)										
Vegetación herbácea	1,2	1,2	0,9	3,2	2,0	0,4	0,9	0,2	0,2	3,8
Necromasa gruesa			0,0	0,0	0,0	1,4	1,3	3,1	8,1	3,4
Necromasa fina			0,0	0,0	0,0	3,4	1,3	1,8	2,6	2,7
Fustes			0,3	0,04	0,5	20,9	19,2	35,7	17,1	51,7
Ramas			0,24	0,03	0,1	4,8	2,9	10,3	5,0	3,6
Hojas			0,4	0,09	0,2	1,9	2,4	5,4	1,7	0,9
Raíces gruesas			0,12	0,025	0,05	5,6	6,9	19,6	7,8	12,1
Raíces finas			0,7	0,21	0,5	0,8	0,26	1,4	1,4	1,0
Biomasa total	1,2	1,2	2,7	3,6	3,4	39,2	35,2	77,5	43,9	79,2
Carbono del suelo	73,0	73,0	107,2	66,5	95,3	100,2	132,4	117,9	143,1	87,0
Carbono total	74,2	74,2	109,9	70,1	98,7	139,4	167,6	195,4	187,0	166,1

^a Potreros (pasto natural)

del suelo (raíces) representó el 18% de la biomasa total (9,1 t ha⁻¹) y se incrementó con la edad de la sucesión, pasando de los 5,5 a 11,7 t ha⁻¹ entre los 5 y 18 años, respectivamente (Cuadro 1). Resultados similares han sido encontrados por otros autores (Hertel et ál. 2003, Jiménez y Arias 2004).

Plantaciones forestales

Las plantaciones de *H. alchorneoides* fijaron más carbono total que las *V. guatemalensis*; las primeras pasaron de 75,4 a 202,0 t C ha⁻¹ entre 1 y 14 años de edad, mientras que en las segundas el carbono se incrementó de 90,0 a 166,2 t C ha⁻¹ en el mismo período (Cuadros 2 y 3). Al igual que en bosques secundarios, el suelo fue el principal almacén de carbono, ya que almacenó el 84% y el 76% del carbono total en plantaciones de *H. alchorneoides* y *V. guatemalensis*, respectivamente. El

carbono orgánico del suelo se incrementó con la edad, pasando de 80 t C ha⁻¹ hasta 130,5 t C ha⁻¹ a los 7 años de edad en plantaciones de *V. guatemalensis* y de 77,1 t C ha⁻¹ a 109,1 t C ha⁻¹ en plantaciones de 7 años de edad de *H. alchorneoides*. Gutiérrez y Lopera (2001) encontraron que el suelo (incluyendo raíces) en plantaciones de *Pinus patula* albergó 53,5% del carbono total (139,5 t C ha⁻¹) hasta una profundidad de 25 cm.

La biomasa de fustes en plantaciones de *V. guatemalensis* almacenó el 10,7% (18,2 t C ha⁻¹) del carbono total, mientras que toda la biomasa arriba del suelo almacenó el 17,1% del total (28,3 t C ha⁻¹). La biomasa de la vegetación herbácea decreció con la edad, variando de 5,0 t ha⁻¹ a edades iniciales a 0,4 t ha⁻¹ a los 7 años (Cuadro 2). Al igual que en bosques secundarios, incrementos en la densidad y tamaño de la vegetación arbórea causaron

Cuadro 3. Biomasa y carbono almacenado por sitio y componente en plantaciones de *Hyeronyma alchorneoides*, Guácimo, Limón, Costa Rica (2006)

Variable	Sitios											
	EARTH línea base ^a	Delicias línea base ^a	EARTH Vivero	EARTH Tiro al blanco P1	EARTH Tiro al blanco P2	EARTH Puente hamaca	Las Delicias	EARTH el Cruce	EARTH Papelera	EARTH Pozo Azul	EARTH Cruce Reserva	EARTH la Bomba
Edad (años)			0,5	1	1	1,5	4,5	7	7	7	8	14
dap promedio (cm)			0,0	2,3	2,6	2,	10,7	16,6	17,4	12,6	15,6	22,9
Área basal (m ² ha ⁻¹)			0,0	0,3	0,4	0,5	6,4	8,3	10,6	5,3	7,4	21,6
Biomasa (t ha ⁻¹)												
Vegetación herbácea	2,6	2,6	1,7	1,5	2,8	3,7	0,6	2,8	2,2	7,0	3,9	0,2
Necromasa gruesa			0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	3,9	8,8	1,1	1,6	2,7
Necromasa fina			0,0	6,0	0,0	0,0	12,5	7,7	4,9	5,4	5,6	10,6
Fustes			0,07	0,4	0,6	0,3	16,3	34,5	36,9	14,3	19,1	116,3
Ramas			0,0	0,04	0,3	0,05	4,3	5,5	6,1	7,2	16,7	14,4
Hojas			0,06	0,2	0,5	0,3	4,3	3,2	3,9	2,7	3,1	4,5
Raíces gruesas			0,04	0,09	0,6	0,15	11,2	10,6	11,5	4,0	5,5	19,5
Raíces finas			0,2	2,4	0,2	1,1	4,0	2,9	2,5	3,5	2,4	7,5
Biomasa total	2,6	2,6	2,1	10,6	5,0	5,6	58,8	71,1	76,8	45,2	57,9	175,7
Carbono (t ha ⁻¹)												
Vegetación herbácea	1,2	1,2	0,7	0,8	1,3	1,6	0,3	1,1	1,0	3,0	1,6	0,1
Necromasa gruesa			0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	1,8	1,5	0,5	0,7	1,3
Necromasa fina			0,0	2,5	0,0	0,0	5,3	3,3	2,2	2,8	2,3	5,0
Fustes			0,03	0,2	0,27	0,16	7,9	16,9	16,6	6,1	10,8	59,7
Ramas			0,0	0,02	0,13	0,02	2,0	2,6	3,5	2,9	6,8	6,6
Hojas			0,03	0,08	0,26	0,14	1,8	1,5	2,0	1,5	2,0	2,3
Raíces gruesas			0,02	0,04	0,3	0,07	4,6	6,9	6,3	2,0	2,6	9,5
Raíces finas			0,09	0,93	0,09	0,42	1,6	1,16	1,2	1,7	1,0	3,0
Biomasa total	1,2	1,2	0,9	4,6	2,4	2,4	26,1	35,3	36,8	20,5	27,8	87,5
Carbono del suelo	84,0	83,2	73,0	89,5	55,8	90,0	145,6	96,2	118,5	112,6	92,4	114,5
Carbono total	85,2	84,4	73,9	94,1	58,2	92,4	171,7	131,5	155,3	133,1	120,2	201,8

^a Poteros (pasto natural)

una reducción en la biomasa herbácea (Cuadro 2). Este comportamiento se observó también en *H. alchorneoides* (Cuadro 3). La vegetación herbácea, hojas y ramas de *V. guatemalensis* y *H. alchorneoides* contienen entre 1,1 y 2,3% del carbono total. La biomasa de raíces finas se incrementó con la edad, pero su aporte al carbono total fue muy bajo (0,5 y 0,8% del carbono total para *V. guatemalensis* y *H. alchorneoides*, respectivamente; Cuadros 2 y 3).

Los incrementos en biomasa y carbono en *V. guatemalensis* y *H. alchorneoides* han sido poco estudiados. Stanley y Montagnini (1999) reportan existencias de biomasa de 35,9 y 27,3 t ha⁻¹ en plantaciones de *H. alchorneoides* a los 3,5 años y de *V. guatemalensis* a los 3 años, respectivamente. Shepherd y Montagnini (2001) registraron una biomasa de 102,2 y 48,1 t ha⁻¹ en plantaciones de *V. guatemalensis* de 5 años y de *H. alchorneoides* de 6

años, respectivamente. Gutiérrez y Lopera (2001) encontraron que la hojarasca y la vegetación herbácea de plantaciones de *P. patula* almacenan entre 0,5 a 1,7% y entre 0 y 3,2% del carbono total, respectivamente. Gamarra (2001) encontró un 4% del carbono total en la hojarasca de *Eucalyptus* en Perú.

En *V. guatemalensis*, la necromasa gruesa y fina se incrementó con la edad de la plantación; los mayores valores se encontraron inmediatamente después de labores silviculturales (Cuadro 2). La necromasa gruesa aumentó de 0 t ha⁻¹ en plantaciones recién establecidas a 7,5 t ha⁻¹ a los 14 años de edad; mientras que la necromasa fina se incrementó de 0 a 7,1 t ha⁻¹ durante el mismo período. Además, se encontraron valores muy diferentes a una misma edad, tal como en las Delicias P1 y P2 y en la EARTH el Cruce P1 y P2 (Cuadro 2). Estas diferencias se deben a densidades arbóreas contrastantes, las cuales



Bosque secundario de 18 años (foto: Rolando Cerda)

determinan fuertemente la deposición de necromasa, ya que *V. guatemalensis* presenta una excelente autopoda. La necromasa y la hojarasca también se incrementaron con la edad en plantaciones de *H. alchorneoides*. El efecto de labores silviculturales, tales como los raleos en el sitio Papelera y podas en las Delicias, incrementaron significativamente la necromasa gruesa (8,8 y 5,6 t C ha⁻¹; Cuadro 3).

CONCLUSIONES

La biomasa y el carbono almacenado en los bosques secundarios y plantaciones de *V. guatemalensis* y *H. alchorneoides* aumentaron con la edad en todos los componentes, excepto en la biomasa herbácea. Los bosques secundarios almacenaron un total de 154,9 t C ha⁻¹ a los 18 años de edad, mientras que las plantaciones forestales de *V. guatemalensis* y de *H. alchorneoides* alcanzaron 166,2 y 202,0 t C ha⁻¹ a los 14 años de edad, respectivamente. La mayor tasa de fijación de carbono se encontró en las plantaciones de *V. guatemalensis*, seguida muy de cerca por las de *H. alchorneoides* y, por último, en los bosques secundarios. El suelo almacenó entre 76 y 86% del carbono total. La vegetación herbá-

cea y la necromasa almacenaron muy poco carbono; la biomasa de los fustes almacenó entre 7,0 y 10,7% del carbono total.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Carlos Sandí y a los señores Delio Zamora, Carlos Mata y Minor Cubillo y a todos funcionarios de la Universidad EARTH, a Reforest the Tropics, Inc. y a la Hacienda Las Delicias, por su apoyo incondicional en la realización de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Bolaños, RA; Watson, VC. 1993. Mapa ecológico de Costa Rica según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de Holdridge. San José, CR, Centro Científico Tropical.
- Bremner, JM; Mulvaney, C. 1982. Carbon, inorganic nitrogen. In Page, A; Miller, R; Keeney, D. eds. Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties. 2 ed. Madison, US, American Society of Agronomy. p. 552, 673-682.
- Brown, S; Lugo, A. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forest and their role in the global carbon cycle. *Biotrópica* 14:164-187.
- Brown, S; Schroeder, P; Kern, J. 1999. Spatial distribution of biomass in forest of the eastern USA. *Forest Ecology and Management* 123:81-90.
- Cifuentes, M; Jobse, J; Watson, V; Kauffman, B. (s.f.). Determinación del carbono total en suelos de diferentes tipos de uso suelo de la tierra a lo largo de una gradiente climática en Costa Rica. San José, Costa Rica. 12 p.
- Corrales, L. 1998. Estimación de la cantidad de carbono almacenado y captado (masa aérea) en el Corredor Biológico Mesoamericano de Costa Rica. PROARCA/CAPAS/CCAD/USAID. 15 p.
- De Jong, B; Tipper, R; Montoya, G. 2000. An economic analysis of the potential for carbon sequestration by forest: evidence from southern México. *Ecological Economics* 33: 313-327.
- Delaney, M; Brown, S; Lugo, E; Torres, A; Bello, N. 1997. The distribution for organic carbon in major components of forest located in five life zones of Venezuela. *Journal of Tropical Ecology* 13: 697-708.
- FAO. 2003. Costa Rica frente al cambio climático. Serie centroamericana de bosques y cambio climático. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, San José (Costa Rica). San José, CR, FAO. 60 p.
- Feldpausch, TR; Rondon, MA; Fernandes, EC; Riha, SJ; Wandelli, E. 2004. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazonia. *Ecological Applications* 14(4):164-176.
- Gamarra, J. 2001. Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill, en Junin, Perú. Valdivia, Chile. In Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de carbono en Ecosistemas Forestales (octubre 2001). 21 p.
- Gómez, LD. 1986. Vegetación de Costa Rica: Vegetación y Clima de Costa Rica. San José, CR, UNED. v. 1, 385 p.
- Gutiérrez, VH; Lopera, J. 2001. Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de carbono en plantaciones forestales. Valdivia, Chile. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales (octubre 2001). 17 p.
- Herrera, MA; del Valle, J; Alonso, S. 2001. Biomasa de la vegetación arbórea y leñosa pequeña y necromasa en bosques tropicales primarios y secundarios de Colombia. Valdivia, Chile. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales (octubre 2001). 19 p.

- Hertel, D; Lueschner, C; Hölscher. 2003. Size and structure of fine root system in old-growth and secondary tropical montane forests (Costa Rica). *Biotropica* 35(2):143-153.
- Hughes, RF; Kauffman, JB; Jaramillo, VJ. 1999. Biomass, carbon and nutrient dynamics of secondary forest in a humid tropical region of Mexico. *Ecology* 80(6):1882-1907.
- Jiménez, C; Arias, D. 2004. Distribución de biomasa y densidad de raíces finas en una gradiente sucesional de bosques en la zona norte de Costa Rica. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 23 p.
- Krebs, JC. 1985. *Ecología: Estudio de distribución y abundancia*. 2 ed. México, Ed. Harla. 753 p.
- MacDicken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects (en línea). Forest carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development (WRI). Disponible en <http://www.winrock.org/REEP/PUBSS.html>.
- Moran, JA, Barker, MG; Moran, AJ; Becker, P; Ross, SM. 2000. A comparison of the soil water, nutrient status, and litterfall characteristics of tropical heath and mixed-dipterocarp forest sites in Brunei. *Biotropica* 32:2-13.
- Raich, J. 1983. Effects of forest conversion of the carbon budget of a tropical soil. *Biotropica* 15(3):177-184.
- Saldarriaga, JG. 1994. Recuperación de la selva de tierra firme en el alto río Negro Amazonia Colombiana-Venezolana. Estudios de la Amazonia Colombiana V. Bogotá, CO, Tropenbos. p. 201.
- Scott, DA; Proctor, J, Thomason, J. 1992. Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Romairá, Brazil. II. Litter and nutrient cycling. *The Journal of Ecology* 80:705-717.
- Schroeder, P; Winjum, J. 1995. Assessing Brazil's carbon budget: I biotic carbon pools. *Forest Ecology and Management* 75: 77-86.
- Shepherd, D; Montagnini, F. 2001. Above ground carbon sequestration potential in mixed and pure tree plantations in the humid tropics. *Journal of Tropical Forest Science* 13(3):450-459.
- Sierra, C; del Valle, J; Orrego, S. 2001. Ecuaciones de biomasa de raíces y sus tasas de acumulación en bosques sucesionales y maduros tropicales en Colombia. Valdivia, Chile. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, 18 al 20 de Octubre del 2001. 16 p.
- Stanley, W; Montagnini, F. 1999. Biomass and nutrient accumulation in pure and mixed plantations of indigenous tree species grown on poor soils in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 113:91-103.
- Tanner, E. 1980. Studies on the biomass and productivity in a series of montane rain forest of Jamaica. *Journal of Ecology* 68: 573-588.
- Valero, E. 2004. El ciclo del carbono en el sector forestal: Los bosques como sumideros de carbono: una necesidad para cumplir en el protocolo de Kyoto. Madrid, ES, Universidad del Vigo. 11 p.

Enriquecimiento de fincas cacaoteras con frutales y maderables en Alto Beni, Bolivia

Luis Orozco¹, Arlene López¹, Eduardo Somarriba²

RESUMEN

Se inventariaron los árboles frutales y maderables en 162 fincas de socios de cooperativas y asociaciones cacaoteras del Alto Beni, Bolivia, utilizando dos métodos de inventario: talleres con productores y levantamientos de campo. Se identificaron las especies frutales y maderables que prefieren los productores, la cantidad de árboles de cada especie que necesitan para enriquecer sus fincas y dónde los plantarían (en cuáles usos de la tierra). Los productores mencionaron 43 especies frutales y 45 especies maderables para establecer en 895 ha de campos agrícolas. La riqueza y densidad de frutales y maderables fue similar entre fincas de socios de cooperativas y asociaciones y entre métodos de inventario. Los productores solicitaron 123 757 árboles para enriquecer sus fincas, a razón de 291 árboles frutales y 363 árboles maderables por finca. Los árboles se plantarían en cacaotales, plantaciones lineales, plantaciones puras y plantaciones de cítricos. Los productores del Alto Beni conocen bien la diversidad de especies frutales y maderables que existe en los campos agrícolas de sus fincas.

Palabras claves: agroforestería, árboles de sombra, cítricos, huerto casero, inventario, métodos participativos, plantaciones lineales, *Theobroma cacao*

INTRODUCCIÓN

En Alto Beni, Bolivia, el cacao se cultiva desde hace 100 años por los nativos mosetenes (10% de la población actual), quienes sembraron cacao nacional mediante siembra directa, sin sombra ni manejo (Loza y Méndez 1981). Con la inmigración de productores quechuas (mineros) y aymaras (agricultores) procedentes de los Departamentos de La Paz, Oruro y Potosí (altiplano) entre 1961 y 1971, el gobierno de Bolivia promovió e introdujo el cacao híbrido como principal fuente de

Enrichment of cacao plantations with fruit and timber tree species in Alto Beni, Bolivia

ABSTRACT

The fruit and timber tree species in 162 cacao plantations belonging to members of cocoa Cooperatives and Associations in Alto Beni, Bolivia, were recorded using two contrasting methodologies: workshops with farmers and field surveys. We identified the fruit and timber species preferred by farmers and the land uses in which they would plant them. The number of species and their density, the number of individuals by species and the type of plantations preferred by farmers were compared between types of organizations, land uses and research methods. The farmers listed 43 fruit species and 45 timber species to establish on 895 ha of agricultural fields. Fruit and timber tree richness and density were similar between farm types and research methods. The farmers requested 123,757 trees, which represented approximately 291 fruit and 363 timber trees per farm. The trees would be planted in different systems: cacao, line plantations, pure plantations and citrus fields. The farmers of Alto Beni were aware of the diversity of fruit and timber trees in the agricultural fields on their farms.

Keywords: agroforestry, citrus, home gardens, inventory, linear plantations, participatory methods, shade trees, *Theobroma cacao*

ingreso para los nuevos colonizadores (MCOAB 2003). El 90% de los productores del Alto Beni son quechuas y aymaras. Hoy en día, el cacao, principal fuente de ingresos económicos de unos 2000 hogares, se cultiva sin agroquímicos y se vende como orgánico a la Central de Cooperativas El Ceibo y como convencional a El Ceibo y a otros intermediarios (Somarriba y Trujillo 2005).

Las fincas del Alto Beni iniciaron con el "chaqueo" (tumba, quema, cultivo y barbecho corto, en un ciclo de

¹ Mag. Sc. Agroforestería Tropical. Correos electrónicos: luisoroz@catie.ac.cr, lopeza@catie.ac.cr.

² Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE, Turrialba 7170, Costa Rica. Correo electrónico: esomarri@catie.ac.cr

unos seis o siete años) del bosque para cultivar granos básicos y justificar la tenencia de la tierra. Las fincas del Alto Beni tienen pocos árboles frutales y maderables por la naturaleza del proceso de colonización del territorio y por la falta de conocimiento de los colonos originarios del altiplano sobre los árboles útiles del trópico (Milz et ál. 1995, Obrador 2002, Yana y Weinert 2002, Somarriba y Trujillo 2005). La vegetación actual de las fincas es pobre, debido a que varios ciclos de chaqueo han eliminado la regeneración natural de las especies leñosas de vida larga, facilitando la dominancia de especies pioneras de vida corta y de poco valor económico y ecológico (Somarriba y Trujillo 2005).

La Central de Cooperativas El Ceibo, con apoyo del servicio alemán de cooperación técnica (DED), asesora, incentiva, distribuye y vende, a productores miembros y de asociaciones diferentes a El Ceibo, especies arbóreas (frutales, maderables y medicinales), naranja injertada y musáceas para asociar con cacao (PIAF 2000, Milz 2001). Se necesita un plan de enriquecimiento de las fincas del Alto Beni con especies frutales y maderables para elevar y diversificar la productividad de la finca, mejorar los ingresos, brindar productos para el autoconsumo y la dieta familiar, y proveer servicios ambientales a la sociedad (Somarriba y Trujillo 2005). En este artículo (i) se utilizaron dos metodologías para inventariar los árboles frutales y maderables presentes en las áreas agrícolas de las fincas de socios de las cooperativas El Ceibo y de Asociaciones de Cacaoteros del Alto Beni, Bolivia, y (ii) se identificaron las especies frutales y las cantidades por especie que los productores plantarían en los varios usos de la tierra en sus fincas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Alto Beni está ubicado a 270 km al noreste de la ciudad de La Paz, Bolivia (15°10'-15°55'S; 66°55'-67°40'O), tiene una extensión de 250.000 ha y está dividido en siete áreas de colonización y 17 localidades. El paisaje está compuesto por valles aluviales a 400-500 msnm y colinas que ascienden hasta 1600 msnm. Los valles se extienden en ambos márgenes del río Alto Beni; la topografía es plana a levemente ondulada, y los suelos son de origen aluvial, profundos y de moderada a baja fertilidad, con dominancia de suelos Ultisoles, Inceptisoles y Alfisoles. Los terrenos son planos y fértiles en el valle y con pendientes moderadas a fuertes en las cordilleras (Somarriba y Trujillo 2005). La temperatura promedio anual varía desde 6 °C en los meses de julio y agosto (frentes fríos o "surazos") hasta 26 °C en enero y febre-

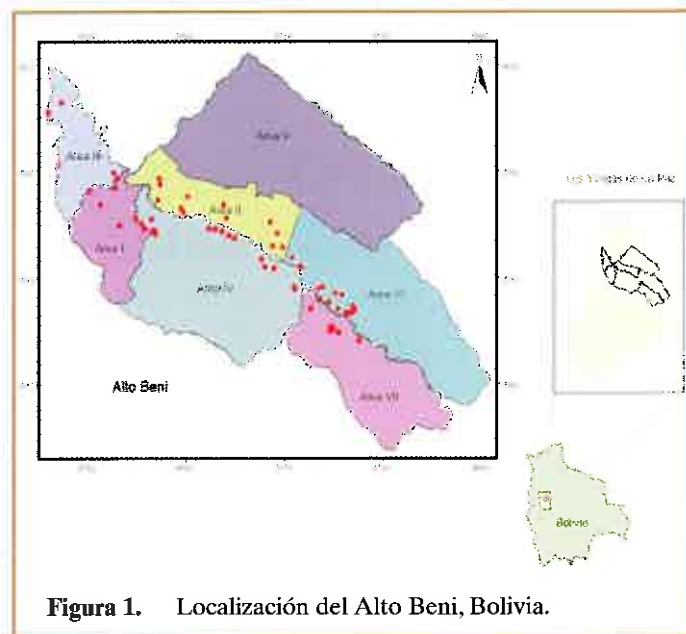


Figura 1. Localización del Alto Beni, Bolivia.

ro. La precipitación anual varía entre 1300 mm en las zonas bajas, y 2000 mm en las partes altas; el período lluvioso va desde noviembre hasta marzo y el período seco desde mayo hasta septiembre. La humedad relativa es del 78% y el brillo solar de 4,7 horas día⁻¹ (Somarriba y Trujillo 2005). La región incluye las zonas de vida bosque húmedo sub-tropical, bosque húmedo sub-tropical transición a seco y bosque muy húmedo sub-tropical (PIAF 2000).

Las principales actividades agrícolas del Alto Beni son el cultivo del cacao, cítricos (naranjas, mandarinas y limones), papaya (*Carica papaya*), café (*Coffea arabica*), achiote (*Bixa orellana*) y granos básicos: arroz (*Oryza sativa*) y maíz (*Zea mays*). El cacao se cultiva hasta 800 m de altitud, pero la mayoría de las plantaciones se ubican entre 400 y 600 m (PIAF 2001, Somarriba y Trujillo 2005). Las plantaciones se cultivan en manchas coetáneas con muy poca sombra, poco manejo y baja productividad (350 kg ha⁻¹ año⁻¹). El Alto Beni está dividido geográficamente en siete áreas de colonización (Figura 1) y es la principal zona productora de cacao en Bolivia, aportando alrededor del 60% de la producción nacional, estimada en 2000 t año⁻¹. Actualmente, en las siete áreas de colonización del Alto Beni existen 93 comunidades o colonias, en las cuales se distribuyen 2000 productores cacaoteros. Los productores están organizados en 38 cooperativas de la Central de Cooperativas El Ceibo y en 22 nuevas Asociaciones, formadas a partir del 2003; cultivan unas 4500 ha de cacao (principalmente híbridos), con una superficie promedio de 2 ha finca⁻¹. Los ingresos de la actividad cacaotera constituyen entre el



Figura 2. Inventario y diseño participativo del plan de enriquecimiento de las fincas de los productores del Alto Beni, Bolivia, 2005.

10 y el 15% del ingreso rural de la zona (Somarriba y Trujillo 2005).

Inventario de frutales y maderables

Se inventariaron 162 fincas de productores de cooperativas y asociaciones cacaoteras orgánicas del Alto Beni en 10 talleres realizados entre enero y mayo del 2005 en seis áreas de colonización. Los productores que participaron en los talleres fueron seleccionados al azar de las listas de productores que poseían croquis de sus fincas en los registros de certificación de la Central de Cooperativas El Ceibo en Sapecho, Alto Beni, y en forma proporcional al número de productores de cacao por área de colonización. Los talleres reunieron un máximo de 20 productores por evento y duraron 3 horas.

En el taller, se clavó en la pared el croquis de la finca de cada productor dibujado en cartulinas grandes y se pidió a cada productor que verificara y rectificara el croquis y la información sobre cultivos y superficies allí anotada. Posteriormente, se solicitó a los productores que usaran figuras de cartulinas para denotar las especies frutales y maderables y las cantidades de árboles por especie presentes en los campos agrícolas de su finca. Al final del taller, se seleccionaron 50 fincas para realizar el inventario de campo y verificar la composición botánica y abundancia de frutales y maderables reportados en los talleres.

Diseño del plan de enriquecimiento

Al inicio del ejercicio se impartió, con material e información elaborada previamente, una charla sobre sistemas agroforestales (SAF) para que los productores “visualizaran” los espacios donde se pueden plantar árboles (linderos y divisiones internas, árboles dispersos en cultivos y potreros, y plantaciones puras). Esta charla enfatizó aspectos de arreglo y diseño, así como las ventajas y desventajas de cada SAF para las fincas del Alto Beni. Se presentó a los productores una lista de las especies frutales disponibles en el vivero de El Ceibo, así como la oferta de frutales elegibles. La selección de las especies maderables se basó en el conocimiento y experiencia de los productores. Cada productor anotó en una tarjeta coloreada la especie preferida y la cantidad de árboles demandados de cada especie y la colocó sobre el croquis de su finca, indicando dónde los plantaría (en cuáles usos de la tierra) y con qué tecnología agroforestal lo haría (Figura 2). Al final de cada taller, mediante “lluvia de ideas” en una plenaria, se consultó a cada productor sobre las razones por las que prefirió esas especies frutales y maderables.

Análisis estadístico

Se calculó y contrastó la densidad y la riqueza arbórea (número de especies) entre productores de cooperativas y asociaciones y entre usos agrícolas de la tierra mediante pruebas de *t* pareadas y tablas de contingencia. La composición botánica y abundancia de frutales y made-

Cuadro 1. Superficie total inventariada por uso de suelo y por tipo de organización, frecuencia de ocurrencia del cultivo en las fincas, superficie por uso y valor de probabilidad de la prueba *t* entre cooperativas y asociaciones, Alto Beni, Bolivia, 2005

Usos del suelo	Área (ha)			Frecuencia (%)	Área (ha finca ⁻¹)	P
	Asociación (n = 75)	Cooperativa (n = 87)	Total			
Cacaotales ^a	160	280	440	95	3,5 ± 1,5	<0,01
Barbecho	230	205	435	90	1,5 ± 1,5	0,04
Bosque adulto	390	360	750	85	3,0 ± 2,5	0,09
Cítricos	55	80	135	65	1,0 ± 1,3	0,20
Banano	40	35	75	40	1,0 ± 0,8	0,08
Plátano	35	40	75	35	0,5 ± 0,3	0,08
Arroz	15	25	40	25	0,5 ± 0,3	0,53
Pasio	20	45	65	20	1,0 ± 0,5	0,97
Papaya	25	15	40	17	0,8 ± 0,5	0,35
Café	5	10	15	10	0,5 ± 0,3	0,32
Maíz	5	5	10	5	0,5 ± 0,3	0,08
Total	980	1100	2080	—	13,0 ± 4,0	—

Notas: ^a Incluye plantaciones de cacao asociado con banano, cítricos, café o plátano; ± desviación estándar

rables registrada en inventarios de campo y talleres se contrastó con pruebas de Wilcoxon. Se construyeron curvas de rarefacción de especies frutales y maderables con el programa EstimateS (Colwell 2005). El número de especies, la cantidad de árboles por especie y los usos de suelo seleccionados para plantarlos se analizaron mediante estadísticas descriptivas y pruebas de *t* pareadas para evaluar diferencias entre productores de asociaciones y cooperativas y entre usos de la tierra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se inventariaron 2080 ha de fincas, de las cuales el 45% corresponden a tierras bajo uso agrícola. Se identificaron 15 usos de la tierra, siendo los más dominantes el bosque adulto, cacaotales, barbechos y las plantaciones de cítricos (36, 21, 21 y 6% del área inventariada, respectivamente; Cuadro 1). El tamaño promedio de las fincas fue de 13 ha (6-20 ha) y fue similar entre fincas de socios de asociaciones y cooperativas ($P > 0,05$). Las fincas de cooperativas tienen mayor área de cacao, menor área de barbecho e igual área de bosque que las fincas de asociaciones ($P = 0,001$; 0,04 y 0,09, respectivamente).

