

ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN CACAOTALES (*Theobroma cacao*) EN ARMERO-GUAYABAL (TOLIMA, COLOMBIA)

CARBON STORAGE IN CACAO (*Theobroma cacao*) PLANTATIONS IN ARMERO-GUAYABAL
(TOLIMA, COLOMBIA)

Andrade, Hernán J.¹; Figueroa, Juliana María del Pilar²; Silva, Doris P.²

Resumen

El cambio climático sigue siendo la principal amenaza de la humanidad hoy en día. Esta problemática se ha incrementado debido a las acciones humanas, como el uso de combustibles fósiles, la deforestación y la degradación. La comunidad mundial organizada ha establecido esquemas para mitigar este problema ambiental, por ejemplo el mecanismo de desarrollo limpio. Los sistemas agroforestales con cacao son considerados como mitigadores del cambio climático por capturar carbono en biomasa, necromasa y suelos. Se estimó el almacenamiento y la fijación de carbono en biomasa arriba del suelo y necromasa de cacaotales de 18 y 35 años de edad en el Centro Universitario Regional del Norte, en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia) CURDN. Los cacaotales estudiados almacenaron 28.8 y 33.6 t C ha⁻¹ en biomasa arriba del suelo a los 18 y 35 años, respectivamente, que arrojaron una tasa de fijación promedio de 1.1 t C ha⁻¹ año⁻¹. El carbono almacenado en necromasa ascendió a 4.4 t ha⁻¹, con diferencias leves entre las edades de las plantaciones. Los sistemas agroforestales con cacao en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia) tienen potencial para mitigar el cambio climático al capturar carbono en biomasa y necromasa.

Palabras clave: biomasa arriba del suelo, cambio climático, mitigación, modelos de biomasa, necromasa.

Abstract

Climate change holds as the current main threat of the humankind. This problem has been increasing by human actions such as the use of fossil fuels, deforestation and degradation. The organized world community has established schemes to mitigate this environmental problem, such as the Clean Development Mechanism. Agroforestry systems with cacao are considered as mitigating activities of climate change due to their capture of carbon in biomass and necromass. The carbon storage and fixation in aboveground biomass and necromass in cacao plantations of 18 and 35 years in the Centro Universitario Regional del Norte (CURDN), in Armero-Guayabal (Tolima, Colombia) were estimated. The studied cacao plantations stored 28.8 and 33.6 t C ha⁻¹ in aboveground biomass with an age of 18 and 35 years respectively, showing an average fixation rate of 1.1 t C ha⁻¹ year⁻¹. The stored carbon in necromass was 4.4 t ha⁻¹, with slight differences between the ages of plantations. Agroforestry systems with cacao in Armero-Guayabal, Tolima, Colombia have the potential to mitigate climate change due its capture of atmospheric carbon in aboveground biomass and necromass.

Keywords: aboveground biomass, climate change, mitigation, biomass models, necromass.

¹ Profesor-investigador, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima., Barrio Santa Helena, AA 546, correo: hjanrade@ut.edu.co.

² Ingeniera Agrónoma, Universidad del Tolima.

Introducción

El cambio climático se ha convertido en una de las amenazas más preocupantes para el medio ambiente global, debido al gran impacto negativo que está causando en la salud humana, la seguridad alimentaria, la economía mundial, los recursos naturales y la infraestructura física [1]. Una de las manifestaciones del cambio climático es el calentamiento global, producido por el incremento en la concentración de diversos gases en la atmósfera, conocidos como de efecto invernadero (GEI), entre los que destacan: el bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), el ozono (O_3), el bióxido de azufre (SO_2) y los clorofluorocarbonos [2]. Se estima que el CO_2 es el responsable del 71.5 % del efecto invernadero [3]. Esto se debe, principalmente, a la utilización indiscriminada de combustibles fósiles y a los cambios de uso del suelo [4]. Según cifras reportadas por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, se estima que la emisión de carbono por deforestación es de 1.6 billones de toneladas por año ($1 \text{ t C} = 3.67 \text{ t CO}_2$) [5].

Las plantas utilizan CO_2 y liberan O_2 durante el proceso de la fotosíntesis. A diferencia de las especies anuales, los árboles almacenan los fotoasimilados en componentes de carbono en sus estructuras leñosas por periodos prolongados, por lo que se les debe considerar como reservas naturales de carbono. La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal [6]. De esto se desprende que los sistemas agroforestales y forestales se conviertan en una alternativa como sumideros de CO_2 atmosférico.

El secuestro de carbono por plantaciones forestales ha sido propuesto como una medida positiva en el balance de los niveles atmosféricos de CO_2 [7, 8]. A partir del Protocolo de Kioto, se establecieron compromisos vinculantes de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de los países industrializados, empleando ciertos mecanismos a través de los cuales se podrían incentivar las plantaciones agroforestales y forestales en busca de captura de carbono, como el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) [9]. El MDL permite el cumplimiento de metas que contribuyen a la reducción de emisiones en la mayoría de los países industrializados, y también ayuda a un desarrollo llevadero y a la generación de tecnología dirigida a los países en vías de desarrollo. La oportunidad de recibir compensación financiera a cambio de las funciones de almacenamiento de carbono en los árboles y el suelo

es un desarrollo de mercado relativamente nuevo. Sin embargo, es un servicio importante de los ecosistemas para mitigar el cambio climático, con un comercio internacional creciente [10].

