

Avances de Investigación

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 ^(4,0-41,4/E) B _t = e ^(7,2-86,2/E)	0,95 0,95
	Ojo de Agua	278	dap = e ^(3,8-37,8/E) B _t = e ^(6,9-78,7/E)	0,93 0,93
<i>Theobroma cacao</i>	Ojo de Agua y Matina	1111	D ₃₀ = 0,37*E ^{0,76}	0,75
			B _t = -2,02 + 0,19*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_t = 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.

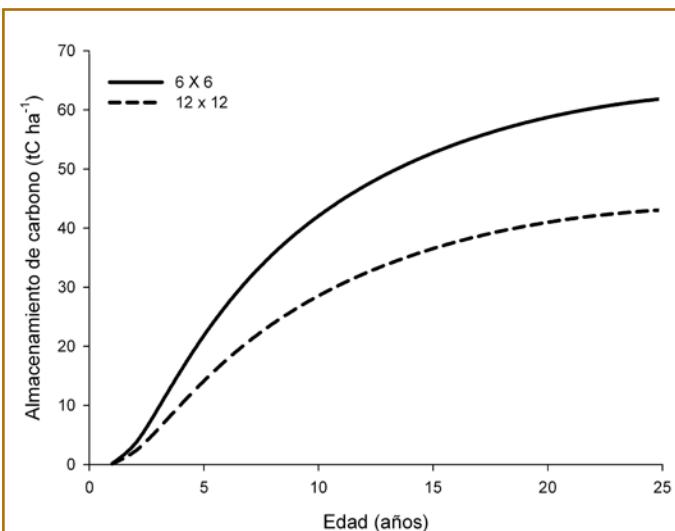


Figura 1. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con cacao y laurel bajo dos densidades de plantación de laurel (6 × 6 y 12 × 12 m) en Changuinola, Panamá.

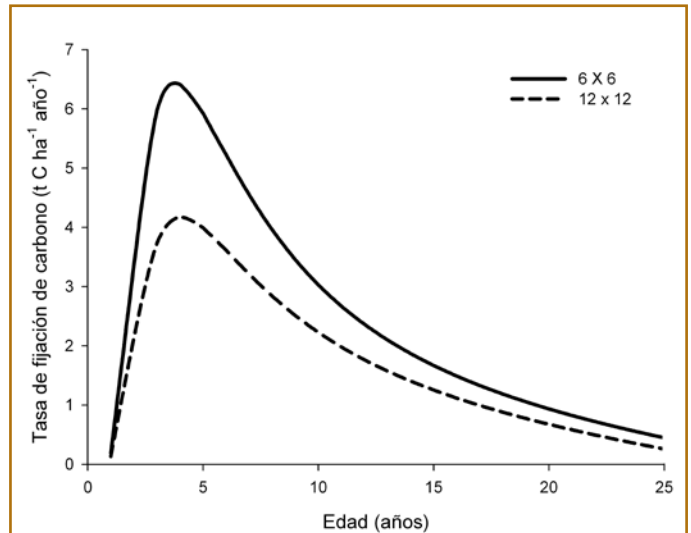


Figura 2. Incremento medio anual de carbono en sistemas agroforestales con cacao y laurel bajo dos densidades de plantación de laurel (6 × 6 m y 12 × 12 m), en Changuinola, Panamá.

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.
- Nieuwenhuyse, 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).