Frutales y maderables en las fincas

Los productores reportaron 43 especies frutales y 45 especies maderables en 895 ha de campos agrícolas. De las 43

especies frutales, cinco fueron exóticas: acerola (*Malpighia puniceifolia*), carambola (*Averrhoa carambola*), mango (*Mangifera indica*), tamarindo (*Tamarindus indica*) y rambután (*Nephelium lappaceum*). La mayoría de los frutales eran desconocidos por los productores, excepto los cítricos (los cuales fueron promovidos durante la colonización) y la papaya (*Carica papaya*), introducida posteriormente cuando los precios de los cítricos descendieron sensiblemente. De las 45 especies maderables, cuatro fueron exóticas: teca (*Tectona grandis*), melina (*Gmelina arborea*), pino (*Pinus* spp.) y paraíso (*Melia azedarach*). Las fincas de los productores de cooperativas tuvieron el doble de individuos que las fincas de productores de asociaciones pero similar número de familias botánicas y géneros (Cuadro 2). El área agrícola promedio fue estadísticamente similar ($P = 0,56$) entre fincas de asociaciones y cooperativas (4 y 4,5 ha, respectivamente). No se detectaron diferencias significativas en la densidad y riqueza de especies frutales y maderables entre fincas de asociaciones y cooperativas ($P = 0,54$ y 0,52, respectivamente).

La riqueza y densidad promedio de frutales en áreas agrícolas fue de 6 especies ha⁻¹ y 13 individuos ha⁻¹, respectivamente. Los maderables ocurrieron a razón de 5 especies ha⁻¹ y 5 individuos ha⁻¹, respectivamente, en las áreas agrícolas. Inventarios de leñosas perennes en

Cuadro 2. Numero de familias botánicas, géneros y especies frutales y maderables por tipo de productor en las fincas del Alto Beni, Bolivia, 2005

Variable	Frutales		Maderables	
	Asociación	Cooperativa	Asociación	Cooperativa
Familias	19	22	22	25
Géneros	28	31	36	38
Especies	35	39	32	37
Abundancia total en área agrícola (individuos)	4003	8091	1418	3498
Densidad en área agrícola (individuos ha ⁻¹)	12	15	4	7
Riqueza en área agrícola (especies ha ⁻¹)	6	7	5	6

los campos agrícolas de 43 fincas del Alto Beni reportaron similar densidad de árboles (Vega y Somarriba 2005). La riqueza de especies de frutales y maderables fue alta en cacaotales y bananales y baja en plantaciones de papaya, platanales y pastizales (Cuadro 3). En cacaotales y bananales de varias regiones del trópico, se reportan maderables en el dosel de sombra a densidades mayores (10-70 árboles ha⁻¹) a las registradas en este estudio (Herzog 1994, Leakey 1998, Matos et ál. 2000, Duguma et ál. 2001, Somarriba et ál. 2001, Suárez 2001, Anim-Kwapon 2003, Bentley et ál. 2004, Asare 2005). Diversos estudios reportan similar riqueza y densidad de frutales en cacaotales y cafetales a las registradas en las fincas del Alto Beni (12-16 árboles ha⁻¹) (Sánchez y Dubón 1993, Herzog 1994, Andall, 1999, Lamont et ál. 1999, Méndez et ál. 2001). En República Dominicana, los productores plantan *Persea americana* y *Artocarpus communis* en sus cacaotales a densidades de 300, 25 y 50 árboles ha⁻¹ (Morillo et ál. 1997).

Las especies frutales más abundantes en las fincas fueron chima (*Bactris gasipaes*), mandarina (*Citrus reticulata*), toronja (*Citrus paradisi*), achachairú (*Rheedia* spp.) y palta (*P. americana*). Las familias botánicas con mayor número de especies frutales fueron Rutaceae (6 especies), Myrtaceae y Arecaceae (5 especies cada una). Las especies maderables más abundantes fueron mara (*Swietenia macrophylla*), toco blanco (*Schizolobium parahyba*), huasicucho (*Centrolobium ochroxylum*), roble (*Amburana cearensis*) y cedro (*Cedrela odorata*). Las familias botánicas con mayor número de especies maderables fueron Papilionaceae (ocho), Moraceae (cinco), Euphorbiaceae (cuatro), Meliaceae, Caesalpinaceae y Anacardiaceae (tres especies cada una).

Frutales y maderables en bloque

Los cítricos y la papaya (*Carica papaya*) con fines comerciales son los frutales en bloque más abundantes en las

Cuadro 3. Densidad y riqueza de arbóreas en áreas agrícolas, según uso del suelo y tipo de organización, en 162 fincas del Alto Beni, Bolivia, 2005

Usos del suelo	Densidad (individuos ha ⁻¹)				Riqueza (especies ha ⁻¹)			
	Frutales		Maderables		Frutales		Maderables	
	A	C	A	C	A	C	A	C
Cacao	15,0	22,0	5,0	7,0	2,4	3,2	6,5	5,3
Café	15,0	17,0	3,0	4,0	2,8	2,2	3,5	4,0
Cítrico	9,0	6,6	1,1	2,2	1,3	2,2	3,5	4,3
Cacao-banano	16,0	20,0	2,0	3,0	2,8	2,5	4,5	5,2
Banano	10,0	2,71	4,0	7,0	2,3	3,3	4,5	5,7
Plátano	5,6	4,0	2,4	4,2	1,3	1,3	2,4	3,0
Banano-cítrico	0,0	0,0	2,1	2,5	0,0	0,0	3,2	4,0
Papaya	0,2	3,0	1,2	1,5	1,1	1,2	2,2	1,7
Pasto	0,8	2,2	0,5	0,8	1,1	1,3	1,2	1,4
Cacao-cítrico	11,3	18,0	2,2	3,3	2,3	2,5	4,5	6,0
Cacao-plátano	15,0	5,0	3,3	4,0	3,4	2,0	3,5	2,7

Notas: A = asociación, C = cooperativa

Cuadro 4. Árboles maderables y frutales, actuales y por plantar, en fincas de Alto Beni, Bolivia

Uso del suelo	No. de árboles		Densidad actual (árboles ha ⁻¹)		Densidad por plantar (árboles ha ⁻¹)		Densidad final (árboles ha ⁻¹)	
	F	M	F	M	F	M	F	M
Cacao	18222	18610	18	6	40	42	58	48
Cítricos	5645	1840	9	1	41	14	50	15
Plantaciones puras	20152	22105	0	0	100	200	100	200
Banano	4818	1640	6	5	64	22	70	27
Plátano	1014	1500	5	3	13	20	18	23
Café	88	480	15	5	6	32	21	37
Árboles dispersos ^a	90	470	2	1	13	14	15	15
Plantaciones lineales ^b	11538	15545	0	0	100	200	100	200
Total	61567	62190	—	—	—	—	—	—

Notas: F = frutales, M = maderables, ^a árboles dispersos en campos agrícolas como papaya y granos básicos. ^b densidades expresadas en árboles km⁻¹

fincas del Alto Beni. El 58 y 10% de las fincas manejan plantaciones de cítricos y papaya (puros o mezclados con musáceas), respectivamente. Se registraron pequeñas plantaciones de otros frutales, como *B. gasipaes* (192 palmas en tres fincas), *C. nucifera* y mango (*Mangifera indica*) (50 árboles de cada uno en una finca). Las fincas manejan en promedio 1 ha de cítricos y 0,75 ha de papaya. Las plantaciones de cítricos son jóvenes (10 años) y los distanciamientos más frecuentes son 5 × 5 m para cítricos y 2 × 2 m para papaya. Ningún productor reportó plantaciones forestales puras en sus fincas.

Contraste entre metodologías de inventario

Las estimaciones de abundancia por especie obtenidas mediante talleres o en los inventarios de campo fueron similares para 15 de las 43 especies frutales y para 20 de las 45 especies maderables ($P = 0,20$ y $0,07$, respectivamente). Estas especies frutales y maderables fueron las más conocidas y utilizadas por los agricultores: cítricos, palta, mango, carambola, chima y coco; mara, cedro, roble, huasicucho, nogal (*Juglans boliviana*), paquío (*Hymenaea courbaril*), quina-quina (*Myroxylum balsamun*) y verdolago (*Terminalia oblonga*). La abundancia de especies frutales exóticas y de maderables poco comercializadas fueron menos coincidentes y estadísticamente diferentes ($P < 0,05$). Los talleres con productores del Alto Beni (con el croquis de la finca y tarjetas de árboles) permitieron inventariar las especies y su abundancia en un gran número de fincas de forma rápida y fiable. Varios investigadores agroforestales respaldan la veracidad de las metodologías participativas para obtener información rápida, cuantiosa y precisa sobre el uso y manejo de árboles en fincas (Debrabandare y Clarke 1995, Linkimer 2001, Koku 2002, Yépez 2002, Trujillo et ál. 2003, Kuntashula y Mafongoya 2005).

Preferencia de especies y usos de suelo para plantar los árboles

Los productores solicitaron 123.757 árboles para enriquecer sus fincas, la mitad de los cuales fueron frutales de 43 especies y la otra mitad maderables de 50 especies (Cuadro 4). Las especies frutales más solicitadas por el 52% de los productores fueron *B. gasipaes* (7507 individuos), *P. americana* (6826 individuos), cayú (*Anacardium occidentale*, 5651 individuos), acerola (*Malpighia puniceifolia*) (5355 individuos) y litchi (*Litchi sinensis*, 4792 individuos), las cuales representan el 49% del total de árboles frutales a plantar. La mayoría de las especies maderables solicitadas por los productores fueron nativas; las más requeridas fueron huasicucho (*C. ochroxylum*, 9400 individuos), mara (*S. macrophylla*, 6480 individuos), roble (*A. cearensis*, 5495 individuos), cedro (*C. odorata*, 5470 individuos) y teca (*T. grandis*, 4320 individuos), representando el 52% del total de árboles maderables solicitados. Los productores indígenas de cacao de Talamanca seleccionaron 62 especies de frutales y maderables para enriquecer sus fincas (Somarriba et ál. 2003). Se han compilado y utilizado listados de árboles útiles usados para cubrir las necesidades de madera, leña, frutas, fibras, medicina y ornato en la planificación de proyectos de reforestación de fincas en Camerún y la República Centroafricana (Vabi 1996).

Los productores del Alto Beni desean plantar en promedio 1654 árboles finca⁻¹, con mayor preferencia por las especies frutales (1291 árboles de ocho especies), seguidas de maderables (363 árboles de cinco especies). Los árboles frutales y maderables requeridos se plantarían en los cacaotales, plantaciones lineales, plantaciones puras y en plantaciones de cítricos (Cuadro 4). Similares resultados se reportan en Panamá y Brasil, donde los SAF preferidos por los productores para

repoblar las fincas con especies maderables fueron, en orden de importancia, plantaciones puras, cortinas rompevientos, cercas vivas, árboles dispersos en cultivos agrícolas y sombra para cafetales (Fischer y Vasseur 2002, Summers et ál. 2004). Las especies frutales se plantan preferentemente en el huerto casero y dispersas en cultivos anuales (Browder et ál. 2000, Fisher y Vasseur 2002, Summers et ál. 2004). En Nicoya, Costa Rica, los productores desean plantar frutales y maderables en los cafetales y dispersos en los cultivos (Albertin y Nair 2004). Los productores de cacao de Talamanca están dispuestos a plantar árboles en los cacaotales, bananales y patios (Somarriba et ál. 2003).

No se encontraron diferencias entre los productores de asociaciones y cooperativas en términos del número de especies e individuos deseados y en los tipos de SAF donde se establecerían ($P = 0,15; 0,43$ y $0,52$, respectivamente). En bananales, platanales, cafetales, pastizales y plantaciones de papaya, cultivos menos frecuentes y con menor superficie en las fincas, los productores desearon plantar frutales y maderables en forma dispersa. Los productores afirmaron querer los frutales para mejorar la dieta familiar (94%), venta (87%) y diversificar la producción de la finca (83%). Se interesaron por los maderables porque proveerán madera para los hijos (94%), darán sombra al cacao (90%), valorizarán la tierra (87%) y porque desean experimentar con otras especies con potencial para la zona (80%). Otros autores afirman que el interés de los productores del Alto Beni por plantar maderables obedece a la creciente demanda y buenos precios pagados en el mercado nacional por madera de calidad (Vega y Somarriba 2005).

Los productores del Alto Beni seleccionaron las especies frutales y maderables, según el cultivo donde serán plantados. Los frutales de porte alto y mediano, como *P. americana*, *A. occidentale*, *B. gasipaes*, y *L. sinensis*, y maderables de crecimiento medio a lento, tolerantes a sombra y de alto valor comercial, como *S. macrophylla* y *C. odorata*, fueron elegidos para sombra del cacao. Frutales de porte bajo y mediano como, *M. glabra* y *L. sinensis*, y maderables de rápido crecimiento, exigentes de luz y de bajo valor comercial en la zona, como *T. grandis*, se plantarían en cítricos y linderos. *B. gasipaes*, *C. nucifera* y *T. grandis* se plantarían en linderos para delimitar las fincas (Sánchez y Dubón 2001).

CONCLUSIONES

La densidad y riqueza de frutales y maderables (mayormente especies nativas) en los campos agrícolas de las

fincas del Alto Beni, Bolivia, es baja. A pesar de que los productores de cooperativas han recibido más incentivos y asistencia técnica para plantar y manejar árboles que los productores de asociaciones (López 2005, Orozco 2005), la diversidad de frutales y maderables fue similar en ambos tipos de fincas. Los productores del Alto Beni conocen muy bien los árboles frutales y maderables que existen en los campos agrícolas de sus fincas, principalmente en cacaotales, bananales y plantaciones de cítricos. Los talleres con productores permiten estimar en forma rápida y precisa la riqueza y densidad de frutales y maderables en sus fincas.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Albertin, A; Nair, PKR. 2004. Farmers' perspectives on the role of shade trees in coffee production systems: an assessment from the Nicoya peninsula, Costa Rica. *Human Ecology* 32(4): 443-463.
- Anim-Kwapong, GJ. 2003. Potential of some neotropical Albizzia species as shade trees when replanting cocoa in Ghana. *Agroforestry Systems* 58: 185-193.
- Andall, R. 1999. An assessment of the production and marketing systems of sapodilla (*Manilkara zapota*) in Grenada. *Tropical fruits newsletter (IICA)* 31: 7-10.
- Asare, R. 2005. Cocoa agroforest in West Africa. *Forest and Landscape Working paper N° 6*. Danish Centre for Forest, Landscape and Planning KVL. 89 p.
- Bentley, J; Boa, E; Stonehouse, J. 2004. Neighbor trees: shade, intercropping and cacao in Ecuador. *Human Ecology* 33(2): 241-270.
- Browder, JO; Pedlowski, MA. 2000. Agroforestry performance on small farms in Amazonia: findings from the Rondonia agroforestry pilot project. *Agroforestry systems* 49: 63-83.
- Collwell, R. 2005. EstimateS Versión 7.5. Storrs, Connecticut, US, University of Connecticut. Consultado 25 jun. 2005. Disponible en: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
- Debrabandere, R; Clarke, J. 1995. Participatory extension tools for planning village-based tree nurseries: A case study from Mutoko District, Zimbabwe. *Forests, Trees and People* 26/27: 37-44.
- Duguma, B; Gockowski, J; Bakala, J. 2001. Smallholder cacao (*Theobroma cacao*) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: challenges and opportunities. *Agroforestry Systems* 51: 177-188.
- Fischer, A; Vasseur, L. 2002. Smallholder perceptions of agroforestry projects in Panama. *Agroforestry Systems* 54(2): 103-113.
- Herzog, F. 1994. Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Côte d'Ivoire. *Agroforestry Systems* 27: 259-267.
- Koku, JE. 2002. Tree planting, local knowledge and species preferences in the South Tongu District of Ghana: Some perspectives. *GeoJournal* 57: 227-239.
- Kuntashula, E; Mafongoya, PL. 2005. Farmer participatory evaluation of agroforestry trees in eastern Zambia. *Agricultural Systems* 84(1): 39-53.
- Lamont SR; Eshbaugh WH; Greenberg AM. 1999. Species composition, diversity, and use of homegardens among three Amazonian villages. *Economic Botany* 53(3): 312-326.
- Leakey, RB. 1998. Agroforestry in the humid lowlands of West Africa: some reflections on the future directions for research. *Agroforestry Systems* 40: 253-262.
- López, AM. 2005. Enriquecimiento agroforestal de fincas cacaoteras con frutales valiosos en Alto Beni, Bolivia. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 94 p.
- Linkimer, AM. 2001. Árboles nativos para diversificar cafetales en la zona atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 117 p.

- Loza, H; Méndez, M. 1981. Apuntes sobre colonización. La colonización en Alto Beni. Sapecho, BO, Central de Cooperativas El Ceibo. v. 2, p 51-150.
- Matos, E; Beer, J; Somarriba, E; Gómez, M; Current, D. 2000. Validación, adopción inicial y difusión de tecnología agroforestal en cacao-tales con indígenas Ngobe, Panamá. *Agroforestería en las Américas* 7(26): 7-9.
- MCOAB (Proyecto Modernización de la Cacaocultura Orgánica de Alto Beni). 2003. Documento de línea base. 198 p.
- Méndez, VE; Lok, R; Somarriba, E. 2001. Interdisciplinary analysis of home gardens in Nicaragua: micro-zonation, plant use and socioeconomic importance. *Agroforestry Systems* 51: 85-95.
- Morillo, A; Perdomo, J; Heredia, M. 1997. La agroforestería en República Dominicana. Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales. Santiago, CH, FAO. 19 p.
- Milz, J; Brugoni, I; Frere, L; Peigné, A. 1995. Alternativas de producción en la Selva Tropical Húmeda. Actas Seminario Taller Internacional. La Paz, Bolivia. 115 p.
- Milz, J. 2001. Guía para el establecimiento de sistemas agroforestales en Alto Beni, Yucumo y Rurrenabaque. DED (Servicio Alemán de cooperación social-técnica), CARE-MIRNA. La Paz, BO, Editorial Desing. 91 p.
- Obrador, P. 2002. Informe de evaluación de la experiencia multiestratos en Alto Beni, Bolivia. Sapecho, BO, DED-IIAB. 38 p.
- Orozco, LA. 2005. Enriquecimiento agroforestal de fincas cacaoteras con maderables valiosos en Alto Beni, Bolivia. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 94 p.
- PIAF (Proyecto de investigación agroecológica y forestal-El Ceibo). 2000. Guía de especies forestales del Alto Beni. PIAF-El Ceibo. Editorial DED-Bolivia. 196 p.
- Sánchez, J; Dubón, A. 1993. Especies no tradicionales como sombra permanente del cacao en Honduras. In Phillips, W. ed. Sombras y cultivos asociados con cacao. Turrialba, CR, CATIE. p. 141-153. (Serie Técnica, Informe Técnico no. 206).
- Suárez, A. 2001. Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* de regeneración natural en cacao-tales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 74 p.
- Summers, PM; Browder, JO; Pedlowski, MA. 2004. Tropical forest management and silvicultural practices by small farmers in the Brazilian Amazon: recent farm-level evidence from Rondônia. *Forest, Ecology and Management* 192: 161-177.
- Somarriba, E; Trujillo L. 2005. El Proyecto Modernización de la cacaocultura orgánica del Alto Beni, Bolivia. *Agroforestería en las Américas* 43/44:6-14.
- Somarriba, E; Valdivieso, R; Vásquez, W; Galloway, G. 2001. Survival, growth, timber productivity and site index of *Cordia alliodora* in forestry and agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 51: 111-118.
- Somarriba, E; Trivelato, M; Villalobos, M; Suárez, A; Benavides, P; Moran, K; Orozco, L; López, A. 2003. Diagnóstico agroforestal de pequeñas fincas cacaoteras orgánicas de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 24-30.
- Trujillo, L; Somarriba, E; Harvey, CA. 2003. Plantas útiles en las fincas cacaoteras de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 36-41.
- Vabi, M. 1996. Alcanzando el conocimiento y el saber comunitario sobre los usos de los árboles con métodos de diagnóstico rural participativo: ejemplos de Camerún y la República Centroafricana. Reino Unido, Red Forestal para el Desarrollo Rural. 40 p.
- Vega, M; Somarriba, E. 2005. Planificación agroforestal de fincas cacaoteras orgánicas del Alto Beni, Bolivia. *Agroforestería en las Américas* 43-44:20-25.
- Yana, W; Weinert, H. 2003. Técnicas de sistemas agroforestales multiestratos. Manual Práctico. Alto Beni, BO, CEFREC, PIAF-CEIBO. 59 p.
- Yépez, C. 2002. ¿Cómo diversificar la sombra en cafetales con criterios locales de selección? *Agroforestería en las Américas* 35-36: 95-98.

Sistemas agroforestales tradicionales en el Consejo Comunitario del Bajo Mira y Frontera en Tumaco, Nariño, Colombia

William Ballesteros Possú¹, Otto Marco Saya², Héctor Ramiro Ordóñez Jurado³

RESUMEN

Se estudiaron los sistemas agroforestales tradicionales en el Consejo Comunitario del Bajo Mira y Frontera en Tumaco, Nariño, Colombia. Se seleccionaron mediante muestreo aleatorio simple 540 hogares (fincas) y se diagnosticaron mediante una encuesta semiestructurada, entrevistas, recorridos y visitas de fincas, inventarios florísticos, levantamiento de perfiles de vegetación y talleres de diseño participativo. La finca tradicional es diversificada, con varios sistemas agroforestales, entre los que destacan: (i) los cacaoales (*Theobroma cacao*) mixtos con plátano (*Musa AAB*), frutales y maderables *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Tabebuia rosea*, *Vochysia* spp., *Xanthoylum* spp. y *Apeiba aspera*; (ii) charrales enriquecidos mediante selección dirigida de la regeneración natural de especies maderables valiosas y cultivados con policultivo de maíz y plátano; (iii) huertos mixtos, y (iv) pasturas con árboles dispersos. También existen en las fincas plantaciones puras de palma aceitera (*Elaeis guineensis*), coco (*Cocos nucifera*) y coca (*Erythroxylum coca*). Las especies preferidas por los productores para los sistemas agroforestales fueron cacao, plátano (*Musa AAB*), *C. odorata*, *C. alliodora* y *T. rosea*.

Palabras claves: *Apeiba aspera*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Theobroma cacao*, frutales, hogares, maderables, uso del suelo.

Traditional agroforestry systems of the Consejo Comunitario del Bajo Mira y Frontera, Tumaco, Nariño, Colombia

ABSTRACT

Traditional agroforestry systems in the Consejo Comunitario del Bajo Mira y Frontera, Tumaco, Nariño, Colombia, were studied in 540 randomly selected farms. Information was collected using semi-structured interviews, visits to the farms, inventories, preparation of vegetation profiles and participative workshops. We identified four main agroforestry systems: 1) cacao (*Theobroma cacao*) plantations with plantain (*Musa AAB*), fruit tree and timber species (*Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Tabebuia rosea*, *Vochysia* spp., *Xanthoylum* spp. and *Apeiba aspera*); 2) fallows, enriched by selecting valuable timber species from natural regeneration and mixed cropping with maize and plantain; 3) homegardens; and 4) pastures with dispersed trees. Pure plantations of oil palm (*Elaeis guineensis*), coconut (*Cocos nucifera*) and coca (*Erythroxylum coca*) were also recorded in the study. *T. cacao*, *Musa*, *C. odorata*, *C. alliodora* and *T. rosea* were the species preferred by local farmers to include in their traditional agroforestry systems.

Keywords: *Apeiba aspera*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Theobroma cacao*, fruit tree species, households, land use, timber species.

INTRODUCCIÓN

A través de la Ley 70 de 1993, el Gobierno de la República de Colombia reconoce a las comunidades negras que han venido ocupando las tierras baldías en las áreas rurales ribereñas de los ríos de la Cuenca del Pacífico el derecho a la propiedad colectiva de estos territorios; establece los mecanismos para la protección de la identidad cultural y de los derechos de las comunidades negras como grupo étnico, y fomenta el desarrollo económico y social. Los

Consejos Comunitarios del Municipio de Tumaco, la máxima instancia organizativa de las comunidades negras, enfrentan el reto de planificar el uso de los recursos naturales mediante la formulación de planes de vida, resolver la problemática ambiental y de uso de los recursos naturales en sus territorios, proteger su patrimonio cultural, afianzar y controlar la propiedad colectiva de la tierra, fomentar el proceso de desarrollo económico y social y establecer las reglas necesarias para el entendimiento con las institucio-

¹ Facultad de Ciencias agrícolas, Programa de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Nariño, Colombia. Correo electrónico: wballesterosp@yahoo.com

² Red de Consejos Comunitarios del Pacífico Sur (RECOMPAS). Tumaco, Nariño, Colombia. Correo electrónico: ottomsa@yahoo.es

³ Facultad de Ciencias Agrícolas, Programa de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Nariño, Colombia. Correo electrónico: hectoramiro@hotmail.com

nes del Estado y las agencias externas que apoyan el desarrollo autónomo (CCBM y F 2003).

En el Pacífico de Colombia, las fincas están compuestas de huertos caseros mixtos; cacaotales con plátano, frutales y maderables; charrales enriquecidos con maderables de regeneración natural y producción de maíz y plátano; potreros con árboles dispersos, y plantaciones de palma de aceite, cocotero, borojó (*Boroja patinoi*) y coca (CONIF 1988, Naspirán y Rivadeneira 1999, Paredes 2001, Angulo y Cortés 2002). En este trabajo se caracterizaron estos sistemas agroforestales para apoyar la formulación de un Plan de Desarrollo Agroforestal en la zona del Consejo Comunitario del Bajo Mira y Frontera (Tumaco, Nariño, Colombia).

MATERIALES Y MÉTODOS

El Municipio de Tumaco está localizado en el Departamento de Nariño, al suroeste de Colombia (1°49'N; 79°16'O). El Consejo Comunitario Bajo Mira y Frontera pertenece al municipio de Tumaco, a la subregión de la Costa Pacífica Sur del Departamento de Nariño. El territorio abarca todo el delta del Río Mira, área fronteriza con Ecuador, y tiene una extensión aproximada de 46.481 ha (CCBM y F 2003). La zona se clasifica como bosque húmedo tropical (Holdridge 1982), temperatura promedio de 25,4 °C, precipitación promedio de 3000 mm año⁻¹, humedad relativa del 88%, y brillo solar de 1062 horas sol año⁻¹. En la zona se encuentran tres paisajes: la planicie fluvio-marina, la llanura aluvial y las colinas bajas y valles estrechos. La caracterización se realizó en el paisaje costero constituido por llanura aluvial y colinas bajas. El área de estudio fue delimitada con base en la cartografía a escala 1:25000 utilizada para la zonificación forestal, seleccionando áreas con uso agroforestal y tierras en otros usos, que no incluían el bosque natural, el cual está definido como de uso comunitario según la Ley 70 de 1993.

La caracterización y evaluación de los sistemas agroforestales se realizó con varias metodologías de diagnóstico y diseño (Granados y Tapia 1983, Raintree 1987, Soto 2000, Wefering et ál. 2000, CONIF 2004) y danserogramas, metodología que utiliza símbolos y signos para describir la morfología de las especies vegetales (Dansereau 1957). Los estudios se desarrollaron en la periferia de las áreas con bosque natural objeto del Plan de Manejo y Ordenamiento Forestal. Los detalles de muestreo y los resultados de los diagnósticos y plan de manejo se encuentran en el documento del plan de manejo (PCF 2005)

Se realizó un muestreo simple al azar en la zona contigua al bosque natural, objeto del PMF. Se evaluaron 15 variables de respuesta: número de parcelas agroforestales por productor; densidad de árboles maderables por sistema agroforestal; densidad de arbustos; densidad de árboles frutales; densidad de árboles forrajeros; área en pastos; área en cultivos agrícolas; cantidad de animales domésticos; tamaño de la unidad productiva; producción agrícola y rendimiento de los cultivos; área en sistemas agroforestales; área dedicada a la ganadería; tiempo dedicado a otras actividades (días año⁻¹); producción pecuaria (productos como carne, leche, terneros), e ingreso neto (en pesos colombianos año⁻¹) de la unidad familiar. El número óptimo de muestras se estimó en 540 (Castillo 1998; Ecuación 1), asumiendo un error máximo de 2 unidades y una confiabilidad deseada del 95%. La vegetación en los charrales se inventarió en seis transectos de 500 m cada uno; los cacaotales y charrales enriquecidos se inventariaron con diez parcelas rectangulares de 10 × 100 m (1000 m²), y diez parcelas de 500 m² para los huertos caseros. Se describieron los aspectos biofísicos y socioeconómicos del área de estudio con base en información publicada sobre el territorio del Consejo Comunitario del Bajo Mira y Frontera y de otras comunidades del sur del Pacífico de Colombia.

$$n \geq \frac{N s^2}{N \left[\frac{d}{z_{1-\alpha/2}} \right]^2 + s^2} \quad [\text{Ecuación 1}],$$

donde:

- n = tamaño de la muestra
- N = total de unidades de muestreo
- s^2 = varianza muestral con base en la variable de respuesta de mayor variabilidad
- d = máximo error admisible
- $z_{1-\alpha/2}$ = cuantil de la distribución normal estándar con una $P \leq (1 - \alpha/2)$.

