

Avances de Investigación

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 adicionalidad 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 Cabécar 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>	$B_i = 10^{(-1,63+2,63*\log(d_{30}))}$	0,98	Andrade et ál. (en preparación)
<i>Cordia alliodora</i>	$B_i = 10^{(-0,76+2,38*\log(dap))}$	0,94	
Frutales	$B_i = 10^{(-1,11+2,64*\log(dap))}$	0,95	
Palmas: <i>Euterpe precatoria</i> y <i>Phenakospermum guianensis</i>	$B_i = 6,67+12,83*h_i^{0,5}*ln(h_i)$	0,75	IPPC (2003)
<i>Bactris gasipaes</i>	$B_i = 0,74*h_i^2$	0,95	Szott et ál. (1993)
Otras especies tolerantes a la sombra	$B_i = 0,017*dap^{1,67}*h_i^{1,44}$	0,98	Ortíz (1997)
Otras especies intolerantes o parcialmente tolerantes a la sombra	$B_i = 0,014*dap^{1,85}*h_i^{1,26}$	0,97	
Otras especies de bosques	$B_i = 10^{(-1,47+2,72*\log(dap))}$	0,89	Proyecto LUCAM (en preparación)
Árboles dap > 60 cm	$B_i = e^{(0,76+0,00015*dap^2)*1000}$	0,71	Segura y Kanninen (2005)

Notas: B_i = 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_i = 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

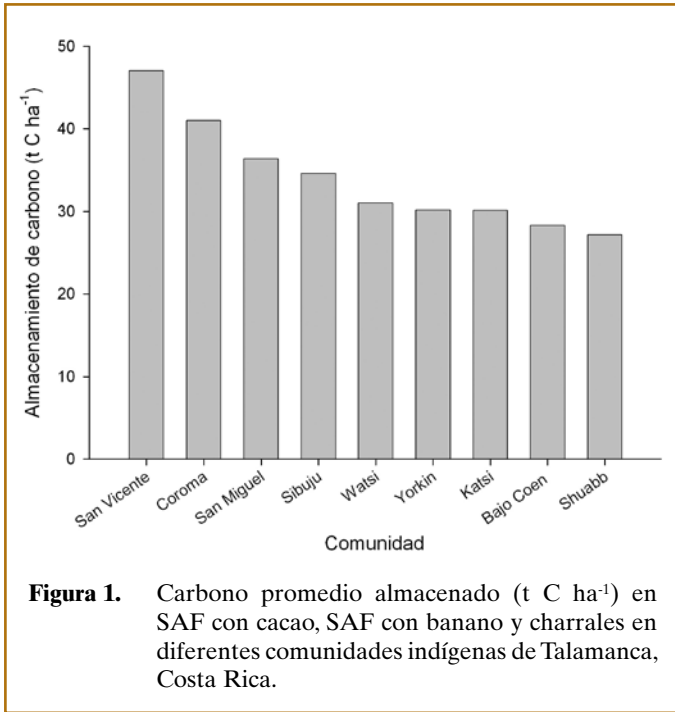
El estudio se realizó en los Territorios Indígenas Bribri y Cabécar de Talamanca, ubicados en la provincia de Limón, al sureste de la Zona Atlántica, Costa Rica (9°00'-9°50'N;

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



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 ≥ 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 U.S 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.