

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 platanales 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*.

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\$ t C⁻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.

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

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 Invenstigadores 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	$B_t = 10^{(-1,11+2,64*\log(\text{dap}))}$	0,95	1,9-46,5	—	Andrade et ál. en preparación. Desarrollados localmente.
	Cacao	$B_t = 10^{(-1,625+2,63*\log(d_{30}))}$	0,98	1,3-26,8	—	
	Laurel	$B_t = 10^{(-0,51+2,08*\log(\text{dap}))}$	0,92	3,9-102,0	—	
	Individuos (dap < 10 cm)	$B_t = 10^{(-1,27+2,20*\log(\text{dap}))}$	0,88	0,3-9,3	—	
	Siete especies de bosque natural	$B_t = e^{(0,76+0,00015*\text{dap}^2)*1000}$	0,71	60-105	19,5-39,0	Segura y Kanninen (2005)
	49 especies de bosque secundario	$B_t = 10^{(-1,5+2,7*\log(\text{dap}))}$	0,89	5-60	—	Segura et ál. en preparación
	<i>Coffea arabica</i>	$B_t = 10^{(-1,18+1,99*\log(d_{15}))}$	0,93	0,3-7,4	0,3-3,3	Segura et ál. (2006)
	Varias especies del trópico húmedo	$B_t = 21,30 - 6,95*\text{dap} + 0,74*\text{dap}^2$	0,92	4-112	—	Brown e Iverson (1992)
	<i>Sabal</i> sp.	$B_t = 24,56 + 4,92*h_t + 1,02*h_t^2$	0,82	—	0,2-14,5	IPCC (2003)
	<i>Euterpe precatória</i> y <i>Phenakospermum guianensis</i>	$B_t = 6,67 + 12,83*h_t^{0,5}*\ln(h_t)$	—	—	1-33	IPCC (2003)
Biomasa abajo del suelo		$B_{Raíces} = e^{(-1,06 + 0,88*\ln(B_t))}$	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); $B_{Raíces}$ = 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 ^a	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; ^a = 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 (U\$ 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 Yásica 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.