La visión actual y la perspectiva de los productores sobre sus sistemas agroforestales se estudió mediante la elaboración participativa de los croquis de las fincas. Los sistemas agroforestales se valoraron con los productores en talleres, utilizando la metodología propuesta por Massera et ál. (1999) (Cuadro 1). Se elaboraron diagramas de telaraña (Wefering et ál. 2000) para expresar simultáneamente mediante gráficas algunas variables de los sistemas agroforestales en su estado actual, el ópti-

Cuadro 1. Criterios de diagnóstico e indicadores de sustentabilidad para la evaluación de sistemas agroforestales de las fincas de Tumaco, Nariño, Colombia

Atributo	Criterio de diagnóstico	Indicadores	Tradicional	Propuesto	Óptimo
			%		
Productividad	Eficiencia	Rendimiento, eficiencia energética Relación costo/beneficio, inversión (en dinero o en trabajo), productividad del trabajo, ingreso			
	Diversidad	Especies manejadas, y presentes; policultivos, rotaciones Número de cultivos, grado de integración en la producción y la comercialización Número de etnias involucradas en el manejo de recursos			
Estabilidad, resiliencia, confiabilidad	Conservación de recursos	Calidad de suelo y agua (buena, regular, mala) Relación entre entradas y salidas de nutrientes críticos Número de variedades criollas utilizadas Capacidad de ahorro			
		Fragilidad del sistema	Incidencia de plagas y enfermedades Tendencias y variación de rendimientos Vitalidad (edad de las especies leñosas según su curva de rendimiento)		
	Distribución de riesgos	Acceso a créditos, seguros u otros mecanismos			
	Calidad de vida	Índices de calidad de vida (marginación)			
Adaptabilidad	Fortalecimiento del proceso de aprendizaje	Capacitación y formación de los integrantes Adaptaciones locales a los sistemas propuestos			
	Capacidad de cambio e innovación	Evolución del número de productores por sistema Generación de conocimientos y prácticas			
	Distribución de costos y beneficios	Número de beneficiarios según etnias, género y grupo social			
	Evolución del empleo	Demanda o desplazamiento de trabajo			
Autodependencia (Autogestión)	Autosuficiencia	Implicación de los beneficiarios en las distintas fases del proyecto Grado de dependencia de insumos externos críticos Nivel de autofinanciamiento			
		Reconocimiento de los derechos de propiedad (individuales o colectivos)			
	Control	Uso de conocimiento y habilidades locales Poder de decisión sobre aspectos críticos del funcionamiento del sistema			
		Organización	Tipo, estructura, proceso de toma de decisiones		

Fuente: Adaptado de Masseia et ál (1999)

mo (según conocimiento científico) y el propuesto en el Plan Agroforestal (CONIF 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las familias y las fincas

Las familias tuvieron en promedio siete personas (tres adultos y cuatro niños y jóvenes), con ingresos en efectivo de entre 200 y 400 US\$ año⁻¹. Cerca del 90% del área cultivada por un 60% de los hogares se dedica a (i) plantaciones mixtas de cacao con plátanos

y árboles frutales y maderables y (ii) charrales enriquecidos con maderables de la regeneración natural. Un 10% de los hogares tiene potreros con árboles dispersos, y un 10% posee huertos caseros mixtos. Las plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) y coca (*Erythroxylum coca*) en monocultivo ocurren en 8 y 1,4% de las fincas, respectivamente. Esta distribución de uso del suelo concuerda con los hallazgos de Angulo y Cortés (2002) en la cuenca del río Caunapí, Tumaco.

Especies arbóreas más comunes

Cedrela odorata, *Cordia alliodora* y *Apeiba aspera* son las especies maderables más comunes en los sistemas agroforestales de estas fincas. En fragmentos de bosques inundables, las especies más abundantes fueron *Camptosperma panamensis*, *Otoba gracilipes*, *Symphonia globulifera*, *Tabebuia roseae* y *Vochysia* spp., algunas de las cuales producen madera valiosa. La densidad de árboles maderables en las fincas fue muy variable: 48% de los agricultores tienen menos de 50 árboles adultos (dap > 40 cm), 36% de productores poseen entre 50 a 100 árboles adultos y el 15% posee >100 árboles adultos. Las especies arbustivas forrajeras más comunes fueron *Gliricidia sepium* y *Trichantera gigantea*; se las encuentra dispersas en potreros y son ramoneadas directamente por los animales. *Vismia* sp., *Eugenia cujete* y *Bixa orellana* son también forrajeras y se emplean en la construcción de viviendas, elaboración de utensilios y condimentos. Los árboles frutales son utilizados para el consumo en el hogar o comercializados a nivel local o regional. Las especies frutales más importantes fueron *Citrus* spp., *Manilkara zapota*, *Pouteria*

caimito, *Manguifera indica*, *Inga* spp., *Borojoa patinoi*, *Psidium guajava*, *Cocus nucifera* y *Bactris gasipaes*. Los frutales se encuentran en los huertos caseros, cacaotales mixtos y en los charrales enriquecidos con maderables.

Huertos caseros

Este sistema es de producción intensiva, manejado exclusivamente por las mujeres, con un área de entre 500 y 1500 m², cercano a la vivienda y compuesto por una alta diversidad de especies distribuidas al azar por plantación o regeneración natural. Las especies vegetales más frecuentes en los huertos fueron los cítricos (*Citrus* spp.), zapote (*M. zapota*), caimito (*P. caimito*), mango (*M. indica*), guabo (*Inga* spp.), borojó (*B. patinoi*), guayabo (*Psidium guajava*), coco (*C. nucifera*), chontaduro (*B. gasipaes*), diversas musáceas (*Musa* spp.), cacao (*T. cacao*) y achiote (*B. orellana*). También se encontraron árboles maderables como cedro (*C. odorata*) y laurel (*C. alliodora*). El área de los huertos caseros también es aprovechada en la cría de aves y, ocasionalmente, de cerdos. Los productores aprecian los huertos porque proporcionan una alta diversidad de

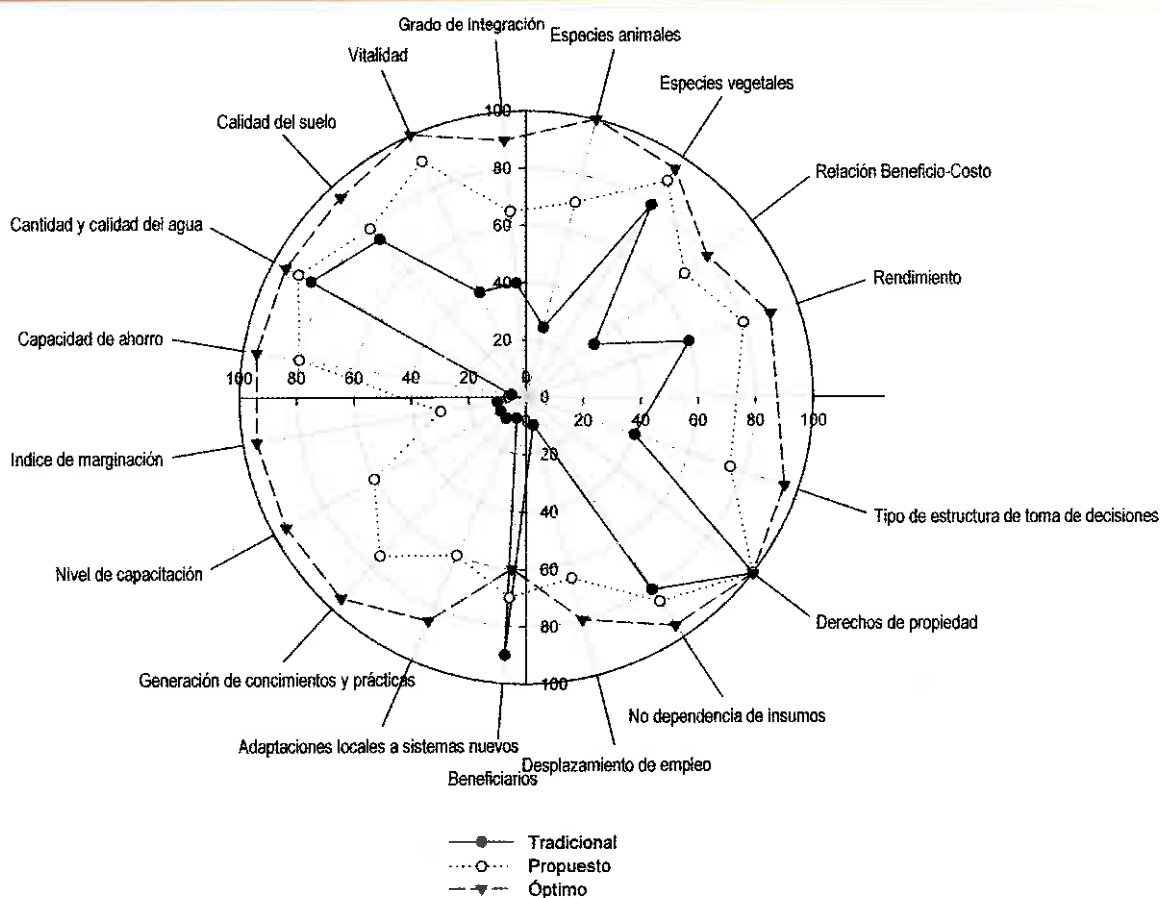


Figura 1. Valoración de los huertos caseros tradicionales, propuestos y óptimos en el Bajo Mira, Tumaco, Nariño, Colombia.

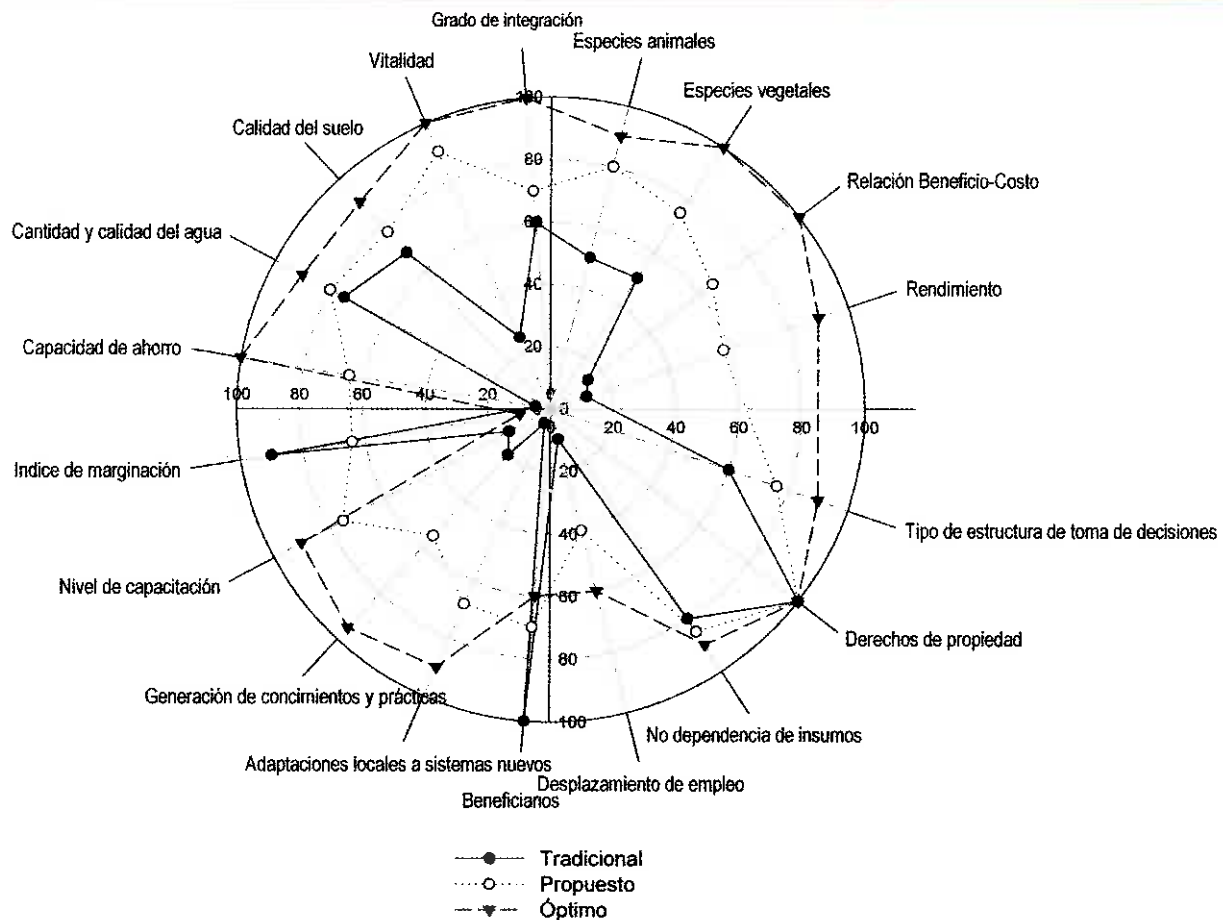


Figura 2. Valoración de los cacaotales mixtos con plátano, frutales y maderables en sistemas tradicionales, óptimos y propuestos, en el Bajo Mira, Tumaco, Nariño, Colombia.

productos en diferentes épocas del año. La producción de los huertos mixtos está dirigida fundamentalmente hacia el consumo propio; no obstante, los excedentes de algunas especies de frutas, como los cítricos y el zapote, pueden comercializarse en el mercado regional de Tumaco. La valoración de los huertos caseros actuales, propuestos y óptimos se presenta en Figura 1.

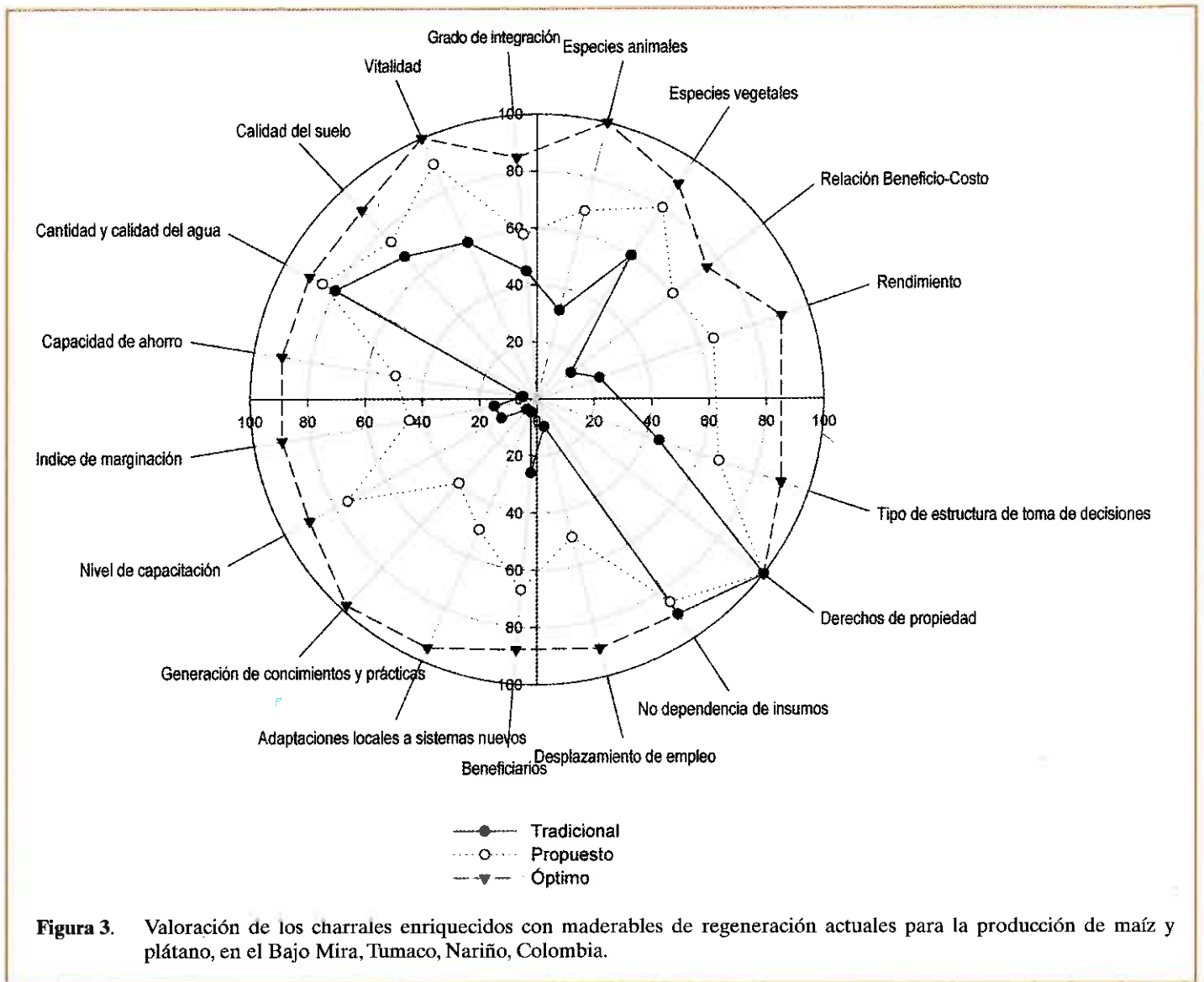
Cacaotales mixtos con plátano, frutales y maderables

El cacao es el principal cultivo de las familias. El 85% de los productores cultiva cacao mezclado con plátano y árboles frutales y maderables. Se caracteriza por ser extensivo, con distribución espacial aleatoria de plantas reclutadas de la regeneración natural o plantada. El 26% de los productores posee menos de 10 ha de cacao, 59% cultiva entre 10 y 15 ha y el 15% tiene >15 ha. El cacao está plantado con una densidad de 400 árboles ha⁻¹ y rinde menos de 400 kg ha⁻¹ año⁻¹. Las especies forestales más frecuentes fueron cedro, caucho negro (*Castilloa elastica*), laurel, tachuelo (*Xanthoxylum*

tachuelo) y virola (*Virola reedi*). Las especies frutales más frecuentes fueron zapote, cítricos, ciruelo (*Spondias* spp.), caimito y árbol de pan (*Artocarpus altilis*). Los productores valoran más las plantas de cacao y los maderables que los demás componentes, debido a su fácil comercialización. Los árboles maderables no se manejan, pero se favorecen del manejo de los cultivos. La valoración de los cacaotales mixtos con plátano, frutales y maderables, propuestos y óptimos, se presenta en Figura 2.

Charrales para la producción de maíz y plátano enriquecidos con maderables de regeneración natural

El maíz y el plátano son establecidos en sitios donde se cortan los charrales jóvenes (áreas de regeneración natural con menos de 5 años de abandono). Durante la volteo de la vegetación del charral, se retienen y favorecen los árboles de varias especies maderables valiosas, tal como el cedro, laurel y tangare (*Carapa guianensis*). Este sistema es poco frecuente, ya que se



encontró solamente en el 5% de las fincas. El cultivo del maíz es transitorio y destinado al consumo propio; el plátano es para la venta y el consumo propio y la madera para la venta. Las chapeas (dos por año) favorecen el desarrollo de los árboles maderables de regeneración natural. Los cultivos son manejados por un período de tres años y luego se abandona el sitio y se aprovechan los árboles maderables de dap > 40 cm en los siguientes 8 a 10 años. El diámetro mínimo de corta es definido por la Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO 1996). La valoración de los charrales enriquecidos actuales, propuestos y óptimos se presenta en la Figura 3.

Árboles dispersos en potreros

La actividad pecuaria es manejada de manera tradicional y se realiza rotando el ganado en potreros, rastrojos,

plantaciones de palma de aceite y, muchas veces, en los cacaotales. Los animales son empleados para controlar las gramíneas. Solo el 10% de los productores se dedica a la ganadería, y disponen de menos de 5 ha para esta actividad. El número de animales por familia es muy bajo: el 76% de las familias posee menos de 2 animales, destinados a la producción de crías y carne; solo el 15% de los ganaderos vende animales para cría o sacrificio. Las razas utilizadas son el cebú y el criollo. Los rendimientos son bajos. Los pastos utilizados son *Brachiaria* spp. y la grama natural. Muchas familias no cuentan con tierra suficiente para la producción pecuaria (unidades productivas de menos de 5 ha). Un grupo muy reducido de familias en el Bajo Mira (10%) tiene árboles dispersos en potreros de pastos naturales o mejorados (cacao, cítricos, cedro y tachuelo). Estos potreros ocupan áreas inicialmente dedicadas al cacao y que se abandonaron

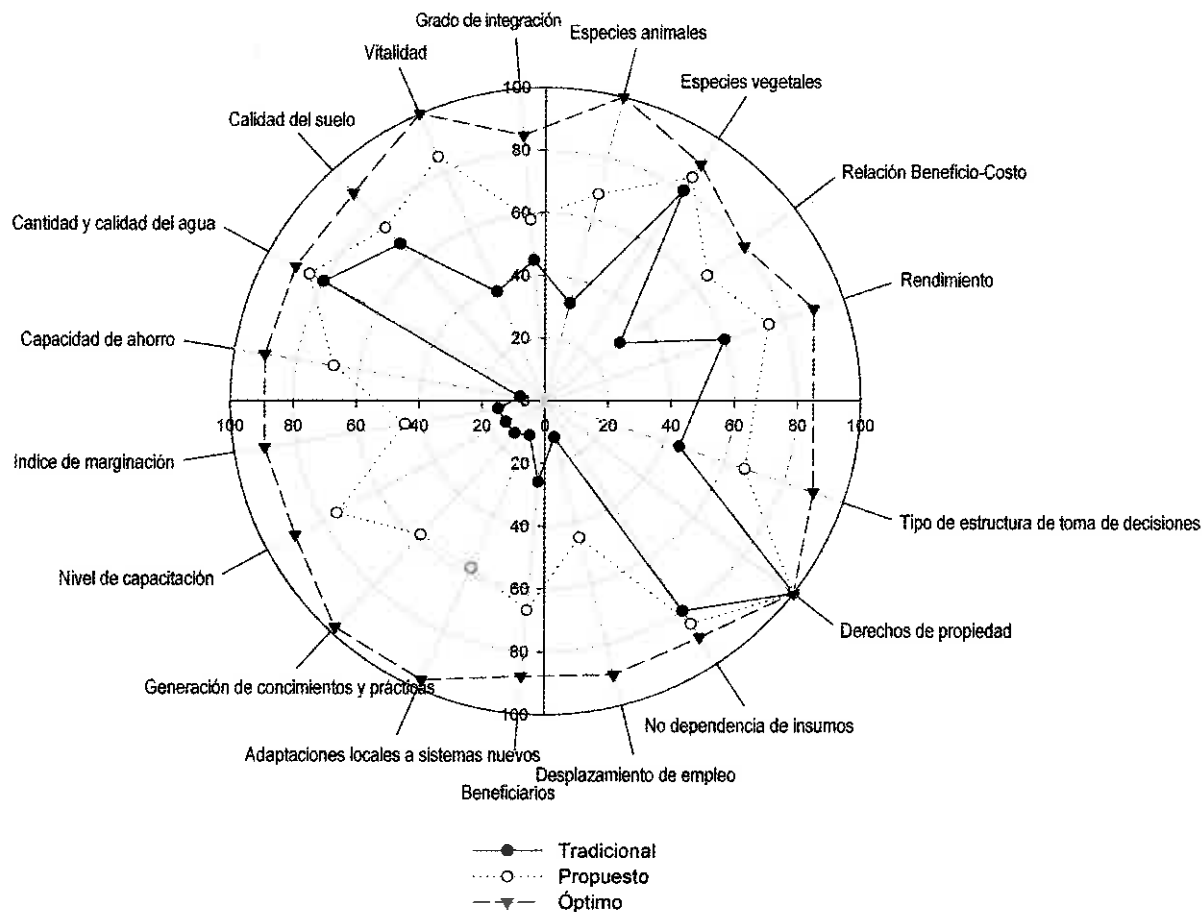


Figura 4. Valoración de los potreros con árboles dispersos en sistemas tradicionales, propuestos y óptimos, en el Bajo Mira, Tumaco, Nariño, Colombia.

por bajos rendimientos (Paredes 2001). La valoración de los sistemas silvopastoriles actuales, propuestos y óptimos se presenta en Figura 4.

Otros usos de la tierra

Las plantaciones de palma de aceite (*E. guineensis*), coco y coca son importantes en la región. La palma de aceite cubre aproximadamente 800 ha y su producción es vendida a procesadoras del fruto. Una pequeña área donde se cultiva palma africana está asociada con cedro y plátano. Las áreas plantadas con cocoteros son mayormente monocultivos ubicados en la planicie fluvio-marina y aluvial de inundación (Paredes 2001), cubren cerca de 120 ha y su producción se comercializa en los mercados nacionales. Algunas pequeñas áreas se encuentran dedicadas a la producción de coca en monocultivo o asociada con plátano y cedro. Esta actividad, a pesar de ser nueva en el área, está motivando el abandono de los cultivos tradicionales, ya que absorbe gran parte de la mano de obra local.

CONCLUSIONES

En el Bajo Mira y Frontera, Tumaco, Nariño, Colombia, la finca tradicional es diversificada, con varios sistemas agroforestales, entre los que destacan los cacaotales mixtos con plátano, frutales y maderables; los charrales enriquecidos mediante selección dirigida de la regeneración natural de especies maderables valiosas y cultivados con policultivo de maíz y plátano; los huertos mixtos, y las pasturas con árboles dispersos. Los sistemas agroforestales tradicionales poseen un alto número de especies: maderables nativas, varios cultivos agrícolas (cacao, plátano, maíz) y diversos tipos de frutas (cítricos, chontaduro, coco, zapote, caimito, borjón, y guaba). La finca proporciona gran parte de los bienes y servicios que necesita la unidad familiar.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Angulo, GJ; Cortés, CA. 2002. Caracterización de los sistemas de producción agropecuaria tradicionales en el río Caunapí, municipio de Tumaco. Tesis Ing. Agroforestal. Pasto, Nariño, CO, Universidad de Nariño. 123 p.

- Castillo, LE. 1998. Muestreo de poblaciones, México, Universidad Autónoma Chapingo, (UACH). Departamento de Parasitología. p. 1-40. (Notas del curso).
- CCBM y F (Consejo Comunitario Bajo Mira y Frontera). 2003. Plan de Manejo integral Ambiental (PMIA) 2003 – 2013. Tumaco, CO, Municipio de Tumaco. 105 p.
- CONIF (Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal). 1988. Evaluación de asociaciones agroforestales para la zona aluvial del río calima Buenaventura Valle Colombia. Bogotá, CO, Convenio CONIF-HOLANDA. 76 p. (Serie Técnica no. 28).
- CONIF (Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal). 2004. Metodología general para la caracterización y evaluación de sistemas agroforestales en el área de influencia del programa Colombia Forestal. Bogotá, CO, CONIF 24 p.
- CORPONARIÑO (Corporación Autónoma Regional de Nariño). 1996. Estatuto Forestal, Decreto 1791 de 1996, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. 21 p.
- Dansereau, PA. 1957. Biogeography and ecological perspective. New York, US, Ronald Press. 394 p.
- Granados, D; Tapia, VR. 1983. Comunidades vegetales. México, UACH. 235 p. (Serie Agronomía no. 19).
- Holdridge, LR. 1982. Ecología basada en zonas de vida. San José, CR, IICA. 216 p.
- Massera, O; Astier, M; López, S. 1999. Sustentabilidad y manejo de los recursos naturales. El marco de la evaluación MESMIS. México, Mundi-Prensa, Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiable. 109 p.
- Naspirán, J; Rivadeneira, A. 1999. Identificación y caracterización de los sistemas de producción prioritarios del Municipio de Taminango. Tesis Ing. Agroforestal. Pasto, Nariño, CO, Universidad de Nariño. 51 p.
- Paredes, ML. 2001. Identificación y caracterización de agroecosistemas de las riveras del Río Mejicano Municipio de Tumaco. Tesis Ing. Agroforestal. Pasto, Nariño, CO, Universidad de Nariño. 80 p.
- PCF (Programa Colombia Forestal). 2005. Plan de manejo forestal para un área de 9705 ha de propiedad del Consejo Comunitario de Bajo Mira y Frontera en el municipio de Tumaco departamento de Nariño (Unidad de Manejo Forestal Bajo Mira y Frontera). Tumaco, Nariño, CO, PCF. 183 p. (Fotocopias).
- Raintree, J. 1987. D&D Users' Manual. An introduction to agroforestry diagnosis and Desing. Nairobi, Kenya, ICRAF. p. 1-22.
- Soto, LM. 2000. Estudio agroecológico del café con sombra en comunidades indígenas de Chiapas, México, D.F. Tesis Doctoral en Biología. México, DF, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 171 p.
- Wefering, FM; Danielson, LE; White, NM. 2000. Using the AMOEBA approach to measure progress toward ecosystem sustainability within a shellfish restoration project in North Carolina. Ecological modelling 130(1/3): 157-166.

¿Cómo hacerlo?

¿Cómo fijar carbono atmosférico, certificarlo y venderlo para complementar los ingresos de productores indígenas en Costa Rica?

