

Diversidad arbórea y almacenamiento de carbono en un paisaje fragmentado del bosque húmedo de la zona atlántica de Costa Rica¹

Mario Chacón L.²; Celia A. Harvey³;
Diego Delgado⁴

La deforestación y fragmentación de extensas áreas de bosques contribuyen a dos problemas globales: la pérdida de biodiversidad y el cambio climático. Al deforestar extensas áreas de bosques se crean paisajes fragmentados, lo cual actúa de manera negativa sobre la biodiversidad debido a que reduce y deteriora hábitats naturales e interrumpe la conectividad, lo que puede afectar significativamente el tamaño de las poblaciones de especies. Cuando se deforesta, se liberan importantes cantidades de CO₂ a la atmósfera, que contribuyen al aumento del efecto invernadero y por consiguiente al incremento de la temperatura de la atmósfera.



Fotos: CATIE.

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

² Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE. mchacon@catie.ac.cr

³ Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE. charvey@catie.ac.cr

⁴ Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, CATIE. ddelgado@catie.ac.cr

Resumen

La deforestación de bosques ha sido una de las principales causas de pérdida de biodiversidad y del cambio climático debido a la emisión de CO₂ a la atmósfera. Se hace necesario conocer la diversidad arbórea y los contenidos de carbono en paisajes fragmentados para determinar su potencial para conservar la biodiversidad y mitigar el cambio climático. El objetivo de este estudio fue caracterizar la diversidad arbórea y estimar el almacenamiento de carbono en bosques secundarios, bosques ribereños y pasturas con árboles dispersos en la zona Atlántica de Costa Rica. En total, se contabilizaron 1157 árboles con dap >10 cm, agrupados en 145 especies, 46 familias. En los bosques secundarios, se registraron 90 especies de árboles, 91 especies en los bosques ribereños, 25 especies en pasturas con alta densidad de cobertura arbórea y 9 especies en pasturas con baja densidad de cobertura arbórea. Entre las principales especies en el paisaje estuvieron *Pentaclethra maculosa*, *Stryphnodendron microstachyum*, *Carapa guianensis*, *Cordia alliodora* y *Goethalsia meiantha*. Los depósitos promedio de carbono en la biomasa de los árboles fueron de 188,35 t/ha en bosques ribereños, 103,69 en t/ha en bosques secundarios, 22,3 t/ha en pasturas con alta cobertura arbórea y 20,6 t/ha en pasturas con baja cobertura arbórea. Este estudio demostró que los bosques ribereños y los árboles en pasturas juegan un papel importante en la conservación de la biodiversidad arbórea y poseen un alto potencial para el almacenamiento de carbono en el ámbito local y de paisaje.

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

Summary

Tree diversity and carbon storage in a fragmented landscape of the zone Atlantic, Costa Rica. Forest deforestation is one of the principal causes for biodiversity loss and climate change. It is important to know the tree cover diversity and the carbon content in fragmented landscapes to determine its potential for biodiversity conservation and climate change mitigation. The main goal of this study was to characterize tree cover diversity and estimate carbon contents in secondary forest, riparian forest and pasture with trees in the Atlantic zone, Costa Rica. A total of 1157 individual trees were recorded, grouped in 145 species from 46 families. In secondary forest, 90 species were recorded, 91 in riparian forest, 25 in pasture with high tree cover density, and 9 in pasture with low tree cover density. The most important tree species in the landscape were *Pentaclethra maculosa*, *Stryphnodendron microstachyum*, *Carapa guianensis*, *Cordia alliodora* and *Goethalsia meiantha*. The carbon content in the biomass of trees was 188.35 Mg/ha for riparian forest, 103.69 Mg/ha in secondary forest, 22.3 Mg/ha in pasture with high tree cover density, and 20.6 t/ha in pasture with low tree cover density. This study demonstrated that fragmented landscapes with an arrangement of land uses with presence of tree cover are important for biodiversity conservation and increase removal of CO₂ from the atmosphere.