Eduardo Somarriba¹, Hernán J. Andrade¹, Milena Segura¹, Marilyn Villalobos¹

RESUMEN

Los productores del trópico pueden acumular carbono en la madera de las especies leñosas que crecen en sus fincas, ingresar al mercado global de carbono, obtener ingresos complementarios y apoyar la conservación ambiental. En este artículo se presenta la estrategia (con sus etapas y pasos) utilizada para estimar cuánto carbono adicional certificable (+C) pueden producir las fincas indígenas de Talamanca, cómo certificarlo y comercializarlo y definir quiénes y cómo podrían intervenir en la gerencia local del negocio. Se propone intervenir 4792 ha de sistemas agroforestales (SAF) con cacao, SAF con banano, platanales, bosques de galería y charrales, en las cuales es posible incrementar el almacenamiento de carbono sin detrimento de la producción agrícola. Se plantearon tres estrategias de intervención: (i) incremento de la densidad arbórea en SAF; (ii) regeneración natural inducida, y (iii) reforestación en bosques de galería. Se espera fijar 1,4 millones de toneladas adicionales de CO₂ en 20 años. Se propone seguir los estándares CCB (clima, comunidades y biodiversidad) y lograr una certificación "tándem" que incluya, además del carbono, los aspectos sociales, ecológicos y culturales que son las fortalezas de Talamanca como región. Se plantea vender +C de Talamanca en los mercados voluntarios (no Kyoto) debido al alto costo de los proyectos en el Mecanismo de Desarrollo Limpio.

Palabras claves: adicionalidad, bananales, bosques de galería, *Theobroma cacao*, estrategias de intervención, línea base, mecanismo de desarrollo limpio.

How to fix atmospheric carbon in Bribri and Cabécar farms (Talamanca, Costa Rica), certify and sell it to bring additional income to farmers

ABSTRACT

Farmers in the tropics can accumulate carbon in the wood of several woody perennials that grow in their farms, join the global carbon market, bring additional income to the farm economy and conserve the environment. We present a strategy (with its stages and transitions) to estimate how much carbon can be produced on the indigenous farms of Talamanca, how it can be certified and commercialized, who should be involved in the negotiations and how these negotiations should be carried out. The interventions proposed cover 4792 ha of agroforestry systems (AFS), including AFS with cacao, AFS with bananas, plantain plantations, riparian forests and fallows. In these systems it is possible to increase carbon storage without adversely affecting agricultural production. Three strategic interventions are proposed: 1) increasing tree density in AFS, 2) promoting natural regeneration, and 3) reforesting riparian forests. The interventions will capture 1.4 million tons of additional CO₂ in 20 years. We propose following the CCB standard (Climate, Communities and Biodiversity) to obtain a certification that takes into account, besides carbon storage, social issues, ecology and culture, which are the strengths of Talamanca as a region. Voluntary carbon markets (non-Kyoto), instead of those under the Clean Development Mechanism (CDM), are recommended for selling additional carbon fixed in Talamanca, because participating in CDM projects is usually an expensive undertaking.

Keywords: additionality, banana plantations, riparian forests, baseline, *Theobroma cacao*, intervention strategies, Clean Development Mechanism.

INTRODUCCIÓN

En 2003, el Banco Mundial otorgó al Gobierno de Costa Rica (Ministerio de Ambiente y Energía, MINAE) una donación para ejecutar el proyecto "Captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en cacaotales y otros sistemas agroforestales indígenas en Talamanca, Costa Rica", conocido localmente como "Proyecto Carbono", para determinar (i) cuánto car-

bono hay en pie y a que tasa se está acumulando en las fincas de Talamanca con el manejo tradicional indígena (línea base); y (ii) cuánto carbono certificable (+C) se podría capturar en fincas sometidas a enriquecimiento agroforestal para aumentar la población, diversidad botánica y manejo de los árboles en forma compatible con la producción agropecuaria y así mejorar las condiciones de vida de los hogares cacaoteros bri-

¹ Grupo Temático CACAO, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Correos electrónicos: esomarri@catie.ac.cr, msegura@catie.ac.cr, handrade@catie.ac.cr, marilyn@catie.ac.cr.

bri y cabécar de Talamanca. Los aprendizajes y modelos operativos diseñados y estimados cuantitativamente en Talamanca indígena servirían al Gobierno de Costa Rica, a través del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), para diseñar una estrategia nacional aplicable en los demás territorios indígenas del país. El MINAE contrató al CATIE para que codiseñara y coejecutara el proyecto junto a varios actores locales claves. Una descripción detallada de los roles de estos actores en el Proyecto Carbono se presenta en Orozco et ál. (2007) en este mismo volumen. La estrategia de gerencia del Proyecto Carbono se basó en experiencias previas en Talamanca y Bolivia (Andrade y Somarriba 2003, Somarriba et ál. 2005).

El proyecto se basó en la premisa de que *es posible aumentar y diversificar la población de árboles en los varios usos de la tierra presentes en las fincas, aumentar la captura de +C y producir otros bienes (madera, fruta, etc.) y servicios (ornato, rito, conservación suelos, agua y biodiversidad) sin afectar desfavorablemente el desarrollo y productividad de los cultivos.*

Las fincas han sido descritas en otras publicaciones (Somarriba y Harvey 2003, Somarriba et ál. 2003). Al menos 10 especies de mamíferos (Guiracocha et ál. 2001, Harvey et ál. 2006), 224 especies de aves, 45 especies de murciélagos (Reitsma et ál. 2001, Harvey y González 2007) y 52 especies de escarabajos estercoleros (Harvey et ál. 2006) utilizan las fincas para tránsito, alimentación y descanso. Los Territorios Indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca albergan una rica biodiversidad local y sirven de amortiguamiento y de corredores biológicos al Parque Internacional La Amistad, la Reserva Biológica Hitoy Cerere, el Parque Nacional Cahuita, el Refugio de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo y las Reservas Indígenas Kekoldi y Tayni (Somarriba y Harvey 2003).

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es uno de los instrumentos del Protocolo de Kyoto para reducir la emisión global de gases de efecto invernadero (GEI) (UNFCCC 2003). La acumulación de carbono en la biomasa de los árboles y otras especies leñosas en las fincas es una alternativa de MDL disponible a los productores rurales en los trópicos, donde las condiciones de temperatura, radiación solar y humedad favorecen altas tasas de crecimiento arbóreo. Estos productores podrían, simultáneamente, acumular carbono certificable (+C), venderlo para obtener ingresos complementarios e incrementar el número y crecimiento de árboles made-

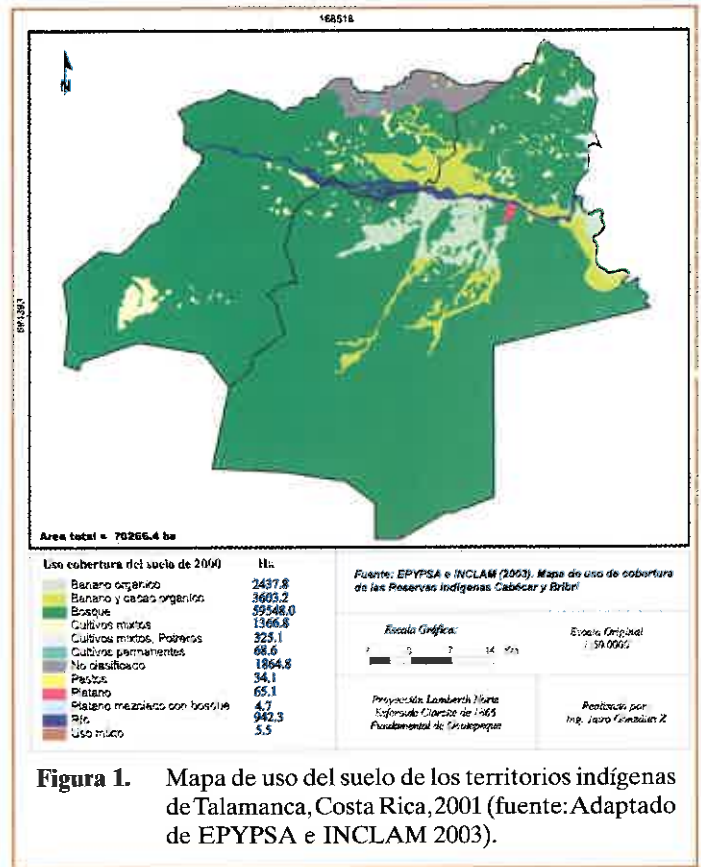


Figura 1. Mapa de uso del suelo de los territorios indígenas de Talamanca, Costa Rica, 2001 (fuente: Adaptado de EPYPSA e INCLAM 2003).

rables, frutales y valiosos por conservación biológica o cultural. Se han recomendado las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales (SAF) para lograr esas metas (Puri y Nair 2004, Swamy y Puri 2005). En este artículo se presenta la estrategia (con sus etapas y pasos) utilizada en el Proyecto Carbono para estimar cuánto +C pueden producir las fincas indígenas de Talamanca, cómo certificarlo, comercializarlo y administrarlo.

¿CÓMO HACERLO?

Hay que responder a tres preguntas clave o *módulos*. Los módulos se componen de *pasos* y, algunos de éstos, de *tareas*.

Módulo 1. ¿Cómo y cuánto carbono adicional certificable (+C) producen las fincas de Talamanca?

Hay que completar seis pasos:

PASO 1. Describir el uso de la tierra, actual y pasado, en los Territorios indígenas y en las fincas

Son esenciales los datos de superficie por uso de la tierra a nivel de territorio indígena y de finca. El Territorio Indígena de Talamanca abarca 45.388 ha de Reserva Bribri y 24.878 ha de Reserva Cabécar, para un total de 70.266 (Figura 1). Considerando el área total de

ambas reservas, en el año 2003 el 84,7% de la tierra se encontraba bajo bosque primario, 8,8% en agricultura (cacaotales, bananales, patios y platanales), 2,4% en charrales vinculados a la producción de arroz y maíz, 1,4% en riberas y un 0,05% en potreros (EPYPSA e INCLAM 2003). Diagnósticos de 509 fincas en 2003 y 2005 permitieron determinar el área promedio por uso de la tierra en las fincas de valle y loma (Somarriba et ál. 2003, Orozco et ál. 2007).

PASO 2: Estimar el carbono en pie por uso de la tierra
¿Cuántos árboles, de cuáles especies, de qué tamaños y conteniendo cuánto C por uso de la tierra hay en las fincas en este momento? Este inventario se completa con cinco tareas:

Tarea 1. Muestrear fincas en forma representativa en todo el territorio (relieve, etnias, población por comunidades) y, en cada finca, contar cuántos árboles, de qué tamaños y de cuáles especies existen por uso de la tierra. Se mide, además, el C en la necromasa (material muerto que incluye la hojarasca) del ecosistema. En Talamanca, en 160 fincas: se aplicó una encuesta socioeconómica; se realizó el levantamiento topográfico para elaborar mapas de las fincas y determinar la superficie por uso de la tierra (Figura 2); y se establecieron y midieron 199 parcelas permanentes de medición (PPM), distribuidas en cinco usos de la tierra: SAF con cacao, SAF con banano, plátano en monocultivo, charrales (bosques secundarios de menos de 12 años de edad) y bosques

de galería (Segura 2005, Andrade et ál. 2007). Las fincas se identificaron mediante asambleas en nueve comunidades (Loma: San Miguel, San Vicente, Sibujú, Yorkin y Shuabb; Valle: Uatsi, Katsi, Coroma y Bajo Coen). En las PPM se inventariaron los árboles del dosel de sombra (maderables, frutales y palmas) y las plantas de cacao.

Tarea 2. Construir modelos alométricos para las especies o grupos de especies dominantes en las fincas para estimar la biomasa (y el carbono) en pie en función del diámetro del tronco a la altura del pecho (dap), en el caso de árboles, y a 30 cm sobre el suelo en el caso de plantas de cacao (Andrade et ál., en preparación). Los árboles cortados y pesados para elaborar las ecuaciones alométricas se identificaron con los productores. Se cortaron, midieron y pesaron 278 árboles de varias especies (cacao, laurel, cedro, nativas y frutales); los datos de campo se completaron con datos de secciones de 204 árboles de laurel disponibles en las bases de datos forestales del CATIE. Se usaron también ecuaciones alométricas publicadas en la literatura para calcular el C de especies con formas y hábitos de crecimiento similares a los de Talamanca.

Tarea 3. Estimar el contenido de carbono de los lotes por cada uso de la tierra usando los inventarios de árboles de sombra (y plantas de cacao, cuando aplicaba) y las ecuaciones alométricas. Se desarrolló un método de estimación rápida de carbono (Segura y Andrade 2007) para estimar el C almacenado en charrales, cacaotales y bananales de 154 fincas, el cual puede ser empleado por promotores locales previamente capacitados (Somarriba et ál. 2006, Arce et ál 2007).

Tarea 4. Clasificar los lotes de cada uso de la tierra de acuerdo con su contenido de carbono (Cuadro 1), utilizando cuatro niveles (muy bajo, bajo, medio y alto), obtenidos dividiendo en cuartiles el rango de C observado por uso de la tierra.

Tarea 5. Determinar los usos de la tierra y el área de las fincas y del territorio indígena con potencial de incremento de +C. Los SAF con cacao, los SAF con banano y los platanales con niveles de C bajos y muy bajos, los charrales de 5 años de edad o menos y los bosques de galería con nivel de carbono muy bajo, bajo y medio son los usos de la tierra donde es posible incrementar la población arbórea (y fijar +C) sin detrimento de la productividad de los cultivos. Estos usos de la tierra cubren

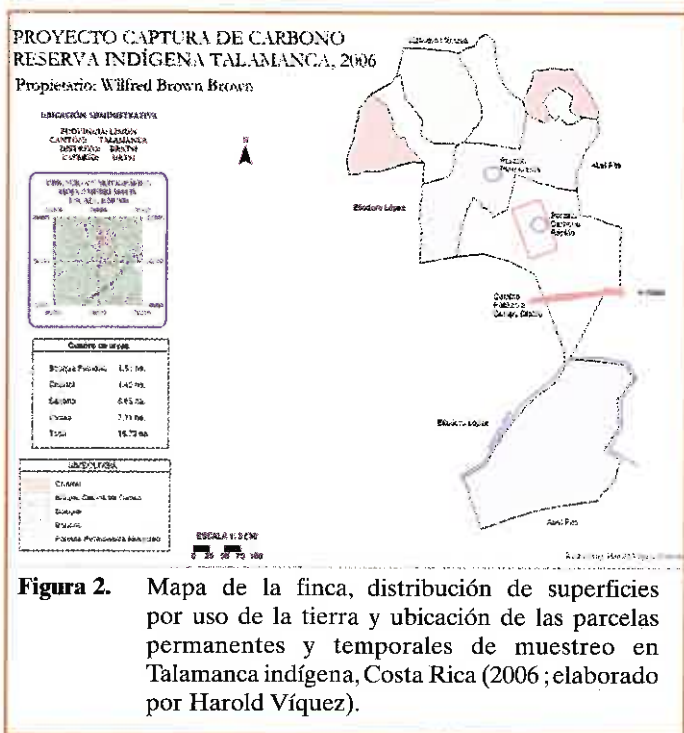


Figura 2. Mapa de la finca, distribución de superficies por uso de la tierra y ubicación de las parcelas permanentes y temporales de muestreo en Talamanca indígena, Costa Rica (2006; elaborado por Harold Víquez).

Cuadro 1. Nivel de carbono por uso de la tierra en Talamanca indígena, Costa Rica (2006)

Sistemas	Nivel de carbono almacenado (t C ha ⁻¹)				
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	
SAF + cacao	0 - 39,9 (20)	40 - 79,9 (60)	80 - 119,9 (100)	120 - 159,9 (140)	
SAF + banano	0 - 29,9 (15)	30 - 59,9 (45)	60 - 89,9 (75)	90 - 119,9 (105)	
Platanales	0 - 7,9 (4)	8 - 15,9 (12)	16 - 23,9 (20)	24 - 31,9 (28)	
Bosques galería	0 - 79,9 (40)	80 - 159,9 (120)	160 - 239,9 (200)	240 - 319,9 (280)	
Edad (años)					
Charrales	1	2	3	4	5
	5,8	11,6	17,4	23,2	29

Nota: Valotes en paréntesis son la marca de clase (o promedio) de cada nivel

4792 ha de los territorios indígenas de Talamanca y almacenan en pie 742.963 t de CO₂ (Cuadro 2).

PASO 3. Determinar la tasa de acumulación de C con el manejo tradicional de finca

¿Cuántos árboles nuevos están estableciéndose en las fincas cada año, a qué velocidad están creciendo, cuántos se están cortando y cuánto C se está acumulando o perdiendo en las fincas con el manejo tradicional?
¿Cuánto es el crecimiento anual de C en las fincas?

En el Proyecto Carbono se utilizaron varias fuentes de información para determinar las tasas de crecimiento anual de C por uso de la tierra (Cuadro 2): usamos datos de estudios previos del crecimiento de árboles maderables (laurel y otras especies) en cacaotales viejos y nuevos, con repeticiones en varios sitios y con repeticiones por sitio (Proyecto CATIE-GTZ, 1989-1999, remedidos 2005); estudiamos el incremento diamétrico en discos basales de laurel (recolectados y medidos en el 2006 y complementados con datos de las bases fores-

Cuadro 2. Almacenamiento e incremento promedio anual en línea de base y con el Proyecto Carbono

Estrategia y sistema	Sistema	Nivel C (o edad, años)	Área (ha)	C en biomasa (tC ha ⁻¹)	C total en biomasa (t)	Tasa de fijación (tC ha ⁻¹ año ⁻¹)	
						Línea base	Proyecto
Incremento en la densidad de árboles en SAF	SAF+ cacao	Muy bajo	151	20	3026	0,5	4,7
		Bajo	1791	60	107.450	0,6	2,4
	SAF+ Banano	Muy bajo	973	15	14.590	0,1	3,5
		Bajo	546	45	24.573	0,2	1,8
Regeneración natural inducida	Plátano	Muy bajo	16	4	65	0	0,9
		Bajo	26	12	311	0,1	0,5
	Rastrojo	1	232,1	6,3	1462	0	6,3
		2	136,2	12,1	1648	0	6,3
3		149,2	17,9	2671	0	6,3	
Reforestación en bosques de galería	Bosques riparios	4	82,9	23,7	1965	0	6,3
		5	74,6	29,5	2201	0	6,3
		Muy bajo	415,6	40	16.622	0	4,0
Total		Bajo	171,5	120	20.580	0	2,7
		Medio	26,4	200	5276	0	1,3
			4792	t C	202.442		
				t CO ₂	742.963		

tales del CATIE); medimos una pseudocronosecuencia de charrales entre 1 y 12 años de edad; remedimos en 2005 los árboles de laurel y cedro (en pie y aprovechados) medidos en 68 plantaciones de cacao y banano en el 2001 (Suárez y Somarriba 2001); y usamos fórmulas de la literatura para estimar el incremento de árboles frutales y de algunas especies nativas.

PASO 4. Calcular la línea base de C por uso de la tierra. La línea base es la suma del inventario y el crecimiento anual, menos las fugas (no determinadas en Talamanca) y las emisiones causadas por cambios de uso del suelo (Cuadro 2; Figura 3). En Talamanca, se encontró una línea base decreciente, ya que hay una tendencia a cambiar SAF con cacao y/o banano a plátano monocultivo. La línea base indica una disminución de 216.773 t CO₂ en un período de 20 años (10.833 t CO₂ ha⁻¹ año⁻¹; Figura 3).

PASO 5. Definir la estrategia agroforestal para +C en las fincas. ¿Qué innovaciones agroforestales proponemos? ¿Cuáles tecnologías agroforestales debemos aplicar para aumentar la diversidad y población de árboles útiles en las fincas, de modo que incremente el +C sin afectar negativamente los cultivos y, al mismo tiempo, se produzcan bienes (madera, fruta, medicina, etc.) y servicios (conservar biodiversidad, suelos y agua, ornato, rito y cultura) de utilidad para el hogar y la sociedad? Esta estrategia debe estar ligada al conocimiento del diseño y manejo de sombra en sistemas agroforestales, principalmente cacaotales (Somarriba y Quesada 2005). Hay que describir las intervenciones propuestas con el mayor detalle posible en lo técnico y en lo operativo de su implementación. Iniciamos preguntándonos en cuáles usos de la tierra es posible acumular +C; por ejemplo, descartamos los bosques primarios (BP) y secundarios (BS), que ya contienen altos niveles de C, acumulan C cada vez más lentamente y tienen bajo potencial de +C. Los BP y BS de Talamanca ya reciben pagos del Gobierno de Costa Rica por el servicio ambiental de conservación de biodiversidad que brindan al país y al corredor biológico Talamanca-Caribe. La estrategia para +C en Talamanca se centra en las fincas (Cuadro 2). Se propuso:

- ♦ Enriquecer los cacaotales, bananales y platanales con niveles bajos y muy bajos de C mediante el manejo de la regeneración natural de laurel y cedro y la plantación dirigida de especies útiles (cedro, almendro, frutales de calidad, nativas con valor ecológico, etc.).
- ♦ Manejar la sucesión vegetal y enriquecer charrales

jóvenes (≤ 5 años) con especies arbóreas útiles y nativas de valor ecológico. Esta alternativa debe acompañarse con la validación de opciones para mantener la fertilidad del suelo y los rendimientos de arroz y maíz en una menor superficie de charrales por finca.

- ♦ Restaurar los bosques de galería (de las fincas ubicadas en el valle mayormente) mediante el manejo de la regeneración natural y la plantación dirigida de especies nativas de valor ecológico, cultural o frutal. Actualmente, los bosques de galería presentan bajos niveles de carbono y, en algunos casos, tienen un ancho mucho menor al establecido en la ley forestal de Costa Rica (15 m a ambos lados de los cursos de agua).

PASO 6. Estimar cuanto +C se puede acumular sobre la línea base en los siguientes 20 años si se implementa la estrategia técnica. El cálculo se realiza completando tres tareas:

Tarea 1. Determinar el nivel máximo de C que es posible mantener en un determinado uso de la tierra sin deteriorar la producción del cultivo principal. El nivel de C está relacionado directamente con el número y dimensiones de los árboles en una parcela. Por ejemplo, ¿cuál es la densidad arbórea máxima que permite una buena productividad de cacao, banano o plátano? En el Proyecto Carbono se tomó el nivel medio de C como el máximo compatible con la producción en cada uso de la tierra.

Tarea 2. Aplicar la estrategia agroforestal (proyectar el crecimiento de los árboles) en las parcelas con niveles

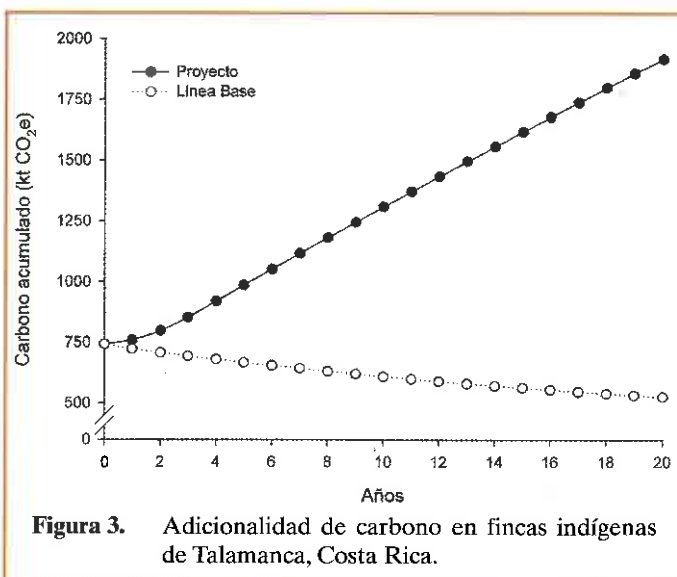


Figura 3. Adicionalidad de carbono en fincas indígenas de Talamanca, Costa Rica.

bajos y muy bajos de C en SAF cacao, SAF con banano y platanales, en charrales <5 años de edad y en los niveles bajo, muy bajo y medio de C en bosques de galería (Cuadro 2). El potencial de las fincas indígenas de Talamanca para capturar +C se estimó (i) tomando las diferencias ($t\ C\ ha^{-1}$) entre los niveles actuales de C por uso de la tierra y el nivel medio o alto de C correspondiente, y (ii) multiplicando las diferencias de C por el área de parcelas por uso de tierra. El Proyecto Carbono estimó que en 4792 ha de fincas indígenas en el valle de Talamanca se puede obtener una adicionalidad de carbono (diferencia entre situación con proyecto y línea base) de 1,4 millones de toneladas de CO_2 en 20 años (Figura 3).

Módulo 2: ¿Cómo certificar y vender el +C de Talamanca?

El CATIE contrató a la ONG Rainforest Alliance para que determinara la mejor alternativa de mercado y certificación para el +C de las fincas de Talamanca, tomando en cuenta las características de los mercados, los requisitos y oportunidades de certificación y las condiciones locales de los territorios y organizaciones indígenas. La Rainforest Alliance (2006) consideró que:

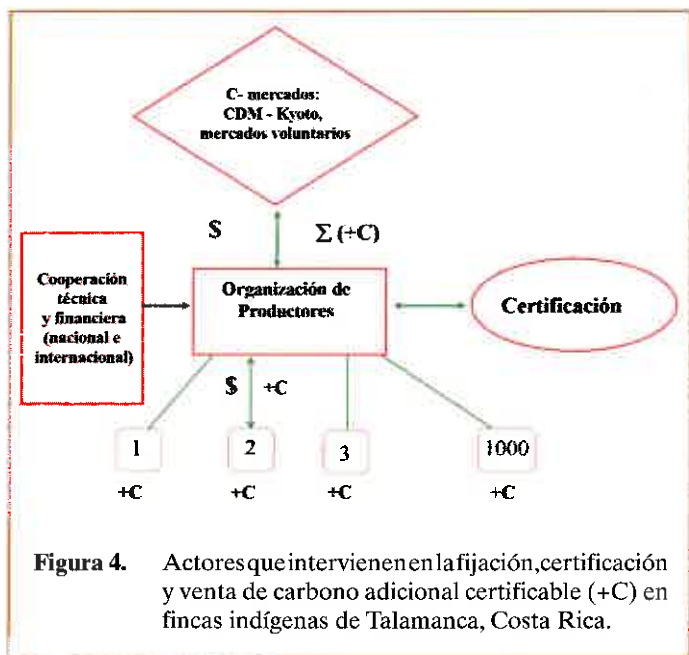
1. La captura de carbono mediante sistemas agroforestales en Talamanca no es atractiva para los mercados MDL por tres razones: (i) los altos costos administrativos; 2) el largo proceso de elaboración, diseño, validación e implementación de los proyectos; y (iii) la definición de bosque adoptada por el Gobierno de Costa Rica, que establece como bosque cualquier parcela con una superficie mínima de 1,0 ha, cobertura de copas >30% y con árboles de >5 m de altura en su madurez *in situ*; CMNUCC 2001). Esta definición incluye los cacaotales con árboles y otros SAF en la categoría de bosques y, por lo tanto, estas áreas no serían elegibles para proyectos MDL. Los mercados voluntarios parecen ser la mejor opción para la comercialización del carbono en Talamanca.
1. La mejor alternativa para el +C de Talamanca era el sistema de acreditación CCB (Clima, Comunidades y Biodiversidad; CCBA 2005), una certificación tándem que incluye consideraciones sobre la mitigación del cambio climático, aspectos sociales (pequeños productores, etnias indígenas, etc.) y ecológicos (producción orgánica, conservación de biodiversidad) de la producción. Estas y otras condiciones se cumplen a cabalidad en Talamanca. El CCB ofre-

cería las siguientes ventajas: (i) es compatible con los requerimientos de información de los proyectos MDL y de los mercados voluntarios; (ii) si bien el CCB es un estándar novedoso, por su reciente aplicación, es uno de los estándares más completos en este momento; (iii) facilitaría el posicionamiento competitivo de los productos de Talamanca (cacao, banano, frutas, madera, carbono, etc.) en los mercados certificados; (iv) se abriría un mercado voluntario amplio, con >100 empresas que ya reconocen el estándar CCB; y (v) facilitaría la certificación de la madera proveniente de los SAF con cacao y banano, ya que existe una gran coincidencia entre los criterios utilizados por el estándar CCB y el protocolo del FSC (Forest Stewardship Council) para la certificación forestal.

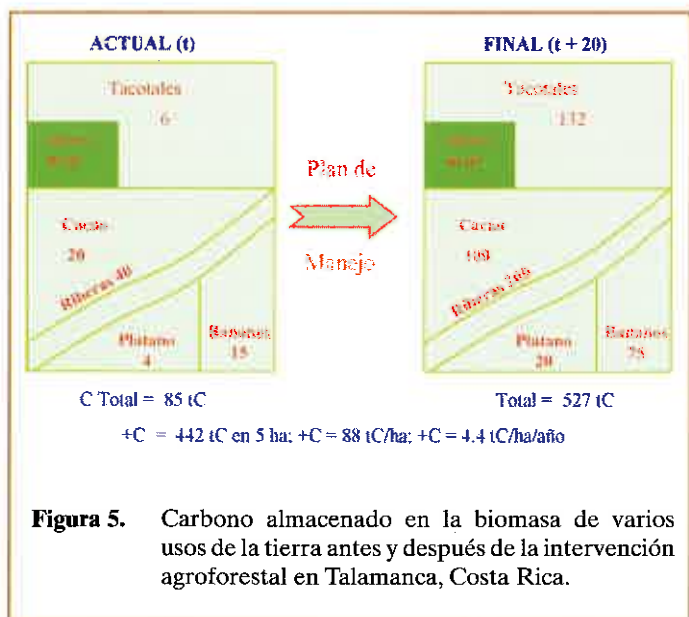
La acreditación CCB y los mercados MDL son muy exigentes en cuanto a la disponibilidad de información científica y de aplicación local sobre uso de la tierra, inventarios arbóreos, crecimiento leñoso, etc. La Rainforest Alliance (2006) propuso dos opciones adicionales al CCB: Carbono Fijado Verificable (Bolsa de Chicago) y mercados voluntarios (por ejemplo, algunos fondos de la cartera de FONAFIFO). El CATIE, con el apoyo financiero de ACICAFOC-RUTA (Proyecto MIIES) y en acuerdo con el FONAFIFO, iniciará el desarrollo de un Certificado de Servicios Ambientales (CSA) en territorios indígenas, que sería eventualmente transado en la bolsa agropecuaria de Costa Rica y podría optar por pagos ambientales del Gobierno de Costa Rica. El CSA en desarrollo será de tipo tándem, incluyendo los criterios CBM, y estará basado en el manejo agroforestal de las fincas indígenas. Las estrategias y la estimación de los costos de la transformación de las fincas, la emisión y venta de los CSA están por desarrollar. El mercado de carbono está todavía en un activo proceso de desarrollo y aunque por el momento existen muchos oferentes y pocos compradores, que exigen estándares rigurosos, las certificaciones son costosas, los procesos de verificación lentos, los precios son bajos y existen riesgos, las perspectivas son que el mercado de carbono evolucione y crezca y se torne más atractivo para los pequeños productores organizados.

Módulo 3. ¿Quiénes y cómo intervienen en el negocio de +C?

El carbono adicional (+C) es un producto que puede ser certificado, similar a otros ya conocidos, como el cacao orgánico, por ejemplo. El mercado de +C, al igual que otros mercados, requiere de un producto (y



productores), intermediarios y consumidores. En el negocio del +C intervienen los compradores (mercados MDL y voluntarios); varios prestadores de servicios (compañías certificadoras, la organización local de productores que administra el proceso, la cooperación técnica y financiera externa que los apoya), y los productores en sus fincas (Figura 4). La organización local de productores es un eslabón crítico, ya que es la responsable de informar, asesorar, capacitar y lograr un consenso entre los productores sobre las intervenciones que deben realizar en sus fincas (Figura 5), identificar las mejores opciones de mercados y certificación y conducir las negociaciones con estos actores



y con la cooperación técnica y financiera externa. La organización local debe desarrollar la capacidad gerencial-administrativa para manejar con transparencia los fondos y montar un sistema de monitoreo y pago a los productores según el +C en sus fincas, y dar lugar a la capacidad técnica para manejar la inspección y certificación interna, así como brindar asesoría y capacitación permanente a los hogares productores sobre el manejo agroforestal de sus fincas e informarles sobre la gerencia y comercialización del +C.

¿QUÉ SIGUE?

Falta mucho por hacer antes de lograr que los productores reciban en sus bolsillos el dinero producto de la venta del +C capturado en los sistemas agroforestales de sus fincas:

- Los mercados deben desarrollarse mejor y ofrecer más y mejores precios, bajos costos de transacción y mejores opciones de compra-venta.
- Aún quedan muchos aspectos metodológicos que definir en las convenciones internacionales.
- Los costarricenses deberán revisar su definición de bosque si quieren incluir a los productores cacaoteros en la producción y comercialización de servicios ambientales.
- Las organizaciones locales deben consolidarse social y empresarialmente, lo cual toma 15-20 años de acompañamiento y apoyo técnico y financiero externo.
- Los productores deben conocer mejor las innovaciones agroforestales por implementar en sus fincas e introducirlas con el apoyo técnico y financiero de sus organizaciones.
- Desarrollar el Certificado de Servicios Ambientales que solicitó el FONAFIFO para financiar el pago de los servicios ambientales que prestan las fincas agroforestales de Talamanca indígena y de otras reservas indígenas del país.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Arce, N; Ortiz, E; Villalobos, M; Cordero, S. 2007. Existencias de carbono en charrales y sistemas agroforestales de cacao y banano en fincas indígenas Bribris y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas. En este número.*

Andrade, HJ; Segura, M; Somarriba, E; Villalobos, M. 2007. Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono en sistemas de uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas. En este número.*

Andrade, H; Segura, M; Somarriba, E; Villalobos, M. Biomass equations to estimate aboveground biomass of woody components in indigenous agroforestry systems with cacao. *En preparación.*

Andrade, H; Somarriba, E. 2003. Cacao orgánico y biodiversidad. *Agroforestería en las Américas* 10(37/38):1-98.

- CCBA (The Climate, Community and Biodiversity Alliance). 2005. Climate, Community and Biodiversity Project Design Standards (en línea). 1 ed. Washington, DC, US, CCBA. May 2005. Consultado el 1 jun 2007. Disponible en www.climate-standards.org.
- CMNUCC (Convención Marco de Las Naciones Unidas sobre Cambio Climático) 2001. Decisiones de la Séptima Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (en línea). Disponible en <http://unfccc.int/>.
- EPYPSA e INCLAM 2003. Estrategia regional de desarrollo sostenible de la cuenca binacional del Río Sixaola. IIP/BID/Ministerio de Economía y Finanzas de Panamá. Aspectos Biofísicos. v. 1, 272 p.
- Guiracocha, G; Harvey, CA; Somarriba, E; Krauss, U; Carrillo, E. 2001. Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30):7-11.
- Harvey, CA; González, J. 2007. Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodiversity Conservation* 16:2257-2292.
- Harvey, CA; González, J; Somarriba, E. 2006. Dung beetle and terrestrial mammal diversity in forests, indigenous agroforestry systems and plantain monocultures in Talamanca, Costa Rica. *Biodiversity and Conservation* 15:555-585.
- Orozco, L; Villalobos, M; Ortiz, A; Riascos, L; Méndez, J; Sánchez, V. 2007. Caracterización y diagnóstico de las fincas indígenas de Talamanca. *Agroforestería en las Américas. En este número*.
- Puri, S; Nair, PKR. 2004. Agroforestry research for development in India: 25 years of experience of a national program. *Agroforestry Systems* 61-62(1-3): 437-452.
- Rainforest Alliance (RFA). 2006. Diseño de una estrategia de comercialización, certificación y monitoreo de carbono fijado en fincas agroforestales de los territorio indígenas Bribri y Cabécar. San José, CR, CATIE. 42 p. (Informe de consultoría).
- Reitsma, R; Parrish, JD; McLarney, W. 2001. The role of cacao plantations in maintaining forest avian diversity in southeastern Costa Rica. *Agroforestry Systems* 53:185-193.
- Segura, M. 2005. Estimación de carbono almacenado y fijado en sistemas agroforestales indígenas con cacao en la zona de Talamanca, Costa Rica. Proyecto Captura de Carbono y desarrollo de mercados ambientales en sistemas agroforestales indígenas con cacao en CR. Turrialba, CR, CATIE. 147 p. (Informe de consultoría).
- Segura, M; Andrade, H. 2007. ¿Cómo estimar rápidamente el carbono almacenado en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales indígenas de Talamanca, Costa Rica? *Agroforestería en las Américas. En este número*.
- Somarriba, E; Trivelato, M; Villalobos, M; Suárez, A; Benavides, P; Morán, K; Orozco L; López, A. 2003. Diagnóstico agroforestal de pequeñas fincas cacaoteras orgánicas de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38):24-30.
- Somarriba, E; Harvey, C. 2003. ¿Cómo integrar producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaotales indígenas? *Agroforestería en las Américas* 10(37-38):12-17.
- Somarriba, E; Trujillo, L; Stoian, D; Palencia, G; Cancari, F; Trujillo, G; Cuaquira, J; Mendieta, V; Aguirre, F; July, W; Huanca, E; Mamani, J; Flores, R; Castro, G; Zelada E. 2005. ¿Cómo modernizar la cadena del cacao del Alto Beni, Bolivia? *Agroforestería en las Américas* 43/44:15-19.
- Somarriba, E; Quesada, F. 2005. El diseño y manejo de la sombra en el cacaotal. Serie Técnica. Turrialba, CR, CATIE. 55 p. (Serie Técnica, Manual Técnico no. 59).
- Somarriba, E; Quesada, F; Villalobos, M. 2006. La captura de carbono: un servicio ambiental en fincas cacaoteras indígenas. Turrialba, CR, CATIE. 28 p. (Serie Técnica, Manual Técnico no. 64).
- Suárez, A; Somarriba, E. 2001. Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca. *Agroforestería en las Américas* 9(35-36):50-54.
- Swamy, SL; Puri, S. 2005. Biomass production and C-sequestration of *Gmelina arborea* in plantation and agroforestry system in India. *Agroforestry Systems* 64:181-185.
- UNFCCC (United Nations Conference on Climate Change). 2003. Glossary of CDM terms (Version 03, EB 36 Annex 32) (en línea). Consultado 18 feb 2008. Disponible en <http://cdm.unfccc.int/Reference/Guidclarif/index.html>.

¿Cómo hacerlo?

¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?

Milena Segura¹; Hernán J. Andrade¹

RESUMEN

Los modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono (VBC) ayudan a estimar el almacenamiento de carbono en sistemas forestales y agroforestales. Este artículo presenta una guía práctica para la construcción de modelos alométricos de VBC de árboles individuales de especies leñosas perennes (árboles, arbustos y palmas). Este proceso comprende: (i) selección del sitio y de las especies, (ii) estimación del tamaño de la muestra, (iii) selección de los individuos por muestrear, (iv) corte, medición y pesaje de los individuos muestreados, (v) prueba de modelos genéricos, y (vi) selección de los mejores modelos alométricos. Este artículo presenta algunos ejemplos de modelos de biomasa desarrollados para sistemas agroforestales con cacao o café, sistemas silvopastorales, bosques manejados y plantaciones forestales.

Palabras claves: análisis de regresión, árboles, arbustos, componentes de biomasa, gravedad específica, índice de Furnival, palmas, PRESS.

INTRODUCCIÓN

Las metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del Protocolo de Kyoto (1997) crearon un mercado de créditos de carbono para alcanzar los objetivos antes del año 2012 (IPCC 2003). Los GEI podrían reducirse mediante la disminución de las emisiones de CO₂ y el incremento de los sumideros terrestres. El servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en los ecosistemas forestales y agroforestales es un mecanismo aprobado en el Protocolo de Kyoto para la reducción de los GEI en la atmósfera (Vine et al. 1999, IPCC 2003). Los créditos de carbono provenientes de los proyectos de uso del suelo, cambio de uso del suelo y forestería (LULUCF, por sus siglas en inglés) representan sólo el 1% del mercado global,

How to develop biomass models of woody perennials species

ABSTRACT

The allometric models of volume, biomass or carbon (VBC) support the estimation of carbon storage in forests and agroforestry systems. This paper presents a practical guide for the construction of allometric models of VBC for individual trees of woody perennial species (trees, shrubs and palms). The process comprises: (i) selection of site and species, (ii) estimation of sample size, (iii) cutting, measuring and weighing of sampled individuals, (iv) measurement of allometric variables for the individuals selected, (v) testing generic models, and (vi) selecting the best allometric models. This paper presents some examples of biomass models developed for agroforestry systems with cacao or coffee, silvopastoral systems, managed forests and forestry plantations.

Keywords: biomass components, Furnival index, palms, PRESS, regression analysis, shrubs, specific gravity, trees.

pero proveen beneficios financieros a la comunidad y sus costos son competitivos (Capoor y Ambrosi 2007). La agroforestería podría ser una opción financieramente viable para generar créditos de carbono (Albrecht y Kandji 2003)

En proyectos forestales y agroforestales de fijación de carbono es fundamental el desarrollo de modelos alométricos locales para estimar el carbono almacenado en los árboles, arbustos y palmas (Somarriba y Beer 1987, Andrade e Ibrahim 2003, IPCC 2003, Pérez y Kanninen 2003, Segura y Kanninen 2005, Segura et al. 2006). En este artículo se presenta una guía práctica para desarrollar modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono (VBC) de árboles, arbustos y palmas (AAP).

¹ Investigadores del Grupo Temático Cacao, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Correos electrónicos: msegura@catie.ac.cr, handrade@catie.ac.cr.

Cuadro 1. Algunos modelos de biomasa aérea total desarrollados para Costa Rica y Nicaragua

País	Especie	Modelo	R ² ajustado	Fuente
Sistemas silvopastoriles (Costa Rica)				
	<i>Acacia mangium</i>	$B = 3,4 + 0,064 \cdot \text{dap}^2 + 1,0 \cdot h$	0,99	Andrade (1999)
	<i>Eucalyptus deglupta</i>	$B = 4,2 + 0,052 \cdot \text{dap}^2 + 1,1 \cdot h$	0,99	Andrade (1999)
	<i>Pithecellobium saman</i> , <i>Dalbergia retusa</i> y <i>Diphysa robinoides</i>	$B = 10^{-1,56 + 2,05 \log(\text{dcm}) + 1,18 \log(h)}$	0,92	Andrade (2007)
Plantación pura (Costa Rica)				
	<i>Tectona grandis</i>	$B = 10^{-0,82 + 2,38 \log(\text{dap})}$	0,97	Pérez y Kanninen (2003)
Sistemas agroforestales				
Costa Rica				
	Frutales	$B = 10^{-1,11 + 2,64 \log(\text{dap})}$	0,95	
	<i>Theobroma cacao</i>	$B = 10^{-1,625 + 2,63 \log(d_{15})}$	0,98	Andrade et ál. (en preparación)
	<i>Cordia alliodora</i>	$B = 10^{-0,51 + 2,08 \log(\text{dap})}$	0,92	
	Latizales (dap < 10 cm)	$B = 10^{-1,27 + 2,20 \log(\text{dap})}$	0,88	
Nicaragua				
	<i>Coffea arabica</i>	$B = 10^{-1,0 + 2 \log(d_{15}) + 0,54 \log(h)}$	0,95	
		$B = 10^{-1,2 + 2,1 \log(d_{15})}$	0,94	Segura et ál (2006)
	<i>Inga punctata</i> , <i>Inga tonduzii</i> , <i>Cordia alliodora</i> , <i>Juglans olanchana</i>	$B = 10^{-1,0 + 2,3 \log(\text{dap})}$	0,94	
Bosque (Costa Rica)				
	Siete especies	$B = e^{-7,3 + 2,1 \ln(\text{dap})} \cdot 1000$	0,71	Segura y Kanninen (2005)

Notas. R² ajustado = coeficiente de determinación ajustado. B = biomasa aérea total (kg árbol⁻¹), dap = diámetro a la altura de pecho (cm); h = altura total (m); log = logaritmo base 10; dcm = diámetro cuadrático medio a una altura de 30 cm, d₃₀ = diámetro del tronco a 30 cm de altura (cm) d₁₅ = diámetro del tronco a 15 cm de altura (cm); ln = logaritmo natural (base e).

¿QUÉ ES UN MODELO ALOMÉTRICO?

Los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas que permiten estimar el VBC de AAP en función de unas pocas variables de fácil medición, tales como el diámetro del tronco a la altura del pecho (dap) y/o la altura total (Loetsch et ál. 1973, Caillez 1980, Husch et ál. 1982, Parresol 1999). Algunos de los modelos de biomasa desarrollados en Costa Rica y Nicaragua se detallan en el Cuadro 1.

Desarrollo de modelos alométricos de VBC

La construcción de modelos alométricos de VBC para AAP conlleva los siguientes pasos:

1. Definición del ecosistema y selección de las especies de interés

Una vez definido el ecosistema para el cual se desarrollarán los modelos alométricos (sistemas agroforestales, plantaciones o bosques), se definen las especies de interés. Algunos autores han definido las especies, en caso de ecosistemas mixtos, de acuerdo con su dominancia (Suárez et ál. 2004, Segura y Kanninen 2005, Segura et ál. 2006).

1. Determinación del tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra estará dado por la variabilidad de VBC (o del dap) de la población y sitios seleccionados, así como de las condiciones del sitio.

a. Selección de sitios (estratificación). En el caso de sitios con diferentes condiciones topográficas, edáficas, climáticas, de zonas de vida, edad, manejo y especies, se estratifica agrupando los sitios con condiciones similares y muestreando dentro de cada grupo.

b. Variación del dap o de VBC por individuo. Se recomienda muestrear al menos 30 árboles distribuidos en todo el rango de dap, divididos en clases diamétricas, y equitativamente entre clases.

1. Selección de individuos por muestrear

Los individuos seleccionados para cortar, medir y pesar deben ser "típicos" de la especie y del sitio. El término "típico" se refiere a que los individuos deben tener la forma, sanidad del fuste y volumen de copa de la población muestreada.

1. *Medición, corte y estimación de VBC por árbol*

a. Medición de variables dasométricas de los individuos en pie. Una vez seleccionados los árboles por cortar, se debe medir con la mayor precisión posible el dap o a otra altura de referencia (por ejemplo 15 ó 30 cm) la altura total (h_t), la altura comercial (h_c) y el diámetro de copa (m) de cada árbol. Estas variables se utilizan para construir ecuaciones de regresión que estiman el VBC por árbol. En el análisis de regresión $y = f(x)$, y se llama variable dependiente (VBC) y a x se llama variable independiente (dap, h) (Steel y Torrie 1988).

El dap se mide con cinta diamétrica, forcípula o cinta métrica; en este último caso, se transforman los valores de circunferencia a diámetro dividiendo entre la constante $\pi = 3,1416$. Las alturas se pueden medir con vara telescópica (árboles con $h \leq 15$ m) ó con clinómetro y cinta métrica. El diámetro de copa se mide con cinta métrica, promediando dos mediciones perpendiculares de la proyección vertical de las copas sobre el suelo. El área de copa es estimada como el área de un círculo cuyo diámetro (D) es el diámetro promedio de copa. El área del círculo (A_c) se calcula mediante la fórmula $A_c = \pi * D^2 = 0,7854 * D^2$.

b. Corte de los individuos seleccionados. Los individuos seleccionados deben ser cortados y luego, sobre el suelo, se miden la altura total y comercial. Se recomienda cortar los árboles que se puedan medir y pesar inmediatamente, ya que el proceso de senescencia y descomposición es acelerado y afecta el cálculo de VBC.



Figura 1. Corte de árboles y separación por componentes de biomasa en Talamanca, Costa Rica (foto: Simiane Gregoire-Valentini).



Figura 2. Peso fresco de ramas pequeñas en bosques manejados de Nueva Quesada, Nicaragua (foto: Outi Myatt-Hirvonen).

c. Peso y medición de los componentes y toma de muestras para análisis en laboratorio. Se definen las secciones (o componentes) en que se dividirá y cuantificará el VBC de los individuos seleccionados. Se recomienda separar el árbol en fuste y ramas grandes (diámetro > 25 cm, o según la capacidad de la balanza); ramas pequeñas (diámetro ≤ 25 cm); y hojas, flores y frutos (si se presentaran; Figura 1).

Normalmente, la biomasa por componentes se pesa en fresco (peso húmedo) (Figura 2) y se toma una muestra de unos 200 g para secar en horno y estimar su contenido de materia seca (60 °C durante 48-72 h). La biomasa se expresa en peso seco (Ecuación 1).

$$B = \frac{P_f \times M_s}{100} \quad [1]$$

donde:

- B = biomasa (kg)
- P_f = peso fresco (kg)
- M_s = materia seca (%)

La biomasa del fuste y de las ramas grandes se puede estimar también mediante cubicación, aunque esta es menos precisa que el pesaje directo de la biomasa. En la cubicación, se estima el volumen de la madera dividiendo el fuste y las ramas en trozas a las que se mide el diámetro en ambos extremos cada cierta longitud (ej. 1, 2 ó 2,5 m). Con estas mediciones se calcula el volumen de cada troza de acuerdo a la fórmula de Smalian y/o Huber (Ecuaciones 2 y 3; Loestch et ál. 1973). El volumen total del fuste y de las ramas grandes se obtiene

sumando los volúmenes de las trozas medidas en cada componente.

$$V = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times \left(\frac{D_1^2 + D_2^2}{2}\right) \times L \quad [2]$$

$$V = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D_{centro}^2 \times L \quad [3]$$

donde:

- V = volumen de la troza o sección (m³)
- D_1^2 y D_2^2 = diámetros al cuadrado de los extremos de la troza (cm)
- D_{centro}^2 = diámetro al cuadrado en el centro de la troza (cm)
- L = longitud de la troza o sección (m)

El volumen de madera se multiplica por la gravedad específica de la madera para estimar la biomasa (Ecuación 4). La gravedad específica es el peso de un bloque de madera secado al horno dividido entre el peso de un volumen igual de agua (Panshin y Zeeuw 1970). Se toma una muestra de madera por componente (fuste y ramas grandes) para estimar la gravedad específica utilizando el método de *bouyancy* o inmersión en agua destilada (ASTM 1983). También se puede tomar un bloque de madera de 5 × 5 × 15 cm (ASTM 1984) y secar en horno a 60 °C hasta peso seco constante.

$$B = V \times g_e \quad [4]$$

donde:

- B = biomasa (t)

V = volumen (m³)

g_e = gravedad específica (t m⁻³)

d. Organización de los datos y correlación entre variables. Se debe organizar la información en un cuadro, con una fila por individuo, detallando en las columnas las mediciones de todas las variables independientes (dap, h_r , h_c , área de copa) y dependientes (VBC o por componente). Luego, se grafica el VBC contra cada variable independiente para ver las tendencias de los datos y definir cuáles modelos de regresión utilizar, ya sean modelos lineales o no (Walpole y Myers 1992).

1. *Selección de los mejores modelos alométricos*

a. Definición de las variables y prueba de supuestos estadísticos. Los datos que se utilizarán en el análisis de regresión deben cumplir los supuestos de normalidad, independencia y homogeneidad de varianzas. En caso de no cumplirse algunos de ellos, entonces se transforman las variables usando logaritmos (naturales y en base 10), potencias y raíces. Walpole y Myers (1992) indican que una gráfica de valores observados en función de la variable independiente (x) puede indicar la necesidad de transformar los datos. Cuando no sea posible linealizar mediante transformaciones, se usarán modelos de regresión no lineal.

Las variables independientes se seleccionan con base en los más altos coeficientes de correlación de Pearson (r) con VBC (Steel y Torrie 1988). Los valores de 1 y -1 indican una perfecta correlación lineal o una perfecta relación funcional entre las dos variables, positiva y negativa, respectivamente. Se espera una alta correlación entre el dap y VBC de fustes y ramas; no así entre el dap y la biomasa de hojas o ramas pequeñas.

Cuadro 2. Ecuaciones alométricas genéricas más empleadas para la estimación de volumen, biomasa o carbono (VBC) de árboles, arbustos y palmas

Nombre	Ecuación
Berkhout	$VBC = a + b \cdot dap$
Kopezky	$VBC = a + b \cdot dap^2$
Hohenadl - Krenn	$VBC = a + b \cdot dap + c \cdot dap^2$
Husch	$\ln VBC = a + b \cdot \ln dap$
Spurr	$VBC = a + b \cdot dap^{2 \cdot h}$
Stoate	$VBC = a + b \cdot dap^2 + c \cdot dap^{2 \cdot h} + d \cdot h$
Meyer	$VBC = a + b \cdot dap^2 + c \cdot dap \cdot h + d \cdot dap^{2 \cdot h}$
Schumacher-Hall	$\ln VBC = a + b \cdot \ln dap + c \cdot \ln^4 h$

Fuente: Loetsch et al. (1973).

Notas: VBC = volumen (m³ árbol⁻¹), biomasa (kg árbol⁻¹) o carbono (kg árbol⁻¹), dap = diámetro a la altura de pecho (o a otra altura de referencia, cm), h = altura total o comercial (m), a, b, c, d = parámetros del modelo, ln = logaritmo base e.

b. Estimación de parámetros de modelos genéricos La literatura (Loetsch et ál. 1973) recomienda varios modelos alométricos genéricos (Cuadro 2).

c. Selección del modelo de mejor ajuste a los datos Se deben considerar los siguientes criterios:

- Alto coeficiente de determinación ajustado (R^2 -ajust.): el coeficiente de determinación (R^2) indica la proporción de la variación total observada en la variable dependiente explicada por el modelo. El R^2 -ajust. es una variante del R^2 que no necesariamente aumenta al incluir una variable independiente adicional en el modelo, debido a que penaliza la inclusión de nuevas variables independientes. Si la variable independiente ingresada es significativa, el R^2 -ajust. será cercano al R^2 ; en caso contrario, el R^2 -ajust. disminuirá respecto al R^2 . Cuanto más cercanos a 1 sean R^2 o R^2 -ajust, el ajuste del modelo será mayor.
- Error estándar de la estimación o raíz del cuadrado medio del error (RCME): se calcula empleando la Ecuación 5 y se busca el menor valor posible. Cuanto menor sea el RCME, el ajuste del modelo será mayor.

$$RCME = \sqrt{SCR / (n - p)} \quad [5]$$

donde:

- SCR = suma del cuadrado de los residuos
- n = número de observaciones
- p = número de parámetros del modelo lineal (incluyendo el término β_0 , el intercepto)

Los dos estadígrafos anteriores no permiten la comparación entre modelos con variables transformadas y sin transformar, ni permiten comparar visualmente los valores estimados y observados en la medición de los árboles. Por esta razón, es necesario calcular otros indicadores, tales como:

- el índice de Furnival (IF), que permite comparar modelos lineales con aquellos donde la variable dependiente es transformada. Se calcula empleando la Ecuación 6 (Furnival 1961). El IF en modelos sin transformar es igual al error

Cuadro 3: Recíprocos de la primera derivada de las variables dependientes transformadas para el cálculo del índice de Furnival

Variable dependiente transformada	$(B')^{-1}$
$\log(B)$	$2.3026 \cdot B$
$\ln(B)$	B
B^k	$1/(kB^{k-1})$
$1/B$	$-B^2$
\sqrt{B}	$2B^{1/2}$

Fuente: Adaptada y complementada de Alder (1980)

estándar de la estimación (raíz del cuadrado medio del error - RCME). Cuanto más pequeño es el IF mejor es el ajuste del modelo.

$$IF = RCME \times \text{anti log} \left(\frac{\sum (\log((B')^{-1}))}{n} \right) \quad [6]$$

donde:

- IF = índice de Furnival
- $RCME$ = raíz cuadrada del cuadrado medio del error
- $(B')^{-1}$ = recíproco de la primera derivada de la variable dependiente (transformada)

El Cuadro 3 lista los recíprocos de la derivada de algunas de las transformaciones más comúnmente utilizadas en el ajuste de modelos alométricos de VBC. El Cuadro 4 presenta un ejemplo detallado de cómo calcular el índice de Furnival de algunos modelos de biomasa con la variable dependiente transformada.

- El estadígrafo *PRESS*, la suma de cuadrados de los residuos de los predichos, se calcula con la siguiente fórmula (Clutter et ál. 1983):

$$PRESS = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_{ip}^*)^2 \quad [7]$$

donde:

- $PRESS$ = suma de cuadrados de los residuos de los predichos
- Y_i = valor observado
- \hat{Y}_{ip}^* = valor predicho

Debido a que existen cuatro ó cinco indicadores para la selección de los modelos, se sugiere calificar cada modelo de acuerdo a cada indicador (uno al mejor modelo,

Cuadro 4. Ejemplo del cálculo del índice de Furnival usando datos ficticios

Dap (cm)	Biomasa total (kg)	Altura total (m)	Log(B') ⁻¹			
			Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
12,9	62,4	18,5	0,0	1,8	2,2	1,2
13,8	128,3	17,3	0,0	2,1	2,5	1,4
18,5	118,0	16,0	0,0	2,1	2,4	1,3
21,8	568,2	28,9	0,0	2,8	3,1	1,7
24,8	218,8	20,1	0,0	2,3	2,7	1,5
29,5	349,0	26,2	0,0	2,5	2,9	1,6
31,6	420,3	27,2	0,0	2,6	3,0	1,6
35,1	548,3	25,7	0,0	2,7	3,1	1,7
34,9	495,4	21,3	0,0	2,7	3,1	1,6
48,0	1245,3	37,4	0,0	3,1	3,5	1,8
45,4	1139,6	24,4	0,0	3,1	3,4	1,8
46,9	1804,6	36,5	0,0	3,3	3,6	1,9
47,7	998,4	25,5	0,0	3,0	3,4	1,8
50,3	1616,0	40,1	0,0	3,2	3,6	1,9
52,3	1691,6	32,5	0,0	3,2	3,6	1,9
56,5	1500,0	34,1	0,0	3,2	3,5	1,9
59,9	2706,5	41,6	0,0	3,4	3,8	2,0
64,5	2307,6	36,9	0,0	3,4	3,7	2,0
68,1	2003,1	35,3	0,0	3,3	3,7	2,0
75,2	3329,2	37,8	0,0	3,5	3,9	2,1
$\sum \log(B')^{-1}$			0,0	57,3	64,6	34,7
RCME			300,4	0,3	0,1	4,2
$\left(\frac{\sum (\log(B')^{-1})}{n} \right)$			0,0	2,9	3,2	1,7
$\text{anti log} \left(\frac{\sum (\log(B')^{-1})}{n} \right)$			1,0	733,7	1689,3	54,2
$IF = RCME \times \text{anti log} \left(\frac{\sum (\log(B')^{-1})}{n} \right)$			300,4	242,1	236,5	224,8

Notas: Modelos = 1. $B = a + b \cdot \text{dap}^2$, 2. $\ln(B) = a + b \cdot \text{dap} + c \cdot h$, 3. $\log(B) = a + b \cdot \ln(\text{dap})$, 4. $\sqrt{B} = a + b \cdot \text{dap}$. RCME: raíz del cuadrado medio del error; IF: índice de Furnival.