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

Introducción

La deforestación y fragmentación de extensas áreas de bosques contribuyen a dos problemas globales: la pérdida de biodiversidad y el cambio climático. Al deforestar extensas áreas de bosques se crean paisajes fragmentados, lo cual actúa de manera negativa sobre la biodiversidad debido a que reduce y deteriora hábitats naturales e interrumpe la conectividad, lo que puede afectar significativamente el tamaño de las poblaciones de especies (Saunders et ál. 1991, Kattan 2002). Cuando se deforesta, se liberan importantes cantidades de CO₂ a la atmósfera (principal gas invernadero), que contribuyen al aumento del efecto invernadero y por consiguiente al incremento de la temperatura de la atmósfera. El cambio climático puede causar, a corto plazo, el aumento de la temperatura promedio mundial, el derretimiento de grandes glaciales y el aumento de los niveles del mar, con importantes impactos ecológicos, sociales y económicos (Lal y Kimble 1998, IPCC 2007).

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

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

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

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

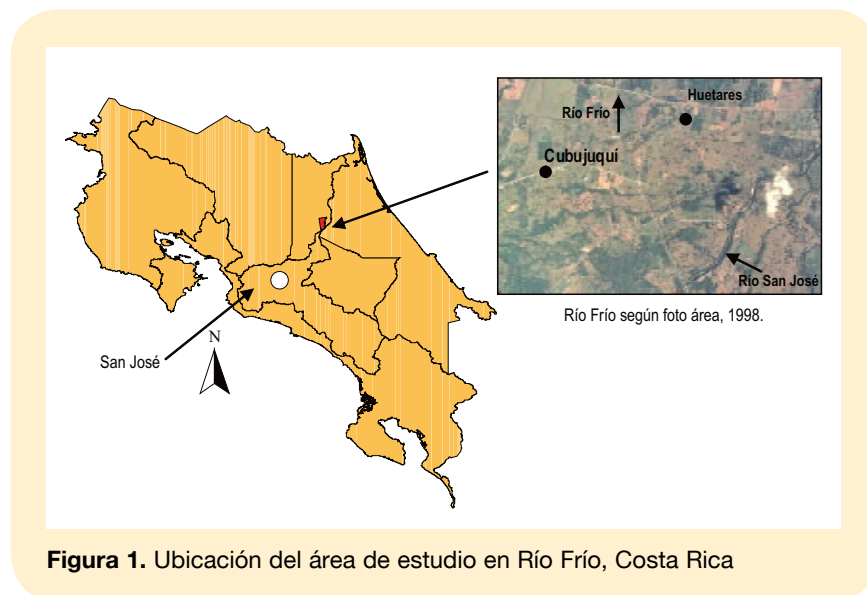
La investigación se realizó durante los meses de marzo a julio del 2003, en un área de 4483 ha en la localidad de Río Frío, perteneciente al sector norte de la región Atlántica de Costa Rica. La zona se caracteriza por la actividad ganadera de carne y leche. Geográficamente, se encuentra entre los 10°36'05"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

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

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

Muestreo

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



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

Todas las especies de árboles fueron identificadas en el campo con la ayuda de personal del herbario de la Universidad Nacional⁵ y el uso de guías dendrológicas y libros de especies arbóreas específicas de la zona y de Costa Rica (Holdridge y Poveda 1997, Sánchez-Vindas et ál. 1997, Fournier y García 1998, Jiménez 1999, Jiménez et ál. 1999). De los individuos que no pudieron ser identificados en campo se recolectó una muestra botánica para su identificación por curadores del herbario de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) y del Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio). Las palmas y las lianas no fueron tomadas en cuenta para este estudio.