Cuadro 5. Ejemplo del método para seleccionar el modelo de biomasa considerando cuatro estadígrafos (datos ficticios)

Modelo	CME		R^2 ajustado		PRESS		IF		Calificación total
	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	
$\log(B) = -1,71 + 2,02 \cdot \log(d_{30}) + 1,16 \cdot \log(h)$	0,02	1	0,98	1	0,97	1	1,54	3	6
$\log(B) = -1,70 + 2,73 \cdot \log(d_{30})$	0,03	2	0,97	4	1,24	2	1,79	5	13
$\ln(B) = -3,67 + 1,54 \cdot \ln(d_{30}) + 1,06 \cdot \ln(h) + 0,40 \cdot \ln(a_c)$	0,10	7	0,98	3	5,76	8	1,51	1	19
$\ln(B) = -3,94 + 2,02 \cdot \ln(d_{30}) + 1,16 \cdot \ln(h)$	0,10	8	0,98	2	5,13	7	1,54	2	19
$\log(B) = -1,51 + 0,87 \cdot \log(d_{30} \cdot a_c) + 1,09 \cdot \log(h)$	0,03	3	0,97	6	1,34	4	1,81	6	19
$\ln(B) = -3,91 + 2,73 \cdot \ln(d_{30})$	0,14	9	0,97	5	6,58	9	1,79	4	27
$\log(B) = -1,31 + 0,31 \cdot d_{30} - 0,01 \cdot d_{30}^2$	0,04	5	0,96	9	1,84	5	2,10	9	28

Notas: B = biomasa aérea total (kg árbol⁻¹), d_{30} = diámetro a 30 cm de altura (cm), h = altura total (m), a_c = área de copa (m²). CME = cuadrado medio del error, R^2 ajustado = coeficiente de determinación ajustado, PRESS = suma de los cuadrados de los residuos, IF = índice de Furnival

el dos al segundo mejor y así sucesivamente). Luego, se suman las calificaciones de los cuatro indicadores evaluados para cada modelo. El modelo con menor suma es probablemente la mejor selección (Cuadro 5).

d. Comparación de observaciones reales contra las estimaciones de los mejores modelos. Una vez seleccionados los modelos de mejor ajuste, se grafican los valores estimados (x) para cada modelo contra los observados en los árboles muestreados (y). La nube de puntos debería alinearse a lo largo de la recta $y = x$. La distancia vertical entre los puntos y la línea (errores en la predicción) señalan la variabilidad, la ubicación de los puntos respecto a la línea (por arriba, encima, por debajo) indican el sesgo del modelo (sobrestima, sin sesgo y subestima, respectivamente; Figura 3). En el ejemplo de la Figura 3, los modelos de mejor ajuste son el c y d, ya que los puntos caen muy cerca de la línea, mientras que los modelos a y b muestran sesgos sistemáticos en la distribución de los residuos, ya que siempre subestiman la biomasa de los árboles.

e. Practicidad en el uso y lógica biológica de los modelos. Es oportuno hacer un balance entre la rigurosidad estadística y la practicidad en el uso de los modelos alométricos de VBC. Se recomiendan los modelos que incluyen un máximo de dos variables independientes de fácil y precisa medición, tales como el dap y la altura total. Se debe analizar el comportamiento de los modelos seleccionados en los extremos y fuera del rango de los datos con los cuales se construyeron. Si la curva de un modelo cambia drásticamente al usarlo fuera del rango mencionado, éstos deben ser reevaluados o descartados.

Una forma de hacer este análisis es observando la lógica biológica del modelo, es decir, comparando los valores estimados por cada modelo con los valores que el investigador esperaría para esos AAP. Este caso se puede ver en la Figura 4, donde el modelo desarrollado funciona bien en el rango de 60 a 100 cm de dap (Figura 4a); sin embargo, al estimar la biomasa de árboles con un dap

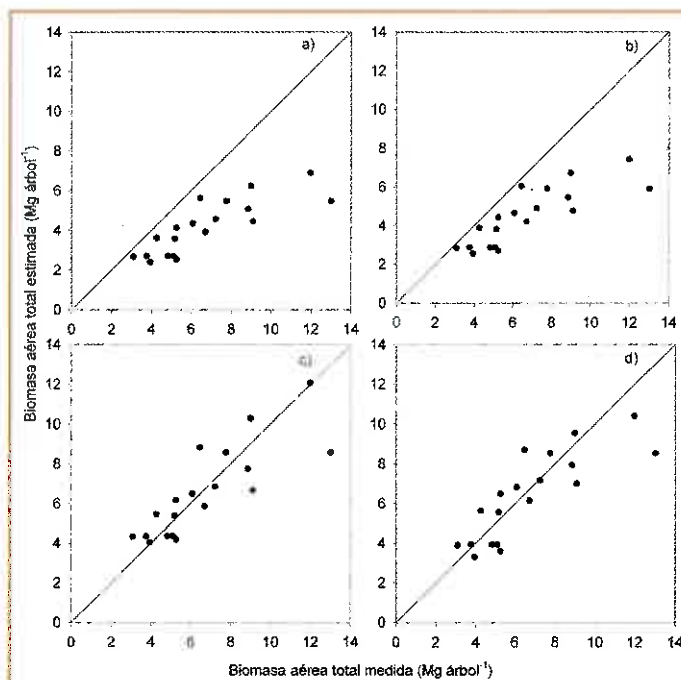


Figura 3. Comparación de la precisión de algunos modelos de biomasa aérea total. a) $B = 13,2 - 4,9 \cdot \text{dap} + 0,7 \cdot \text{dap}^2$ (Brown et ál. 1989); b) $B = 21,3 - 6,9 \cdot \text{dap} + 0,7 \cdot \text{dap}^2$ (Brown e Iverson 1992); c) $\ln(B) = 0,76 + 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot \text{dap}^2$ y d) $\ln(B) = -7,27 + 2,07 \cdot \ln(\text{dap})$ (Segura y Kanninen 2005).

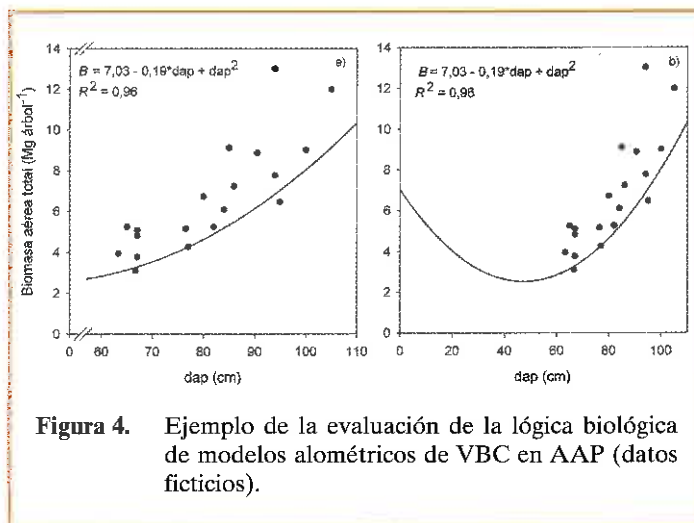


Figura 4. Ejemplo de la evaluación de la lógica biológica de modelos alométricos de VBC en AAP (datos ficticios).

menor a 60 cm se obtienen estimados ilógicos (Figura 4b). Por ejemplo, un árbol de 10 cm de dap tendría una biomasa estimada de cerca de 5,4 t, la cual es similar a la obtenida para un árbol de 85 cm de dap. Siempre es oportuno recalcar la importancia de usar los modelos en el rango de tamaño de AAP con los que se construyó el modelo.

COMENTARIOS FINALES

- El desarrollo de modelos de biomasa locales es una herramienta valiosa para proyectos de mitigación de gases efecto invernadero y para investigadores de especies leñosas perennes.
- Esta guía muestra los pasos detallados para la construcción de modelos alométricos de árboles individuales. Se presentan ejemplos de aplicaciones reales y explicaciones sencillas del cálculo de estadísticos para la selección de los modelos de mejor ajuste.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud al Proyecto Cambio de Uso de la Tierra y Flujos de Carbono en América Central (LUCCAM) de la Academia de Finlandia (Becas Número 67843 y 201566), y al Dr. Fernando Casanoves por la revisión de la parte estadística de este manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Roma, IT, Estudio FAO: Montes 22. v. 2, 80 p.
 Albrecht, A; Kandji, ST. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. Agriculture, Ecosystems and Environment 99(1-3): 15-27.
 Andrade, H. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles en el trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.

Andrade, HJ. 2007. Growth and inter-specific interactions in young silvo-pastoral systems with native timber trees in the dry tropics of Costa Rica. Tesis PhD. Turrialba, Costa Rica. CATIE-University of Wales. 224 p.
 Andrade, H; Segura, M; Somarriba, E; Villalobos, M. En preparación. Biomass equations to estimate aboveground biomass of woody components in indigenous agroforestry systems with cacao.
 ASTM. 1983. Standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. Edition D 2395-83. Philadelphia, US, ASTM. p. 353-360.
 ASTM. 1984. Standard methods of testing small clear specimens of timber. Edition D 143-83. Philadelphia, US, ASTM. 35-76 p.
 Brown, S; Gillespie, AJR; Lugo, AE. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. Forest Science 35(4):381-902.
 Brown, S; Iverson, LR. 1992. Biomass estimates for tropical forests. World Resources Review 4(3):366-383.
 Caillez, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Roma, IT, FAO. v. 1, 33 p.
 Cappor, K; Ambrosi, P. 2007. State and trends of the carbon market 2007. Washington, DC, US, The World Bank. 45 p.
 Clutter, JL; Fortson, JC; Pienaar, LV; Brister, GH; Bailey RL. 1983. Timber management: A quantitative approach. New York, US, Wiley. 333 p.
 Furnival, GM. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. Forest Science 7(4):337-341.
 Husch, B; Miller, CI; Beers, TW. 1982. Forest mensuration. New York, US, John Wiley and Sons. 402 p.
 IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry (en línea). Disponible en <http://www.ipcc-nggip-iges.or.jp>
 Loetsch, F; Zohrer, F; Haller, KE. 1973. Forest inventory. Munich, DE, BLV Verlagsgesellschaft. 469 p.
 MacDicken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, US, Winrock International. 87 p.
 Panshin, AJ; De Zeeuw, C. 1970. Textbook of wood technology. Structure, Identification, Defects, and uses of the commercial woods of the United States. New York, US, McGraw-Hill. v 1. 705 p.
 Parresol BR. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. Forest Science 45(4): 573-593.
 Pérez, LD; Kanninen, M. 2003. Aboveground biomass of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. Journal of Tropical Forest Science 15(1):199-213.
 Segura, M; Kanninen, M; Suárez, D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. Agroforestry Systems 68:143-150
 Segura, M; Kanninen, M. 2005. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. Biotropica 37(1):2-8.
 Somarriba, EJ; Beer, JW. 1987. Dimensions, volumes and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems. Agroforestry Systems 18:113-126.
 Steel, RGD; Torrie, JH. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. México, McGraw-Hill. 613 p.
 Suárez, D; Segura, M; Kanninen, M. 2004. Estimación de la biomasa aérea total en árboles de sombra y plantas de café en sistemas agroforestales en Matagalpa, Nicaragua, usando modelos alométricos. Agroforestería en las Américas 41-42: 112-119.
 Vine, E; Sathaye, J; Makundi, W. 1999. Guidelines for monitoring, evaluation, reporting, verification and certification of forestry projects for climate change mitigation. Estados Unidos, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 125 p.
 Walpole, R; Myers, R. 1992. Probabilidad y estadística. 4 ed. México, McGraw-Hill. 797 p.

¿Cómo hacerlo?

¿Cómo estimar rápidamente el carbono almacenado en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales indígenas de Talamanca, Costa Rica?

Milena Segura¹; Hernán J. Andrade¹

RESUMEN

Se presenta una metodología para la estimación rápida del carbono almacenado en la biomasa de árboles y palmas >10 cm dap, árboles <10 cm y vegetación herbácea en cuatro usos del suelo en fincas de Talamanca indígena, Costa Rica. Los usos del suelo incluyen sistemas agroforestales con cacao o con banano, platanales y charrales. Se demuestra la aplicación de la metodología con un ejemplo de cacaotales con árboles.

Palabras claves: árboles de sombra, banano, charrales, inventario, plátano, *Theobroma cacao*.

How to estimate carbon stored in the aboveground biomass of indigenous agroforestry systems of Talamanca, Costa Rica

ABSTRACT

We present a methodology to rapidly estimate carbon stored in the biomass of trees and palms with trunks greater than 10 cm in diameter, trees with a diameter of less than 10 cm and in herbaceous vegetation in four land-use systems on indigenous farms of Talamanca, Costa Rica. The land uses included agroforestry systems with cacao or with banana, plantain plantations and fallows. The application of the methodology was demonstrated using trees in cacao plantations.

Keywords: banana plantations, fallows, plantain plantations, shade trees, *Theobroma cacao*, tree inventory.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una serie de alteraciones al planeta causados por el hombre, que incluyen el aumento en la temperatura, cambios en los patrones de lluvia y el incremento en los niveles del mar (Ciesla 1996). La emisión de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera, derivado del uso de combustibles fósiles (petróleo y sus derivados) y de la deforestación y degradación de los suelos, es la principal causa de estos cambios en el clima del planeta (IPCC 2001). Las plantas, a través de la fotosíntesis, absorben el CO₂ de la atmósfera y lo fijan como carbono en su biomasa (madera, hojas, ramas, raíces). La permanencia de este carbono en la biomasa vegetal depende del ciclo de vida de las plantas. Los árboles y demás especies leñosas pueden

almacenar carbono por años en su madera. Los sistemas agroforestales (SAF), al asociar leñosas con cultivos, son una opción económica y ecológica para mitigar el cambio climático (Albrecht y Kandji 2003, Beer et ál. 2003, Swamy y Puri 2005, Andrade 2007).

En este artículo se presenta una metodología de estimación rápida del carbono en las fincas de Talamanca indígena, Costa Rica. Con esta herramienta, los productores y sus asesores técnicos podrán estimar rápidamente el carbono en pie en los usos del suelo predominantes en las fincas y ofrecer recomendaciones de manejo para incrementar el almacenamiento de carbono (Somarriba et ál. 2006).

¹ Investigadores del Grupo Temático Cacao, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Correos electrónicos: msegura@catie.ac.cr, handrade@catie.ac.cr.

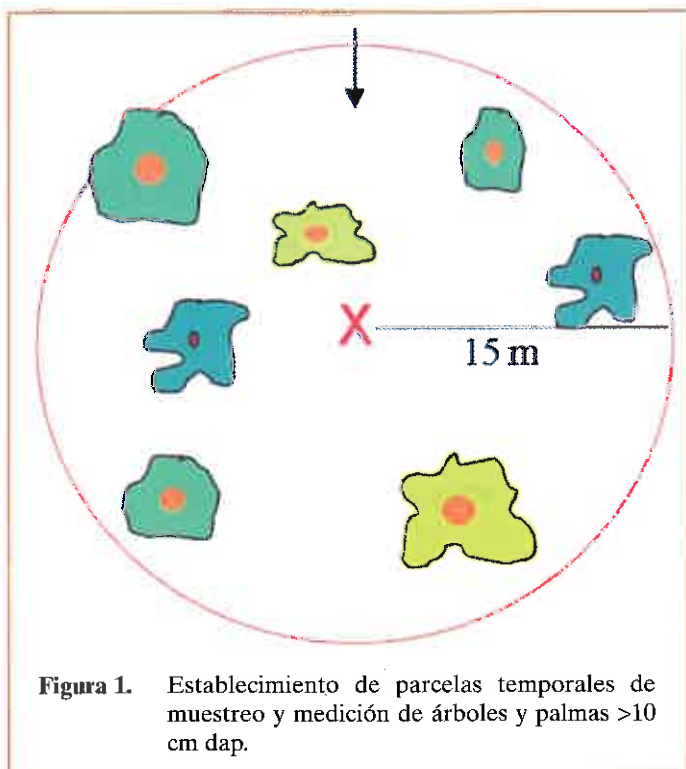


Figura 1. Establecimiento de parcelas temporales de muestreo y medición de árboles y palmas >10 cm dap.



Figura 2. Medición de árboles con dap \geq 10 cm ó circunferencia \geq 31,4 cm (foto: Simiane Grégoire-Valentini).

METODOLOGÍA

La estimación rápida del carbono se realiza en cuatro pasos:

1. Seleccione un área representativa de la parcela por evaluar (SAF con cacao, SAF con banano, plátano en monocultivo o charral).
2. Establezca una parcela de muestreo circular de 15 m de radio y marque con una estaca el punto central de la parcela (Figura 1). Mida el dap (diámetro a

la altura de pecho, a 1,3 m de altura del suelo) o la circunferencia del tronco (divida la circunferencia entre 3,14 para obtener el dap) de todos los árboles y palmas con dap \geq 10 cm (Figura 2) y anote los datos en un formulario (Formulario 1). Marque temporalmente cada planta medida para evitar re-mediciones y omisiones.

3. Calcule cuánto carbono hay almacenado en los árboles y palmas. Hay que completar cinco tareas:
 - *Tarea 1.* Clasifique cada árbol en clases de dap de 5 cm o su equivalente en circunferencia, poniendo una marca (por ejemplo, una equis) para cada árbol en la clase correspondiente en la columna de "Número de árboles" del Formulario 2.

Formulario 1. Especie y diámetro a la altura del pecho (dap) de los árboles encontrados en una parcela circular de 15 m de radio. Únicamente se miden los árboles con diámetro a la altura del pecho (dap) \geq 10 cm o su equivalente en circunferencia ($C \geq 31,4$ cm).

Uso del suelo: _____		Superficie total de la parcela: _____ ha			
Árbol No.	Especie	dap (cm)	Circunferencia (cm)	Altura de medición (m)	Observaciones
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Formulario 2. Número de árboles por clase de diámetro a la altura del pecho (dap), o su equivalente en circunferencia (C), encontrados en la parcela circular de 15 m de radio

Clase (cm)		Conteo de árboles	Total de árboles	Carbono (t ha ⁻¹)
dap	C			
10-14,9	31,4-47,0			
15-19,9	47,1-62,7			
20-24,9	62,8-78,4			
25-29,9	78,5-94,1			
30-34,9	94,2-109,9			
35-39,9	110,0-125,6			
40-44,9	125,7-141,3			
45-49,9	141,4-157,0			
50-54,9	157,1-172,7			
55-59,9	172,8-188,4			
60-64,9	188,5-204,1			
65-69,9	204,2-219,8			
70-74,9	219,9-235,5			
75-79,9	235,6-251,2			
≥80	≥ 251,3			
Constante por uso del suelo*				
TOTAL				

* Charral: 20,2. Plátano monocultivo: 3,4. Sistema agroforestal con banano: 7,1. Sistema agroforestal con cacao: 17,2. Esta constante incorpora el carbono almacenado en la vegetación herbácea y en los árboles y palmas <10 cm dap. Los datos de los Cuadros 3a - 3b solo incluyen el carbono almacenado en árboles y palmas >10 cm dap.

- **Tarea 2.** Cuente el total del número de árboles por cada clase de dap o circunferencia.
- **Tarea 3.** Busque en los Cuadros 1a-1d (uno por uso de la tierra: 1a = charral; 1b = plátano monocultivo; 1c = SAF con banano y 1d = SAF con cacao) el carbono almacenado por clase de dap y número de árboles por clase (punto donde se cruzan), y coloque el valor encontrado en el Cuadro 1 en la columna "Carbono acumulado" del Formulario 2. Por ejemplo, si estamos estimando en forma rápida el carbono en un SAF de banano con sombra (Cuadro 1c) y tenemos 6 árboles en la clase dap 40-44,9 cm, el carbono almacenado por los seis árboles en esa clase de dap es de 35,3 t ha⁻¹ de carbono. Nótese que los Cuadros 1a-1d tienen un máximo de 10 árboles por clase dap o circunferencia. En casos donde el conteo de árboles por clase excede los 10, debe hacerse el procedimiento por partes. Primero, encuentre el carbono almacenado por 10 árboles; luego, el carbono para el número de árboles restante y, por último, sume los valores.
- **Tarea 4.** Calcule el carbono total almacenado en la parcela sumando los datos de la columna "Carbono acumulado" del Formulario 2 y la

"constante por uso del suelo": 20,2 para charral; 3,4 para plátano; 7,1 para SAF con banano y 17,2 para SAF con cacao.

- **Tarea 5.** Clasifique el carbono total de la parcela según los niveles por uso del suelo presentados en el Cuadro 2.
4. Interpretar los resultados por sistema de uso de la tierra. Si una parcela de SAF con cacao o SAF con banano o platanales presenta niveles bajos o muy bajos de carbono, es posible incrementar el carbono hasta el nivel medio introduciendo más árboles a la parcela, sin causar una disminución de la producción del cultivo agrícola. En caso de encontrarse en el nivel medio o alto, este sistema ya contiene el máximo potencial de acumulación de carbono.

EJEMPLO: ESTIMACIÓN DE CARBONO ALMACENADO EN SAF CON CACAO

Se estima en forma rápida el carbono almacenado en un SAF con cacao con un área total de 1,5 ha. Una vez ubicada la parcela y medido el dap de todos los árboles, los datos se anotaron en el Formulario 3.

Los árboles se asignan por clase de dap o circunferencia y buscamos el valor del carbono almacenado con el total de árboles por cada clase de dap en SAF con cacao (Cuadro

Cuadro 1a. Carbono almacenado (t ha⁻¹) por clase de diámetro a la altura del pecho (dap) o su equivalente en circunferencia (C) y número de árboles por clase en charrales de Talamanca indígena, Costa Rica

Clase (cm)	Carbono almacenado										
	C	Número de árboles por clase									
dap	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10-14,9	31,4-47,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
15-19,9	47,1-62,7	1,0	2,0	2,9	3,9	4,9	5,9	6,9	7,8	8,8	9,8
20-24,9	62,8-78,4	1,6	3,2	4,9	6,5	8,1	9,7	11,4	13,0	14,6	16,2
25-29,9	78,5-94,1vw	2,4	4,9	7,3	9,7	12,1	14,6	17,0	19,4	21,9	24,3
30-34,9	94,2-109,9	3,4	6,8	10,2	13,6	17,0	20,4	23,7	27,1	30,5	33,9
35-39,9	110,0-125,6	4,5	9,0	13,6	18,1	22,6	27,1	31,6	36,2	40,7	45,2
40-44,9	125,7-141,3	5,8	11,6	17,4	23,2	29,0	34,8	40,6	46,4	52,3	58,1
45-49,9	141,4-157,0	7,3	14,5	21,8	29,0	36,3	43,5	50,8	58,0	65,3	72,5
50-54,9	157,1-172,7	8,9	17,7	26,6	35,5	44,3	53,2	62,0	70,9	79,8	88,6
55-59,9	172,8-188,4	10,6	21,3	31,9	42,5	53,2	63,8	74,4	85,1	95,7	106,3
60-64,9	188,5-204,1	12,6	25,1	37,7	50,3	62,8	75,4	88,0	100,5	113,1	125,7
65-69,9	204,2-219,8	14,7	29,3	44,0	58,6	73,3	88,0	102,6	117,3	131,9	146,6
70-74,9	219,9-235,5	16,9	33,8	50,7	67,6	84,6	101,5	118,4	135,3	152,2	169,1
75-79,9	235,6-251,2	19,3	38,7	58,0	77,3	96,6	116,0	135,3	154,6	173,9	193,3
≥ 80	≥ 251,3	21,7	43,5	65,2	87,0	108,7	130,5	152,2	173,9	195,7	217,4
Constante por uso del suelo							20,2				

Cuadro 1b. Carbono almacenado (t ha⁻¹) por clase de diámetro a la altura del pecho (dap) o su equivalente en circunferencia (C) y número de árboles por clase en plátano monocultivo en Talamanca indígena, Costa Rica

Clase (cm)	Carbono almacenado										
	C	Número de árboles por clase									
dap	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10-14,9	31,4-47,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,4	3,9	4,4	4,9
15-19,9	47,1-62,7	1,0	1,9	2,9	3,9	4,8	5,8	6,8	7,7	8,7	9,7
20-24,9	62,8-78,4	1,6	3,2	4,8	6,4	8,0	9,6	11,2	12,8	14,4	16,0
25-29,9	78,5-94,1	2,4	4,8	7,2	9,6	12,0	14,4	16,8	19,2	21,5	23,9
30-34,9	94,2-109,9	3,3	6,7	10,0	13,4	16,7	20,1	23,4	26,8	30,1	33,5
35-39,9	110,0-125,6	4,5	8,9	13,4	17,8	22,3	26,7	31,2	35,7	40,1	44,6
40-44,9	125,7-141,3	5,7	11,5	17,2	22,9	28,6	34,4	40,1	45,8	51,5	57,3
45-49,9	141,4-157,0	7,2	14,3	21,5	28,6	35,8	42,9	50,1	57,2	64,4	71,5
50-54,9	157,1-172,7	8,7	17,5	26,2	35,0	43,7	52,4	61,2	69,9	78,7	87,4
55-59,9	172,8-188,4	10,5	21,0	31,5	42,0	52,4	62,9	73,4	83,9	94,4	104,9
60-64,9	188,5-204,1	12,4	24,8	37,2	49,6	62,0	74,4	86,7	99,1	111,5	123,9
65-69,9	204,2-219,8	14,5	28,9	43,4	57,8	72,3	86,7	101,2	115,7	130,1	144,6
70-74,9	219,9-235,5	16,7	33,4	50,0	66,7	83,4	100,1	116,8	133,4	150,1	166,8
75-79,9	235,6-251,2	19,1	38,1	57,2	76,2	95,3	114,4	133,4	152,5	171,5	190,6
≥ 80	≥ 251,3	21,4	42,9	64,3	85,8	107,2	128,7	150,1	171,5	193,0	214,4
Constante por uso del suelo							3,4				

Cuadro 1c. Carbono almacenado ($t\ ha^{-1}$) por clase de diámetro a la altura del pecho (dap) o su equivalente en circunferencia (C), y número de árboles por clase, en sistema agroforestal con banano en Talamanca indígena, Costa Rica

Clase (cm)	Carbono almacenado										
	C	Número de árboles por clase									
dap	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10-14,9	31,4-47,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,1	4,6	5,1
15-19,9	47,1-62,7	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	9,9
20-24,9	62,8-78,4	1,6	3,3	4,9	6,6	8,2	9,9	11,5	13,2	14,8	16,5
25-29,9	78,5-94,1	2,5	4,9	7,4	9,8	12,3	14,8	17,2	19,7	22,2	24,6
30-34,9	94,2-109,9	3,4	6,9	10,3	13,8	17,2	20,6	24,1	27,5	31,0	34,4
35-39,9	110,0-125,6	4,6	9,2	13,7	18,3	22,9	27,5	32,1	36,6	41,2	45,8
40-44,9	125,7-141,3	5,9	11,8	17,7	23,5	29,4	35,3	41,2	47,1	53,0	58,9
45-49,9	141,4-157,0	7,4	14,7	22,1	29,4	36,8	44,1	51,5	58,8	66,2	73,5
50-54,9	157,1-172,7	9,0	18,0	27,0	35,9	44,9	53,9	62,9	71,9	80,9	89,9
55-59,9	172,8-188,4	10,8	21,6	32,3	43,1	53,9	64,7	75,5	86,2	97,0	107,8
60-64,9	188,5-204,1	12,7	25,5	38,2	51,0	63,7	76,4	89,2	101,9	114,7	127,4
65-69,9	204,2-219,8	14,9	29,7	44,6	59,4	74,3	89,2	104,0	118,9	133,7	148,6
70-74,9	219,9-235,5	17,1	34,3	51,4	68,6	85,7	102,9	120,0	137,2	154,3	171,5
75-79,9	235,6-251,2	19,6	39,2	58,8	78,4	98,0	117,6	137,2	156,8	176,3	195,9
≥ 80	≥ 251,3	22,0	44,1	66,1	88,2	110,2	132,3	154,3	176,3	198,4	220,4
Constante por uso del suelo											7,1

Cuadro 1d. Carbono almacenado ($t\ ha^{-1}$) por clase de diámetro a la altura del pecho (dap) o su equivalente en circunferencia (C), y número de árboles por clase, en sistema agroforestal con cacao en Talamanca indígena, Costa Rica

Clase (cm)	Carbono almacenado										
	C	Número de árboles por clase									
dap	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10-14,9	31,4-47,0	0,5	1,0	1,6	2,1	2,6	3,1	3,7	4,2	4,7	5,2
15-19,9	47,1-62,7	1,0	2,1	3,1	4,1	5,1	6,2	7,2	8,2	9,3	10,3
20-24,9	62,8-78,4	1,7	3,4	5,1	6,8	8,5	10,2	11,9	13,6	15,3	17,0
25-29,9	78,5-94,1	2,5	5,1	7,6	10,2	12,7	15,3	17,8	20,4	22,9	25,5
30-34,9	94,2-109,9	3,6	7,1	10,7	14,2	17,8	21,3	24,9	28,5	32,0	35,6
35-39,9	110,0-125,6	4,7	9,5	14,2	18,9	23,7	28,4	33,2	37,9	42,6	47,4
40-44,9	125,7-141,3	6,1	12,2	18,3	24,3	30,4	36,5	42,6	48,7	54,8	60,9
45-49,9	141,4-157,0	7,6	15,2	22,8	30,4	38,0	45,6	53,2	60,8	68,4	76,0
50-54,9	157,1-172,7	9,3	18,6	27,9	37,2	46,5	55,8	65,0	74,3	83,6	92,9
55-59,9	172,8-188,4	11,1	22,3	33,4	44,6	55,7	66,9	78,0	89,2	100,3	111,5
60-64,9	188,5-204,1	13,2	26,3	39,5	52,7	65,9	79,0	92,2	105,4	118,6	131,7
65-69,9	204,2-219,8	15,4	30,7	46,1	61,5	76,8	92,2	107,6	122,9	138,3	153,7
70-74,9	219,9-235,5	17,7	35,5	53,2	70,9	88,6	106,4	124,1	141,8	159,6	177,3
75-79,9	235,6-251,2	20,3	40,5	60,8	81,0	101,3	121,6	141,8	162,1	182,3	202,6
≥ 80	≥ 251,3	22,8	45,6	68,4	91,2	114,0	136,8	159,5	182,3	205,1	227,9
Constante por uso del suelo											17,2

Cuadro 2. Clasificación de parcelas de cuatro usos del suelo según su nivel de almacenamiento de carbono. Talamanca indígena, Costa Rica

Sistemas	Nivel de carbono almacenado (t C/ha)			
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto
SAF con cacao	0 - 39,9	40 - 79,9	80 - 119,9	120 - 159,9
Charrales	0 - 32,9	33 - 65,9	66 - 98,9	99 - 131,9
SAF con banano	0 - 29,9	30 - 59,9	60 - 89,9	90 - 119,9
Platanales	0 - 7,9	8 - 15,9	16 - 23,9	24 - 31,9

Fuente: Somarriba et ál (2007)

Formulario 3. Especie y dap de los árboles encontrados en una parcela circular de 15 m de radio. Únicamente se midieron los árboles con diámetro a la altura del pecho (dap) \geq 10 cm o su equivalente en circunferencia (C \geq 31,4 cm)

Uso del suelo: cacao con árboles; superficie total de la parcela: 1,5 ha.

Árbol No.	Especie	dap (cm)	C (cm)	Altura de medición (m)	Observaciones
1	Cacao	33			
2	Laurel	80			
3	Jobo	65			
4	Guayaba	18			
5	Naranja	19			
6	Laurel	75			
7	Cedro	55			
8					
9					
10					

Formulario 4. Número de árboles por clase de diámetro a la altura del pecho (dap) o su equivalente en circunferencia (C), encontrados en la parcela

Clase (cm)		Número de árboles	Total de árboles	Carbono acumulado (t ha ⁻¹)
dap	C			
10-14,9	31,4-47,0		0	0
15-19,9	47,1-62,7	X X	2	2,1
20-24,9	62,8-78,4		0	0
25-29,9	78,5-94,1		0	0
30-34,9	94,2-109,9	X	1	3,6
35-39,9	110,0-125,6		0	0
40-44,9	125,7-141,3		0	0
45-49,9	141,4-157,0		0	0
50-54,9	157,1-172,7		0	0
55-59,9	172,8-188,4	X	1	11,1
60-64,9	188,5-204,1		0	0
65-69,9	204,2-219,8	X	1	15,4
70-74,9	219,9-235,5		0	0
75-79,9	235,6-251,2	X	1	20,3
\geq 80	\geq 251,3	X	1	22,8
Constante por uso del suelo		-	-	17,2
TOTAL		-	7	92,5

1c). En este caso, se encontraron dos árboles en la clase de dap de 15 a 19,9 cm, con un carbono acumulado de 2,1 t C/ha; un árbol en la clase de dap de 30 a 34,9 cm con 3,6 t C/ha, y así sucesivamente (Formulario 4). Añadimos al cuadro la constante por SAF con cacao (17,2) y sumamos los valores en la columna de carbono acumulado. El resultado es 92,5 t C ha⁻¹ (Formulario 4). Comparamos esta cifra con los niveles de carbono para SAF con cacao del Cuadro 2 y encontramos que la cifra de 92,5 t C ha⁻¹ corresponde a un nivel medio de carbono y, por lo tanto, no es posible incrementar su nivel de carbono introduciendo más árboles en la parcela sin afectar la producción del cacao.

COMENTARIOS FINALES

Esta metodología rápida de estimación de carbono almacenado en biomasa en fincas indígenas de Talamanca, Costa Rica, es una herramienta útil para la planificación de estrategias para el manejo de carbono en fincas.

En áreas indígenas, es indispensable que el personal local esté capacitado para realizar estimaciones de carbono en diferentes sistemas de uso del suelo en fincas. La practicidad de este método hace que sea fácilmente aplicable por promotores indígenas locales con conocimientos básicos de aritmética.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Albrecht, A; Kandji, ST. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99: 15-27.
- Andrade, HJ. 2007. Growth and inter-specific interactions in young silvopastoral systems with native timber trees in the dry tropics of Costa Rica. Thesis Ph. Turrialba, CR, CATIE-University of Wales. 224 p.
- Beer, J; Harvey, C; Ibrahim, M; Harmand, JM; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10: 80-87.
- Ciesla, WM. 1996. Cambios climático, bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto. *Estudios FAO: Montes* No. 120. 146 p.
- IPCC. 2001. *Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, 881 p.
- Somarriba, E; Quesada, F; Villalobos, M. 2006. La captura de carbono: un servicio ambiental en fincas cacaoeras indígenas. Turrialba, C.R. 28 p. (erie Técnica. Manual Técnico/CATIE no. 64)
- Somarriba, E; Andrade, HJ; Segura, M; Villalobos, M; Martínez, J. 2007. ¿Cómo fijar carbono atmosférico en fincas Bribri y Cabécar (Talamanca, Costa Rica), certificarlo y venderlo para obtener ingresos complementarios a los productores? *Agroforestería en las Américas. En esta edición.*
- Swamy, SL; Puri, S. 2005. Biomass production and C-sequestration of *Gmelina arborea* in plantation and agroforestry system in India. *Agroforestry Systems* 64:181-185.

¿Cómo hacerlo?

¿Cuántos y cuáles árboles de laurel (*Cordia alliodora*) se pueden cosechar en los cacaotales y bananales indígenas de Talamanca, Costa Rica?

Alfonso Suárez Islas¹

RESUMEN

Se presenta un protocolo y sus instrumentos para decidir cuántos árboles de laurel se pueden cortar en una parcela de cacao y banano de Talamanca indígena, Costa Rica, y qué criterios se deben tomar en cuenta para decidir cuáles árboles cortar. Las decisiones se basan en el inventario diamétrico, la salud y calidad de fuste y el crecimiento de los árboles en la parcela.

Palabras claves: crecimiento, inventario, sanidad y forma de fuste, regeneración natural, *Theobroma cacao*.

Which and how many laurel trees (*Cordia alliodora*) can be harvested in indigenous cocoa and banana farms of Talamanca, Costa Rica?

ABSTRACT

A protocol and instruments are presented to help decide how many laurel trees can be cut in cacao and banana plots in indigenous farms of Talamanca, in Costa Rica, and which criteria need to be taken into account to decide which trees to cut. The decisions are based on an inventory of trunk diameter, stem quality and tree growth in each plot.

Keywords: growth, inventory, natural regeneration, *Theobroma cacao*, trunk characteristics.

INTRODUCCIÓN

El laurel (*Cordia alliodora*) es una especie maderable importante en los cacaotales y bananales de los indígenas bribri y cabécar de Talamanca, Costa Rica. Esta especie es abundante y es la más utilizada para la construcción de casas y mobiliario en la zona. La tasa de corta de madera de laurel en los Territorios Indígenas es menor al incremento en volumen de los árboles aprovechables; es decir, el aprovechamiento es sostenible. Sin embargo, hay sobre- o subexplotación en el nivel de las parcelas individuales (Suárez 2001). La demanda de madera de laurel aumenta constantemente, debido al rápido crecimiento de la población (Borge y Castillo 1997).

El aprovechamiento de madera en los Territorios Indígenas es regulado por los gobiernos indígenas

bribri (ADITIBRI) y cabécar (ADITICA). Se conoce cuánta madera de laurel se puede aprovechar de manera sostenible en los cacaotales y bananales de la región (Suárez 2001). Sin embargo, a nivel de parcelas, se carece de un marco técnico que ayude a decidir cuántos árboles de laurel se pueden cortar en una parcela en particular y qué criterios se deben tomar en cuenta para decidir cuáles árboles cortar. En este artículo, se propone un método para decidir cuántos y cuáles árboles de laurel se pueden cosechar en las parcelas de cacao y banano en los Territorios Indígenas de Talamanca, Costa Rica.

EL LAUREL EN LOS CACAOTALES Y BANANALES DE INDÍGENAS DE TALAMANCA

Las parcelas de banano y cacao de Talamanca tienen una superficie promedio de 0,9 y 1,3 ha, respectivamen-

¹ Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Correo electrónico: alfonsosuarezislas@yahoo.com.mx

tes edades, es decir, son disetáneas (Suárez 2001). Esto se debe a tres razones: (i) la corta selectiva de árboles para aprovechar la madera, regular la sombra sobre los cultivos y sanear la plantación de árboles malformados, plagados o enfermos; (ii) la mortalidad natural por competencia, plagas, enfermedades o fenómenos naturales (vientos, rayos, inundaciones o deslizamientos de tierra); y (iii) la regeneración natural y el reclutamiento de nuevos individuos cada año. Aunque no es muy frecuente, algunos agricultores transplantan a sus parcelas brinzales (plántulas) de laurel recolectados de sitios con abundante regeneración natural.

APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE MADERA Y LA REGULACIÓN DE LA CORTA

El abastecimiento continuo de madera, sin que esto signifique la degradación irreversible del bosque (en este caso del cacaotal o bananal con árboles), se conoce como *rendimiento sostenible* (Poore 1989). Para alcanzar esta meta, se debe cortar solamente un volumen menor o igual a la tasa de acumulación de la madera en las fincas o en los bosques, de modo que las existencias de madera aprovechable de una corta a la siguiente se mantengan iguales o se incrementen. En un rodal disetáneo, esto ocurre cuando la población está compuesta por árboles de diferentes clases de edad o de diámetro, dispuestos en una proporción que gráficamente representa una estructura escalonada o en forma de J invertida (Figura 1). En esta situación, los árboles cortados o muertos de manera natural, en las clases superiores, son repuestos por árboles de la profusa regeneración natural anual o son plantados por el productor. La corta sostenible de laurel en el cacaotal o bananal se regula decidiendo cuántos y cuáles árboles cortar.

La aplicación de un sistema general de regulación de la corta para todas las parcelas en los Territorios Indígenas

de Talamanca tiene limitaciones, debido a que las necesidades de madera de laurel son diferentes para cada productor y los cacaotales y bananales difieren en sus existencias y en la capacidad de crecimiento del laurel. En esta propuesta, se sugiere fijar un diámetro mínimo de corta de 45 cm de dap, considerar la capacidad de crecimiento del laurel en la parcela y seguir algunas recomendaciones silvícolas y agroforestales, aplicadas según las condiciones particulares de cada parcela.

GUÍA PARA REGULAR EL APROVECHAMIENTO DE LAUREL

Un inventario forestal es la información básica para tomar decisiones sobre los laureles en cacaotales y bananales. Con la visión del recurso maderable que ofrece el inventario y, tomando en cuenta consideraciones silvícolas y agroforestales, se tiene la base para la toma de decisiones de los árboles que se pueden cortar. El procedimiento es el siguiente:

1. Medir el dap de todos los árboles de laurel mayores de 5 cm de dap dentro de la parcela. Se agrupan en clases de dap de 10 cm: 5 a 14, 15 a 24, 25 a 34, siguiendo así hasta los árboles de mayor tamaño. Los árboles potenciales para cortar son los que tienen un dap de 45 cm o más. El dap se puede medir rápidamente con una cinta métrica (la circunferencia del árbol) y luego se divide entre 3,14. Al momento de medir el dap, se evalúa la sanidad y la calidad del fuste del árbol (Cuadro 1).
2. En un formulario (Figura 2), cada árbol medido se registra en la columna correspondiente de clase diamétrica y calidad de forma del fuste con una "S" si está sano, una "P" si está plagado o una "E" si está enfermo. Para cada registro por columna solo se utiliza una fila.

Cuadro 1. Clasificación por estado sanitario y calidad del fuste de árboles de laurel

Clasificación	Categorías	
Sanidad	Sanos (S)	Sin defectos, sin enfermedades
	Plagados (P) o enfermos (E)	- matapalo (<i>Phoradendrum</i> sp): planta parásita - chanero (<i>Puccinia cordiae</i>): enfermedad fungosa - chinche de encaje (<i>Dictylo monotropidia</i>)
Calidad del fuste	Bueno (B)	Fuste recto, sin torceduras basales
	Regular (R)	Fuste ligeramente sinuoso, sin torceduras basales, pueden ser bifurcados pero rinden al menos una troza para aserrío.
	Malo (M)	Fuste muy sinuoso, con o sin torceduras basales, con o sin bifurcación, sólo son aprovechables para leña.

Se determina la frecuencia total en cada clase diamétrica. De esta forma, se obtiene una figura con la estructura poblacional del laurel. Con inventarios posteriores, se pueden ver los cambios en la población arbórea.

3. Se cuentan cuántos árboles aprovechables (dap \geq 45 cm) sanos, plagados o enfermos existen por calidad de fuste (Cuadro 2). Estos son los árboles con potencial para ser aprovechados. Ahora la pregunta es: ¿cuáles de estos árboles se pueden cortar ya?

Veamos el ejemplo (Figura 2) para responder a esta pregunta. La parcela de Osvaldo Vargas Márquez de la comunidad de Katsi tenía 16 árboles aprovechables según el inventario realizado en el año 2001. Osvaldo solicita permiso para cortar cuatro árboles de laurel que producirán las 1200 pmt¹ (pulgada maderera tica) que necesita para ampliar y reparar su casa. Para proceder a la autorización de la corta, el inspector forestal indígena deberá considerar las necesidades del finquero y conciliarlas con “objetivos silvícolas” (ver abajo), apoyado en la información del inventario. Los objetivos silvícolas, en orden de prioridad, son los siguientes:

1. Asegurar que quedarán en pie suficientes árboles semilleros sanos y de buena calidad de fuste

Estos serán los “padres” de los nuevos arbolitos que ocuparán los lugares de los que fueron cortados. La retención de los mejores árboles como reproductores producirá progenies (descendencia, familia) de gran calidad genética. En la parcela de Osvaldo (Figura 2), la mayoría de los árboles aprovechables son de las categorías regular (R) y mala (M). Entonces, conviene cortar primero estos árboles y dejar por más tiempo los de buena calidad (B). El laurel produce semilla abundante cada año (Boshier y Lamb 1997); por ello, mantener al menos tres árboles semilleros maduros (dap > 40 cm) bien distribuidos por hectárea asegura la fuente de semilla para mantener la regeneración natural en la parcela. En caso de no contar con ningún árbol semillero, se deberán plantar tres arbolitos por hectárea, de buena calidad y bien distribuidos en la parcela, provenientes de vivero o de regeneración natural. La salud de los laureles puede mantenerse eliminando los que están plagados o enfermos y así evitar el riesgo de enfermar a los árboles sanos.

2. Manejar la regeneración natural para lograr una estructura diamétrica escalonada

Hay que mantener abundantes árboles en las clases diamétricas pequeñas, disminuyendo gradualmente hacia

Cuadro 2. Número de árboles aprovechables (dap \geq 45 cm) de laurel por estado sanitario y forma del fuste

Estado sanitario	Calidad del fuste			Total
	Buena	Regular	Mala	
Sanos	3	9	4	16
Plagados y/o enfermos	0	0	0	0
Total	3	9	4	16

las más grandes. Para ello, los árboles más gruesos deberán cortarse y dejar espacios abiertos, con mayor radiación solar, para estimular el establecimiento y crecimiento de los arbolitos de la regeneración natural. Hay que controlar las malezas alrededor de los nuevos arbolitos reclutados para acelerar su crecimiento y reducir la mortalidad. La densidad del laurel se regulará haciendo raleos en cada categoría diamétrica; la intensidad del raleo deberá mantener una cobertura máxima del 40% en la parcela para favorecer la producción del cacao (Somarriba y Calvo 1998).

La cantidad de árboles por cortar dependerá de la capacidad de crecimiento del laurel en el sitio. En la parcela de Osvaldo se ha estimado un incremento anual de 2,1 m³, con base en un modelo de predicción del incremento de madera en rollo con datos de 69 parcelas de los territorios indígenas (Suárez 2001). Si se considera que el volumen comercial del laurel es 64% del volumen total de fuste aprovechado (Somarriba y Beer 1987), el incremento anual en la parcela de Osvaldo equivale a 436,8 pmt año⁻¹. Entonces, el volumen solicitado (1200 pmt) puede ser autorizado, quedando aún un potencial de aprovechamiento de 984 pmt para los siguientes años. En las parcelas que no cuentan con una estimación del crecimiento del laurel, el inspector forestal puede apoyarse en los datos de los tiempos de paso (TP), los cuales pueden ser registrados en la parte superior de la gráfica de distribución diamétrica del formato (Figura 2). El TP es el número de años que demora un árbol en pasar de una categoría diamétrica a la inmediatamente superior. En los Territorios Indígenas, se han determinado dos condiciones de crecimiento de laurel: valle y loma (Cuadro 3).

La parcela de Osvaldo tiene 16 árboles aprovechables; si se cortaran los árboles marcados para cubrir el volumen solicitado, quedarían aún árboles aprovechables de las clases de más de 45 cm de dap, los de la “reserva” y de

¹ 1 m³ = 325 pmt

Cuadro 3. Tiempos de paso promedio (TP) para el crecimiento en diámetro de árboles de laurel en los Territorios Indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica

dap (cm)	Valle		Loma	
	Edad (años)	TP (años)	Edad (años)	TP (años)
5 - 14	3	3	4	5
15 - 24	6	4	9	5
25 - 34	10	4	13	5
35 - 44	14	4	19	7
45 - 54	18	5	25	9
55 - 64	23	6	34	13
65 - 74	30	8	47	ND
75 - 84	38	13	ND	ND
85 - 94	51	ND	ND	ND

Fuente: Suárez (2001)
Nota: ND = datos no disponibles

la “regeneración”. Con esta población, se tiene un buen volumen para posteriores aprovechamientos. Una distribución prudente de las cortas en el futuro permitiría un aprovechamiento sostenible. En el caso extremo de que Osvaldo quisiera cortar todos los árboles aprovechables de su parcela en un solo año, quedarían en la parcela solo los laureles de la reserva y la regeneración. En este caso, para volver a tener árboles aprovechables tendría que esperar siete años, el tiempo que tardaría los árboles de la clase 35–44 cm en pasar a la clase aprovechable (45–54 cm; Figura 2). Después de la corta, Osvaldo deberá fomentar la regeneración natural o plantar, si fuese necesario.

Los árboles por aprovechar deben ser marcados en el formulario con un recuadro alrededor de la “S”, “P” o “E”. En el ejemplo, se seleccionaron cuatro árboles de clases diamétricas aprovechables y, además, dos árboles de la “reserva” con problemas sanitarios, que aun cuando no son aserrables, son removidos para evitar la diseminación de los patógenos (Figura 2 y Cuadro 4). Enseguida, se anota en el Cuadro 4 el volumen correspondiente a cada árbol, así como el total. Los inspec-

tores forestales y los operadores de motosierra en los Territorios Indígenas hacen una estimación visual del volumen potencial con una buena precisión (Somarriba et ál. 2007), o se podría utilizar la tabla de volumen para laurel de Somarriba y Beer (1987). En el campo, deberán señalarse los árboles por aprovechar, empleando una marca visible en el tronco por abajo de la altura de corte, por ejemplo, con pintura roja.

La metodología de inventario y toma de decisiones en la autorización del aprovechamiento de laurel en los Territorios Indígenas deberá ser validada con los productores, inspectores forestales y autoridades indígenas, y mejorarse conforme se afinan los modelos de crecimiento de las poblaciones disetáneas del laurel en los cacaotales y bananales de Talamanca.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Boshier, DH; Lamb, AT. 1997. Biología Reproductiva. In Boshier, DH; Lamb, AT. eds. *Cordia alliodora*: genética y mejoramiento de árboles. Inglaterra, Oxford Forestry Institute. p. 13-19. Tropical Forestry Papers 36.

Cuadro 4. Detalles de los árboles autorizados para aprovechamiento

Estado sanitario	Forma del fuste			Total
	Buena	Regular	Mala	
Sanos		4		4
Plagados y/o enfermos		1	1	2
Total		5	1	6

Cuadro 6. Volumen de árboles autorizados para aprovechamiento

dap (cm)	Volumen (pmt)		
	árboles	árbol	total
15 - 24	1	50	50
25 - 34	1	50	50
65 - 74	3	250	750
75 - 84	1	350	350
Total	6	-	1200

Notas: pmt: pulgada maderera tica, 1 m³ = 325 pmt.



Troncos de laurel aprovechados en un cacaotal (foto: Eduardo Somarriba)

- Borge, C; Castillo, R. 1997. Cultura y conservación en la Talamanca indígena. San José, CR, Editorial Universidad Estatal a Distancia. 259 p.
- Guiracocha, G. 2000. Conservación de la biodiversidad en los sistemas agroforestales cacaoteros y bananeros de Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 128 p.
- Poore, D. 1989. The management of natural forest: the issues. In Poore, D; Burgess, P; Palmer, J; Rietbergen, S; Synnott, T. eds. No timber without trees: sustainability in the tropical forest. Londres, UK, Earthscan Publications. p. 1-27.
- Somarriba, E; Beer, J. 1987. Dimensions, volumes and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 18:113-126
- Somarriba, E; Calvo, G. 1998. Enriquecimiento de cacaotales con especies maderables. *Agroforestería en las Américas* 5(19): 28-31.
- Somarriba, E; Trivelato, M; Villalobos, M; Suárez, A; Benavides, P; Moran, K; Orozco, L; López, A. 2003. Diagnóstico agroforestal de pequeñas fincas cacaoteras orgánicas de indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(37-38): 24-30.
- Suárez, A. 2001. Aprovechamiento sostenible de madera de *Cordia alliodora* y *Cedrela odorata* de regeneración natural en cacaotales y bananales de indígenas de Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 74 p.
- Suatunce, JP. 2002. Diversidad de escarabajos estiercoleros en bosques y en cacaotales de diferente estructura y composición florística, Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 74 p.

Reseñas

La Agroforestería en Perú, con énfasis en la Amazonía: una bibliografía anotada (2006)

Esta es una contribución del Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF) para expandir los conocimientos sobre los beneficios de los sistemas agroforestales a los pobladores de los países en desarrollo. Este documento será de utilidad a un grupo variado de usuarios, incluyendo estudiantes, investigadores, educadores y profesionales del desarrollo. Aunque se enfoca en la Amazonía peruana, se han incluido muchas referencias relacionadas con los sistemas agroforestales de la costa y la sierra peruanas.

El libro está organizado en tres secciones: 1) investigaciones publicadas en forma de artículos en revistas científicas o técnicas con "peer review", actas de conferencias, informes instituciones de investigación y otras fuentes, y disertaciones y tesis de grado; 2) materiales didácticos y de extensión; y 3) experiencias de proyectos y materiales similares. El libro incluye indicaciones para su uso e índices por autores personales y palabras claves. Las publicaciones referenciadas se identificaron en búsquedas de bases de datos (CABI, SPIRS) e Internet, en visitas centros de documentación de instituciones de enseñanza, de investigación y de promoción de desarrollo rural, y en los contactos con profesionales del campo agroforestal peruano.

Esta publicación reúne más de 360 citas bibliográficas que cubren variadas temáticas agroforestales, tales como el almacenamiento y

fijación de carbono, numerosos estudios sobre barbechos, reforestaciones en zona andina de altura, conservación y mejoramiento de suelos, sistemas silvopastoriles, huertos caseros, bosques secundarios, biodiversidad, aspectos socioeconómicos, interacciones biofísicas, sistemas agroforestales tradicionales y agroforestería comunitaria.

Este libro-documento se encuentra disponible en la página Web de ICRAF (<http://www.icraf-peru.org/docs/bibliography2.pdf>).



**Abel Mesa López y
Jonathan P. Cornelius**
(editores)

Plataforma Colaborativa Mesoamericana para los Sistemas Agroforestales con Cultivos Perennes (PCP)

Esta plataforma es un esfuerzo conjunto de cinco instituciones (CIRAD, CATIE, INCAE, CABI y PROMECAFE) para colaborar en actividades de investigación y desarrollo de la agroforestería con cultivos perennes en Mesoamérica. Este PCP tiene el objetivo de mejorar la competitividad y la sostenibilidad de los sistemas agroforestales con café y cacao, por medio de la cuantificación, la valorización y el desarrollo de todos sus productos y servicios potenciales. El PCP trabajará en investigación multidisciplinaria para:

- desarrollar o adaptar metodologías para evaluar los servicios ambientales producidos por los sistemas agroforestales;
- concebir estrategias y desarrollar herramientas de manejo diversificado de los sistemas agroforestales adaptadas a cada contexto particular;
- evaluar los impactos de los sistemas agroforestales sobre las estrategias y los medios de vida de los productores;

- encontrar las maneras más efectivas de fortalecer las organizaciones de productores, de manera que puedan aprovechar mejor las oportunidades que ofrecen los mercados de productos y servicios de los sistemas agroforestales;
- mejorar las cadenas de valor de los productos y servicios de los sistemas agroforestales.

En un ambiente científico estimulante, los investigadores del PCP desarrollarán investigaciones innovadoras, participarán en el desarrollo de programas de enseñanza sobre agroforestería en el CATIE y construirán proyectos que permitirán enfrentar estos desafíos.

Contactos:
John Beer
Presidente Comité PCP
Correo electrónico: jbeer@catie.ac.cr

Bruno Rapidel
Coordinador PCP
Correo electrónico: bruno.rapidel@cirad.fr



Biodiversity and Conservation Special issue: Biodiversity Conservation in Cocoa Production Landscapes (Volume 16, No. 8, July 2007)

Biodiversity and Conservation es una revista internacional que trata aspectos de diversidad biológica: descripción, análisis y conservación, y uso racional controlado por la humanidad. Esta revista proporciona un foro para examinar el conflicto entre el desarrollo sostenible y la dependencia humana a la biodiversidad, en campos tales como agricultura, manejo ambiental y biotecnología.

Este número especial se enfoca en los sistemas agroforestales con cacao, los cuales presentan un dosel de sombra diverso y estructuralmente complejo que permite mantener niveles significativos de biodiversidad. Pocos estudios han sido desarrollados para documentar las especies animales y vegetales que ocurren en estos sistemas o dentro de paisajes dominados por la producción de cacao. Se reúnen nueve estudios de América Latina, África y Asia que documentan la contribución de los sistemas agroforestales con cacao a la conservación de la biodiversidad y exploran cómo el diseño, manejo y localización de estos sistemas dentro de un paisaje más amplio influyen el valor como hábitat, recursos y corredores biológicos.

Los estudios presentados en este número especial se concentran en el impacto de los sistemas agroforestales sobre la conservación de la biodiversidad (plantas, aves, murciélagos, ranas, lagartijas e insectos), pero también se evalúa la importancia de la inclusión del análisis de los medios de vida de los productores en la conservación de la biodiversidad en los paisajes cacaoteros.



ShadeMotion

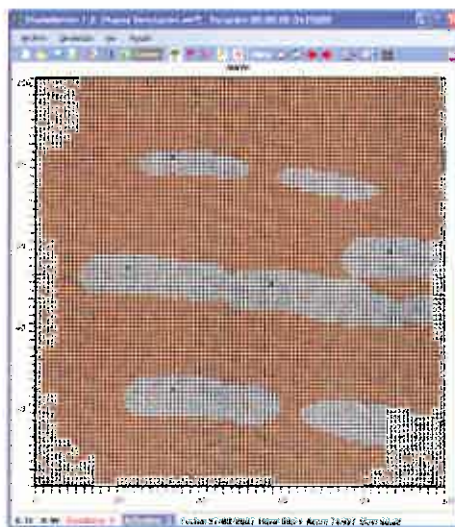
ShadeMotion es un programa de cómputo (software) para simular el movimiento de la sombra que proyectan las copas de los árboles sobre el terreno. Los árboles pueden tener copas de diferentes tamaños, alturas y tipos de copa y estar plantados en cualquier distribución espacial. La parcela puede estar ubicada en cualquier lugar de la tierra y usted puede indicar las fechas y horas de inicio y final de la simulación. Se obtendrá un mapa visual del patrón e intensidad de la sombra en cada punto de la parcela para el rango de tiempo de la simulación. La versión 1.0 de ShadeMotion simula la sombra sobre terrenos planos; futuras versiones permitirán simular sobre terrenos inclinados.