Riqueza y diversidad arbórea

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

Composición y estructura arbórea

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

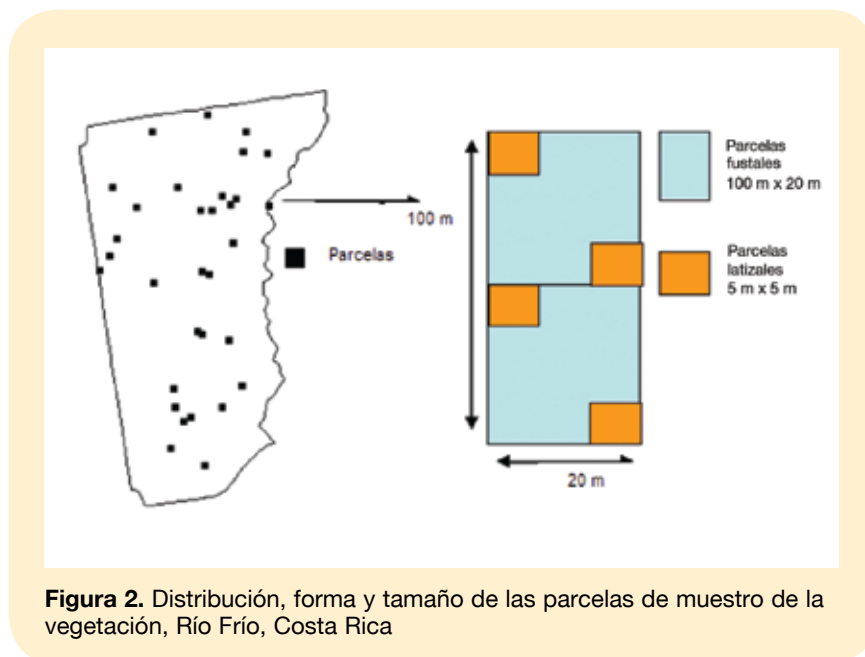


Figura 2. Distribución, forma y tamaño de las parcelas de muestreo de la vegetación, Río Frío, Costa Rica

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

Estimación del contenido de carbono en la biomasa arbórea

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

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

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

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

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

Análisis de datos

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

Resultados

Diversidad de árboles con dap ≥ 10 cm

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

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

Especies más importantes según usos de la tierra

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

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

Cuadro 1.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Cuadro 2.

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

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

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

Estructura arbórea

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

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

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

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

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

Depósitos de carbono en

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

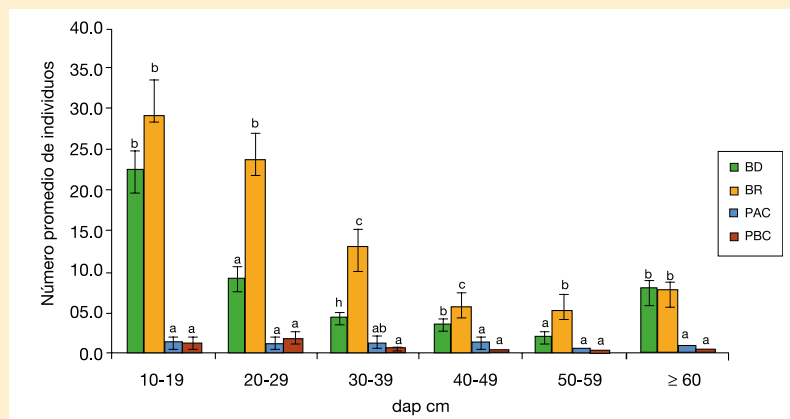


Figura 3. Número promedio de individuos con dap ≥10 cm por clase diamétrica para los hábitats bosque secundario (BD), bosque ribereño (BR), pasto con alta densidad de cobertura arbórea (PAC) y pasto con baja densidad de cobertura arbórea (PBC), Río Frío, Costa Rica. Letras distintas entre usos de la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

Cuadro 3.

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

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

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

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

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

Discusión y conclusiones

Caracterización arbórea

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

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

Cuadro 4.

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

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

* Tomado de Chacón (2003)

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

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

Importancia para la conservación de la diversidad arbórea

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

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

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

Almacenamiento de carbono

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



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

Foto: CATIE.

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

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

Implicaciones de este estudio

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



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

Foto: CATIE.

como cercas vivas o plantaciones forestales con pastoreo.

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

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

Agradecimientos

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

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

Literatura consultada

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