ShadeMotion es un programa muy fácil de usar. Al ingresar a ShadeMotion, el usuario encuentra una pantalla con cuatro áreas: 1) un cuadrículado que representa el terreno donde (con el "mouse") se colocan y modifican las características de los árboles; 2) una ventana llamada "Propiedades Simulación", en la que se introducen la fecha y hora de inicio y de

finalización, la latitud geográfica, el tamaño de la cuadrícula de terreno, y la unidad de tiempo a la que queremos que se mueva el sol; 3) una Barra de Herramientas con una hilera de botones que sirven para correr o guardar la simulación, borrar las sombras y otras cosas más; y 4) una Barra de Estado ubicada debajo del cuadrículado del terreno donde se despliega información útil antes y después de terminada la simulación: coordenadas de la

ubicación del puntero del "mouse" y de la posición del sol (elevación y azimut) respecto al terreno en un momento dado, el total de horas acumuladas de simulación y el número de árboles que hay sobre el terreno. Además, el programa contiene una guía para los nuevos usuarios, que incluye ejemplos y recomendaciones para agilizar las simulaciones.

Este programa es de libre acceso y se puede obtener en la página del Grupo Temático Cacao del CATIE: http://www.cattie.ac.cr/shade_motion. Para mayor información, contacte a Francisco Quesada (quesadaf@gmail.com) o Eduardo Somarriba (esomarri@cattie.ac.cr).



INAFORESTA – América Latina

Centro de Recursos de Información Bibliográfica sobre Cacao, Árboles, Bosques y el Ambiente

El cacao (*Theobroma cacao* L.) se cultiva en más de cincuenta países, cubre más de siete millones de hectáreas y contribuye al bienestar socioeconómico de más de cinco millones de hogares de pequeños productores en países en desarrollo de la región tropical húmeda. El cacao se cultiva en asocio con otros árboles, palmas y hierbas gigantes (como los bananos y plátanos) que, además de sombra y acondicionamiento del microclima para el buen crecimiento y producción de la planta de cacao, proveen a la familia de otros bienes (madera, fruta, leña, resinas, miel, etc.) y servicios (ornato y rito) para el consumo propio o la venta y a la sociedad de varios servicios ambientales (conservación de aguas, suelos y biodiversidad, fijación de carbono atmosférico y mitigación del cambio climático y del calentamiento global).

A pesar de los beneficios de los sistemas agroforestales con cacao, sólo recientemente el tema ha saltado a primera plana en los programas cacaoteros en todo el mundo. Hoy en día, gobiernos, donantes, políticos, académicos, profesionales del sector cacaotero y productores están interesados en lograr al máximo los beneficios de los árboles y otros cultivos en las plantaciones de cacao. El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), MARS, el Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF), el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) y el Centro de Investigación Agrícola de Francia para el Desarrollo Internacional (CIRAD) acordaron en 2005 formar y coordinar un grupo mundial dedicado al estudio y mejoramiento de las relaciones entre la gente, el cacao, los árboles, los bosques y el ambiente (INAFORESTA).

INAFORESTA apoyará el avance de la ciencia y tecnología en las relaciones cacao-árboles-bosques-ambiente; asesorará a industrias, gobiernos, donantes y hacedores de políticas sobre aspectos de sistemas agroforestales con cacao; y promoverá la colaboración entre agroforestales cacaoteros (individuos e instituciones) hacia proyectos de investigación y desarrollo y otras iniciativas conjuntas. Los principales productos de INAFORESTA se encuentran en las páginas web de las instituciones socias, una base de datos bibliográficos que contendrá todo lo publicado sobre el tema

en América Latina (CATIE), África (IITA) y Asia (ICRAF), y un CD con las presentaciones de la primera reunión (XV Conferencia Internacional de Investigación en Cacao –COPAL–, 2006, San José, Costa Rica). La base de datos bibliográfica, localizada en la Biblioteca Conmemorativa ORTON del CATIE/IICA, compila literatura existente sobre las relaciones entre cacao, árboles, bosques y el ambiente en una herramienta de Internet accesible desde la cual los usuarios pueden buscar y descargar artículos y otro material impreso.

Para más información, escriba a Eduardo Somarriba (esomarr@catie.ac.cr), o contacte a la Biblioteca Orton (biblioteca.orton@iica.int; biblioteca.orton@catie.ac.cr; página web <http://orton.catie.ac.cr/inaforesta/>).



Competitividad y ambiente en los paisajes cacaoteros de Centroamérica

En Centroamérica, el cacao es cultivado por unos 20 mil hogares de indígenas y campesinos pobres en zonas remotas, con vías de comunicación deficientes, y a menudo alrededor de áreas protegidas de interés nacional e internacional. Las ocho principales organizaciones de productores cacaoteros de la región, varias organizaciones técnicas y empresariales y el Gobierno de Noruega han formulado un proyecto destinado a mejorar la competitividad, reducir la pobreza y contribuir a la conservación de ambientes cacaoteros de Centroamérica. Esta nueva iniciativa es conocida como "Proyecto competitividad y ambiente en los paisajes cacaoteros de Centroamérica (PCC)". El PCC ha organizado sus acciones en cinco componentes: 1) Producción y Ambiente; 2) Organización y Competitividad; 3) Cooperación y *Scaling-up*; 4) Educación y Comunicación; y 5) Gerencia Participativa.

El PCC tendrá una duración de 4,5 años, un presupuesto de US\$ 5 millones, y espera iniciar sus acciones a finales del 2007. Las ocho principales cooperativas y asociaciones cacaoteras de Centroamérica que coejecutarán el PCC incluyen COCABO (Cooperativa de servicios múltiples de Cacao Bocatoreña R.L.) en Panamá; APPTA (Asociación de Pequeños Productores de Talamanca) y ACOMUITA (Asociación Comisión de Mujeres Indígenas de Talamanca) en Costa Rica; CACAONICA (Cooperativa de Servicio Agroforestal y Comercialización de Cacao) en Nicaragua; APROCACHO (Asociación de productores de cacao) en Honduras; APROCA (Asociación de productores de cacao del sur occidente de Guatemala) y ADIPKAKAW (Asociación de Desarrollo Integral de productores de Kakaw) en Guatemala; y TCGA (Toledo Growers Association, Asociación de productores de Toledo) en Belice. En la co-ejecución del PCC par-

ticipan, además, el CATIE (director del PCC), la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), la Asociación Nacional del Cacao (ANAKAKAW) en Guatemala, Control Integrado, ProMundo Humano y Green and Black's. Además, se trabajará muy de cerca con un número variable de socios con recursos financieros propios.



Contactos

Eduardo Somarriba
Marilyn Villalobos

Grupo Temático Cacao

Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE

Correos electrónicos: esomarri@catie.ac.cr; marilynv@catie.ac.cr

catie.ac.cr

Publicaciones sobre carbono

- Adesina, FA; Siyanbola, WO; Oketola, FA; Pelemo, DA; Momodu, SA; Adegbulugbe, AO; Ojo, LO. 1999. Potential of agroforestry techniques in mitigating CO₂ emissions in Nigeria: some preliminary estimates. *Global Ecology and Biogeography* 8(2): 163-173.
- Aduan, R. E; Vilela, M de F; Klink, CA. 2003. Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres-o caso do Cerrado Brasileiro. Documentos-Embrapa Cerrados No. 105. 30 p.
- Alavalapati, JRR; Shrestha, RK; Stainback, GA; Matta, JR. 2004. Agroforestry development: an environmental economic perspective. *Agroforestry Systems* 61/62: 299-310.
- Albrecht, A; Kandji, ST. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 99(1/3): 15-27.
- Alexandrov, G; Yamagata, Y. 2004. Verification of carbon sink assessment: can we exclude natural sinks? *Climate Change* 67(2/3): 437-447.
- Ambrosi, P; Hourcade, JC; Hallegatte, S; Lecocq, F; Dumas, P; Duong, MH. 2003. Optimal control models and elicitation of attitudes towards climate damages. *Environmental Modeling and Assessment* 8: 133-147.
- Arias Sánchez, K; Ruiz-Silvera, C; Milla, M; Fabio Messa, H; Escobar, A. 2001. Almacenamiento de carbono por *Gliricidia sepium* en sistemas agroforestales de Yaracuy, Venezuela. *Livestock Research for Rural Development* 13(5): 1-11.
- Ares, A; Boniche, J; Quesada, JP; Yost, R; Molina, E; Smyth, TJ. Estimación de biomasa por métodos alométricos, nutrientes y carbono en plantaciones de palmito, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 26(2): 19-30.
- Aukland, L; Moura Costa, P; Brown, S. 2003. A conceptual framework and its implication for addressing leakage: the case of avoided deforestation. *Climate Policy* 3: 123-136.
- Ávila Vargas, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvo-pastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 99 p.
- Babiker, MH; Criqui, P; Ellerman, AD; Reilly, JM; Viguier, LL. 2003. Assessing the impact of carbon tax differentiation in the European Union. *Environmental Modeling and Assessment* 8: 187-197.
- Bámaca Figueroa, EE; Kanninen, M; Louman, B; Pedroni, L; Gómez, M. 2004. Contenido de carbono en los productos y residuos forestales generados por el aprovechamiento y el aserrío en la Reserva de Biosfera Maya. *Recursos Naturales y Ambiente* 41: 102-110.
- Beer, J; Harvey, C; Muhammad, I; Harmand, JM; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10 (37/38): 80-87.
- Bernoux, M; Cerri, CC; Volkoff, B; Carvalho, M. da CS; Feller, C; Cerri, CEP; Eschenbrenner, V; Piccolo, M. de C; Feigl, B. 2005. Gaz à effet de serre et stockage du carbone par les sols: inventaire au niveau du Brésil. *Cahiers Agricultures* 14(1): 96-100.
- Bohanek, JR; Groninger, JW. 2005. Productivity of European black alder (*Alnus glutinosa*) interplanted with black walnut (*Juglans nigra*) in Illinois, U.S.A. *Agroforestry Systems* 64(2): 99-106.
- Bonell, M. 1998. Possible impacts of climate variability and change on tropical forest hydrology. *Climate Change* 39(2-3): 215-272.
- Botero, JA. 2001. Contribuição dos sistemas pecuários tropicais na captação de carbono. Eds MM Carvalho; MJ Alvim; J Costa Carneiro. *In Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais*. p: 399-413.
- Brito, I; Bosquet, B. 2005. Under-rated forests. *Development and Cooperation* 32(11): 424-425.
- Budowski, G. 1998. Secuestro de carbono y gestión forestal en América tropical. *Ambien-tico* 65: 8-16.
- Bunker, DE; DeClerck, F; Bradford, JC; Colwell, RK; Perfecto, I; Phillips, OL; Sankaran, M; Naeem, S. 2005. Species loss and aboveground carbon storage in a tropical forest. *Science* 310(5750): 1029-1031.
- Cairns, MA; Meganck, RA. 1994. Carbon sequestration, biological diversity, and sustainable development: integrated forest management. *Environmental Management* 18(1): 13-22.
- Callo-Concha, D; Krishnamurthy, L; Alegre, J. 2004. Secuestro de carbono por sistemas agroforestales amazónicos. *Revista Chapingo (Serie Ciencias Forestales y del Ambiente)* 8(2): 101-106.
- Camp, N van; Walle, I vande ; Mertens, J; Neve, S de; Samson, R; Lust, N; Lemeur, R; Boeckx, P; Lootens, P; Beheydt, D; Mestdagh, I; Sleutel, S; Verbeeck, H; Cleemput, O van; Hofman, G; Carlier, L. 2004. Inventory-based carbon stock of Flemish forests: a comparison of European biomass expansion factors. *Annals of Forest Science* 61(7): 677-682.
- Campbell, S; Mooney, S; Hewlett, JP; Menkhous, DJ; Vance, GF. 2004. Can ranchers slow climate change? Carbon credits can be created on rangelands at costs that are competitive with credits from cropland and forestry, revealing that ranchers could play a role in reducing climate change. *Rangelands* 26(4): 16-22.
- Campos, JJ; Ortiz, R; Smith, J; Maldonado Ulloa, T; Camino, T de. 2000. Almacenamiento de carbono y conservación de biodiversidad por medio de actividades forestales en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica: potencialidades limitantes. Unidad de Manejo de Bosques Naturales. Turrialba, CR, CATIE. 70 p. (Serie Técnica, Informe Técnico no. 314).
- Canadell, JG; Ciais, P; Cox, P; Heimann, M. 2004. Quantifying, understanding and managing the carbon cycle in the next decades. *Climate Change* 67(2/3): 147-160.
- Castañeda-Mendoza, A; Vargas-Hernández, J; Gómez-Guerrero, A; Valdez-Hernández, JI; Vaquera-Huerta, H. 2005. Carbon accumulation in the aboveground biomass of a *Bambusa oldhamii* plantation. *Agrociencia (Montecillo)* 39(1): 107-116.

- Chen, JQ; Brosofske, KD; Noormets, A; Crow, TR; Bresee, MK; Moine, JM le; Euskirchen, ES; Mather, SV; Zheng, DL. 2004. A working framework for quantifying carbon sequestration in disturbed land mosaics. *Environmental Management* 33(1): S210-S221.
- Chertov, O; Komarov, A; Mikhailov, A; Andrienko, G; Andrienko, N; Gatal'sky, P. 2005. Geovisualization of forest simulation modelling results: a case study of carbon sequestration and biodiversity. *Computers and Electronics in Agriculture* 49(1): 175-191.
- Dick, WA; Blevins, RL; Frye, WW; Peters, SE; Christenson, FJ; Pierce, FJ; Vitosh, ML. 1998. Impacts of agricultural management practices on C sequestration in forest-derived soils of the eastern Corn Belt. *Soil and Tillage Research* 47(3-4): 235-244.
- Dixon, RK; Brown, S; Houghton, RA; Solomon, AM; Trexler, MC; Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185-190.
- Dumanski, J. 2004. Carbon sequestration, soil conservation, and the Kyoto Protocol: summary of implications. *Climatic Change* 65: 255-261.
- Feng, HL; Kling, CL; Gassman, PW. 2004. Carbon sequestration, co-benefits, and conservation programs. Estados Unidos, Iowa State. 11 p. (Working Paper-Center for Agricultural and Rural Development, No 04-WP 379).
- Flugge, F; Schilizzi, S. 2005. Greenhouse gas abatement policies and the value of carbon sinks: do grazing and cropping systems have different destinies? *Ecological Economics* 55(4): 584-598.
- Food and Agriculture Organization. 2004. Carbon sequestration in dryland soils. World Roma, IT, FAO. 108 p. (Soil Resources Reports No.102).
- García Oliva, F; Masera, O.R. 2004. Assessment and measurement issues related to soil carbon sequestration in land-use, land-use change, and forestry (LULUCF) projects under the Kyoto protocol. *Climatic Change* 65: 347-364.
- Garrity, DP. 2004. Agroforestry and the achievement of the Millennium Development Goals. *Agroforestry Systems* 61/62: 5-17.
- Genda, S. 2005. Carbon sequestration under an agri-silvicultural system in the arid region. *Indian Forester* 131(4): 543-552.
- Graham, PJ. 2003. Potential for climate change mitigation through afforestation: an economic analysis of fossil fuel substitution and carbon sequestration benefits. *Agroforestry Systems* 59(1): 85-95.
- Grieg-Gran, M; Porras, I; Wunder, S. 2005. How can market mechanisms for forest environmental services help the poor? Preliminary lessons from Latin America. *World Development* 33(9): 1511-1527.
- Gutiérrez Vanegas, BA. 2003. Impactos del cambio climático y los sistemas de producción agroforestales. Plan de agroforestería. Bogotá, CO, CØRPOICA. 32 p.
- He, Y. 2005. Summary of estimation methods of the carbon stored in forests. *World Forestry Research* 18(1): 22-27.
- Hendrickson, O. 2003. Influences of global change on carbon sequestration by agricultural and forest soils. *Environmental Reviews* 11(3): 161-192.
- Henson, IE. 2004. Modelling carbon sequestration and emissions related to oil palm cultivation and associated land use change in Malaysia. *MPOB Technology* No.27. 51 p.
- Heriyanto, NM; Heriansyah, I; Siregar, CA; Kiyoshi, M. 2003. Potential of *Acacia mangium* plantations for carbon sequestration. In Rimbawanto, A; Susanto, M. eds. *Advances in genetic improvement of tropical tree species. International Conference (Yogyakarta, Indonesia, 2000)*. Proceedings. p. 21-25.
- Hernández, OH. 2001. Valoración económica del recurso hídrico en la subcuenca Jones, Sierra de las Minas, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 130 p.
- Higuchi, N; Chambers, J; Santos, J dos; Ribeiro, RJ; Pinto, ACM; Silva, RP da; Rocha, R de M; Tribuzy, ES. 2004. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. *Floresta* 34(3): 295-304.
- Ibrahim, M; Camargo JC. 2001. Productividade e serviços ambientais de sistemas silvipastoris: experiencias do CATIE. In Carvalho, M; Alvim, M; Da Costa, CJ. eds. *Sistemas Agroflorestais Pecuários. Opcoes de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais*. EMBRAPA - FAO - Ministerio da Agricultura Pecuariae Abastecimento de Brasil. EMBRAPA Gado de Leite, Gado de Leite; Brasília, FAO. 2001. p. 331-347.
- Isaac, ME; Gordon, AM; Thevathasan, N; Oppong, SK; Quashie-Sam, J. 2005. Temporal changes in soil carbon and nitrogen in West African multistrata agroforestry systems: a chronosequence of pools and fluxes. *Agroforestry Systems* 65(1): 23-31.
- Izaurrealde, RC; Rosenberg, NJ; Lal, R. 2001. Mitigation of climatic change: by soil carbon sequestration: issues of science, monitoring, and degraded lands. *Advances in Agronomy* 70: 2-76.
- Jacob, J. 2005. Forestry and plantations: opportunities under Kyoto Protocol. *Economic and Political Weekly* 40(20): 2043-2045.
- Jha, KK. 2005. Storage and flux of organic carbon in young *Tectona grandis* plantations in moist deciduous forest. *Indian Forester* 131(5): 647-659.
- Johnson, CM; Vieira, ICG; Zarin, DJ; Frizano, J; Johnson, AH. 2001. Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management* 147(2-3): 245-252.
- Keshwa, GL; Mahendra, S. 2004. Biomass production and soil fertility from *Dichrostachys cinerea*+*Cenchrus* silvopastoral system in arid and semi-arid regions. *Indian Journal of Agronomy* 49(4): 293-295.
- Kort, J; Turnock, R. 1999. Carbon reservoir and biomass in Canadian prairie shelterbelts. Eds JP, Lassoie; L.E, Buck. *Agroforestry Systems* 44(2/3): 175-186.
- Koning, GHJ de; Veldkamp, E; López-Ulloa, M. 2003. Quantification of carbon sequestration in soils following pasture to forest conversion in northwestern Ecuador. *Global Biogeochemical Cycles* 17(4): 1098.
- Laclau, P. 2003. Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypress forests in northwest Patagonia. *Forest Ecology and Management* 180(1-3): 317-333.
- Lal, R. 2002. The potential of soils of the tropics to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Advances in Agronomy* 76: 1-30.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304(5677): 1623-1627.
- Levy, PE; Friend, AD; White, A; Cannell, MGR. 2004. The influence of land use change on global-scale fluxes of carbon from terrestrial ecosystems. *Climatic Change* 67(2/3): 185-209.
- Li, CS; Cui, JB; Sun, G; Trettin, C. 2004. Modeling impacts of management on carbon sequestration and trace gas emissions in forested wetland ecosystems. *Environmental Management* 33(1): S176-S186.
- Lin De Rong; Li Zhi, Y; Zhi, L. 2005. The evolvment and prospect of forest carbon sinks market. *World Forestry Research* 8 (1): 1-5.
- Locatelli, B; Loisel, C. 2002. Changement climatique: la vérité est-elle au fond du puits? Une analyse des controverses sur le puits de carbone. *Natures Sciences Sociétés* 10(4): 7-19.

- López, A; Ibrahim, M; Schlönvoigt, A; Kass, D; Klein, C; Kanninen, M. 1999. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 6(23):51-53.
- Losi, CJ; Siccaná, TG; Condit, R; Morales, JE. 2003. Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecology and Management* 184: 355-368.
- Lövbrand, E. 2004. Bridging political expectations and scientific limitations in climate risk management-on the uncertain effects of international carbon sink policies. *Climatic Change* 67(2/3): 449-460.
- Malcolm, JR; Markham, A. 2000. Global warming and terrestrial biodiversity decline. Gland, Suiza, WWF. 23 p.
- Maestri, R; Sanquetta, CR; Machado, S do A; Scolfor, JRS; Córte, APD. 2004. Viabilidade de um projeto florestal de *Eucalyptus grandis* considerando o seqüestro de carbono. *Floresta* 34(3): 347-361.
- Mills, AJ; Cowling, R M; Fey, MV; Kerley, GIH; Donaldson, JS; Lechmere-Oertel, RG; Sigwela, AM; Skowno, AL; Rundel, P. 2005. Effects of goat pastoralism on ecosystem carbon storage in semiarid thicket, Eastern Cape, South Africa. *Austral Ecology* 30(7): 797-80.
- Mills, AJ; O'Connor, TG; Donaldson, JS; Fey, MV; Skowno, AL; Sigwela, AM; Lechmere-Oertel, RG; Bosenberg, JD. 2005. Ecosystem carbon storage under different land uses in three semi-arid shrublands and a mesic grassland in South Africa. *South African Journal of Plant and Soil* 22(3): 183-190.
- Montagnini, F. 2004. Plantaciones forestales con especies nativas: Una alternativa para la producción de madera y la provisión de servicios ambientales. *Recursos Naturales y Ambiente* 43: 28-35.
- Montagnini, F; Nair, PKR. 2004. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61/62: 281-295.
- Montagu, KD; Düttmer, K; Barton, CVM; Cowie, AL. 2005. Developing general allometric relationships for regional estimates of carbon sequestration —an example using *Eucalyptus pilularis* from seven contrasting sites. *Forest Ecology and Management* 204(1): 113-127.
- Montero, M; Kanninen, M. 2002. Biomasa y Carbono en plantaciones de *Terminalia amazonia* en la zona sur de Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana* 39-40: 50-55.
- Mooney, S; Antle, J; Capalbo, S; Paustian, K. 2004. Design and costs of a measurement protocol for trades in soil carbon credits. *Canadian Journal of Agricultural Economics* 52(3): 257-287.
- Muhammad, I; Camargo, JC. 2001. Produtividade e serviços ambientais de sistemas silvipastoris: experiências do CATIE. In Carvalho, MM; Alvim, MJ; Da Costa Carneiro. eds. *Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais*. p. 331-347.
- Mutuo, PK; Cadisch, G; Albrecht, A; Palm, CA; Verchot, L. 2005. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71(1): 43-54.
- Oelbermann, M; Voroney, RP; Kass, DCL. 2004. *Gliricidia sepium* carbon inputs and soil carbon pools in a Costa Rican alley cropping system. *International Journal of Agricultural Sustainability* 2(1): 33-42.
- Ockwell, D; Lovett, JC. 2005. Fire assisted pastoralism vs. sustainable forestry-the implications of missing markets for carbon in determining optimal land use in the wet-dry tropics of Australia. *Journal of Environmental Management* 75(1): 1-9.
- Olschewski, R; Benítez, PC; Koning, GHJ de; Schlichter, T. 2005. How attractive are forest carbon sinks? Economic insights into supply and demand of Certified Emission Reductions. *Journal of Forest Economics* 11(2): 77-94.
- Ordóñez, JA; HJ de Jong, B; Masera, O. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques* 7(2): 27-47.
- Pedroni, L; Locatteli, B. 2003. Métodos de contabilidad de créditos de carbono: implicación para proyectos forestales MDL. *Ambien-tico* 112: 15-17.
- Rai, SC; Purnima S. 2004. Carbon flux and land use/cover change in a Himalayan watershed. *Current Science* 86(12): 1594-1596.
- Ramírez, O; Gómez, M. 1999. Estimación y valoración económica del almacenamiento de carbono. *Revista Forestal Centroamericana* 27: 17-22.
- Roshetko, JM; Delaney, M; Hairiah, K; Purnomosidhi, P. 2002. Carbon stocks in Indonesian homegarden systems: can smallholder systems be targeted for increased carbon storage? *American Journal of Alternative Agriculture* 17(3): 138-148.
- Rojas Molina, J. 2005. Secuestro de carbono y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 71 p.
- Sage, LF; Sanchez, O. 2002. Evolución esperada de pago de servicios ambientales en Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana* 37: 72-73.
- Santos, SRM dos; Miranda, I de S; Tourinho, MM. 2004. Estimativa de biomassa de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará. *Acta Amazonica* 34(1): 1-8.
- Schroth, G; D'Angelo, SA; Teixeira, WG; Haag, D; Lieberei, R. 2002. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass litter and soil carbon stocks after 7 years. *Forest Ecology and Management* 163(1/3): 131-150.
- Seck, M; Mamouda, M N A; Wade, S. 2005. Case study 4: Senegal-adaptation and mitigation through "produced environments": the case for agriculture intensification in Senegal. *IDS Bulletin* 36(4): 71-86.
- Segura, M. 1999. Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el área de conservación Cordillera Volcánica Central, Costa Rica. Tesis Mag Sc. Turrialba, CR, CATIE. 119 p.
- Segura, M; Kanninen, M; Alfaro, M; Campos, JJ. 2000. Almacenamiento y fijación de carbono en bosques de bajura de la zona atlántica de Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana* 30: 23-28.
- Sheinbaum, C; Masera, O. 2000. Mitigating carbon emissions while advancing national development priorities: the case of Mexico. *Climatic Change* 47(39): 259-282.
- Shibata, H; Hiura, T; Tanaka, Y; Takagi, K; Koike, T. 2005. Carbon cycling and budget in a forested basin of southwestern Hokkaido, northern Japan. *Ecological Research* 20(3): 325-333.
- Shively, GE; Zelek, CA; Midmore, DJ; Nissen, TM. 2004. Carbon sequestration in a tropical landscape: an economic model to measure its incremental cost. *Agroforestry Systems* 60(3): 189-197.
- Solíz Saucedo, BG. 1998. Valoración económica del almacenamiento y fijación de carbono en un bosque subhúmedo estacional de Santa Cruz, Bolivia. Tesis Mag. Sc. Turrialba CR, CATIE. 113 p.
- Spring, D; Kennedy, J; Nally, RM. 2005. Optimal management of a flammable forest providing timber and carbon sequestra-

- tion benefits: an Australian case study. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 49(3): 303-320.
- Swamy, SL; Sunil P. 2005. Biomass production and C sequestration of *Gmelina arborea* in plantation and agroforestry system in India. *Agroforestry Systems* 64(3): 181-195.
- Tapia-Coral, SC; Luizão, FJ; Wandelli, E; Fernandes, ECM. 2005. Carbon and nutrient stocks in the litter layer of agroforestry systems in central Amazonia, Brazil. *Agroforestry Systems* 65(1): 33-42.
- Tattenbach, F; Pedroni, L. 1999. Desarrollo limpio en Costa Rica y Centroamérica. *Revista Forestal Centroamericana* 27: 6-9.
- Thevathasan, NV; Gordon, AM. 2005. Alley cropping could help Canada meet Kyoto protocol commitments. *Temperate Agroforestry* 13(2): 2-4.
- Tschakert, P. 2004. Carbon for farmers: assessing the potential for soil carbon sequestration in the Old Peanut Basin of Senegal. *Climatic Change* 67(2/3): 273-290.
- Upadhyay, TP; Sankhayan, PL; Solberg, B. 2005. A review of carbon sequestration dynamics in the Himalayan region as a function of land-use change and forest/soil degradation with special reference to Nepal. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 105(3): 449-465.
- Watson, RT; Noble, RI; Bolin, B; Ravindranth, NH; Verardo, DJ; Dokken, DJ (eds). 2000. Land use, land-use change, and forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change. Estados Unidos, Cambridge University Press. 377 p.
- Williams, JR; Nelson, RG; Claassen, MM; Rice, CW. 2004. Carbon sequestration in soil with consideration of CO₂ emissions from production inputs: an economic analysis. *Environmental Management* 33: 264-273.
- Winjun, JK; Brown, S; Schlamadinger, B. 1998. Forest harvest and wood products: sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. *Forest Science* 44(2): 272-283.
- Wise, R; Cacho, O. 2005. A bioeconomic analysis of carbon sequestration in farm forestry: a simulation study of *Gliricidia sepium*. *Agroforestry Systems* 64(3): 237-250.
- Zhang, XQ; Kirschbaum, MUF; Hou, Z; Guo, Z. 2004. Carbon stock changes in successive rotations of Chinese *Cunninghamia lanceolata* (lamb hook) plantations. *Forest Ecology and Management* 202(1-3): 131-147.

Agenda Agroforestal

Curso Internacional

Ganadería Ambiental y Herramientas para la Certificación de Fincas Sostenibles

Fecha: 21-25 de julio 2008 (límite de inscripción: 30 de junio 2008)

Lugar: Catie, Sede Central, Turrialba, Costa Rica

Contactos:

Área de Capacitación
Sede Central, CATIE 7170
Turrialba, Costa Rica

Tel.: (506) 25 58 24 33

Correo electrónico: capacitacion@catie.ac.cr

También puede comunicarse con Claudia Sepúlveda, co-coordinadora del curso, al correo electrónico csepul@catie.ac.cr

Segundo Curso Internacional

Liderazgo para el Desarrollo de la Ecoagricultura: Gestión Integrada de Territorios Rurales en Centroamérica

Fecha: 19-28 de setiembre 2008

Contactos:

Para mayor información, puede escribir a las siguientes direcciones:
jose.carlos.arze@iica.int
rebeca.martinez@iica.int
fdeclerck@catie.ac.cr

VIII Congreso Forestal Nacional "Desarrollo forestal para todos"

Fecha: 5-7 noviembre 2008.

Lugar: Porta Hotel del Lago, Panajachel, Sololá, Guatemala

Contacto:

Edwin Oliva
Correo electrónico: eoliva@inab.gob.g