Los cacaotales, además de ofrecer ventajas comparativas en relación con otros usos del suelo, constituyen uno de los más importantes sistemas productivos en las fincas, ya que se cultiva juntamente con otras especies vegetales, sobre todo, café, plátano, frutales y maderables, los cuales al mismo tiempo que producen sombra, permiten al agricultor tener otras alternativas de ingresos [11]. Estos sistemas también pueden contribuir en la conservación de biodiversidad y, últimamente, por su función como sumideros de carbono [12].

La biomasa arriba del suelo está compuesta por los árboles, la vegetación arbustiva y la herbácea que se encuentra en la parte aérea. Estos componentes de la biomasa se muestrean en parcelas de proporciones acordes con cada tipo de vegetación. Es muy relevante hacer notar que el componente más importante de esta fuente son los árboles [13]. La hojarasca se refiere a la vegetación muerta que se encuentra depositada sobre la superficie del suelo y que está en diferentes grados de descomposición. Este sumidero de carbono se estima de dos maneras. La hojarasca se colecta del suelo, en el área de la parcela donde se midió la vegetación herbácea, teniendo cuidado de extraer toda la capa de material, incluso el humus y la materia vegetal muerta que aún no esté en proceso de descomposición [13].

El objetivo de este estudio es estimar la capacidad de almacenamiento de carbono en biomasa aérea y hojarasca en cacaotales del Centro Universitario Regional del Norte (CURDN).

Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló en tres lotes del CURDN, localizado en el municipio de Armero-Guayabal, a 85 km al norte de Ibagué, y a 4 km margen derecha de la carretera principal. El área de estudio tiene una temperatura promedio de $27 \text{ }^\circ\text{C}$, precipitación de 1791 mm año^{-1} y una altura sobre el nivel del mar de 275 m [14].

El trabajo se realizó en tres etapas: la primera, toma de datos y muestreo de hojarasca; la segunda, de laboratorio que consistió en el secado de las muestras, y, por último, el análisis e interpretación de datos que permitió estimar el almacenamiento de carbono tanto en la biomasa arriba del suelo como en la hojarasca.

Los cacaotales evaluados presentaban edades de 18 y 35 años, con una densidad de plantación de $2 \times 2.5 \text{ m}$

y 3×3 m, respectivamente. Se establecieron tres parcelas temporales de muestreo en cada lote: en el primero, parcelas de 120 m^2 , y en el segundo y tercer lote, parcelas de 135 m^2 (Figura 1). La diferencia en el tamaño de las parcelas de muestreo se debe a la densidad de la plantación de las plantas de cacao. Se midió la circunferencia del tronco de todos los árboles

de cacao a una altura de 30 cm (C_{30}) en cada una de las parcelas con una cinta métrica para luego dividirlo por π y obtener el diámetro (d_{30}). Con este diámetro, se aplicó la ecuación alométrica (Ec. 1) para la estimación de la biomasa aérea total por árbol desarrollada por Andrade y col. [15].

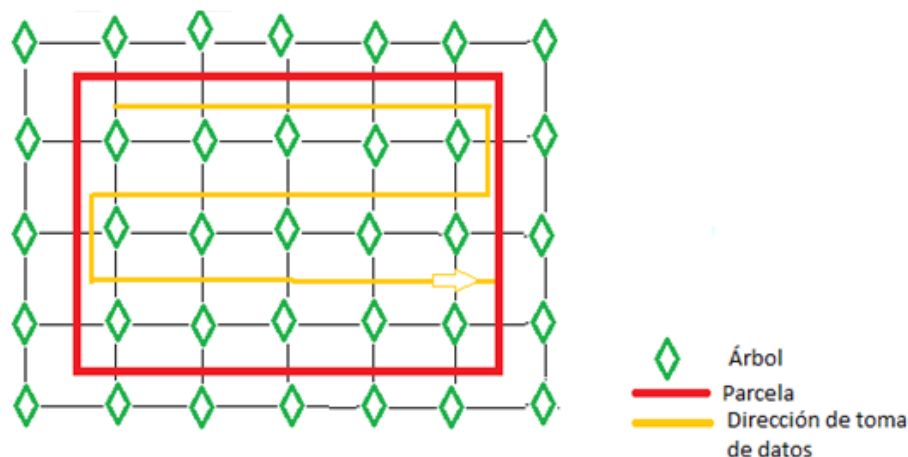


Figura 1. Parcela temporal de muestreo para la medición de los árboles de cacao.

$$B = 10^{(-1.625 + 2.63 \times \text{Log}(d_{30}))} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

B: biomasa arriba del suelo (kg árbol^{-1})
 d_{30} : diámetro del tronco a 30 cm de altura)

La estimación de la materia seca en hojarasca (necromasa) se realizó obteniendo muestras usando un marco de 0.5×0.5 m, estableciendo cuatro subparcelas dentro de la parcela de muestreo y recogiendo todo el mantillo presente en cada marco. Posteriormente, se pesó en fresco y se tomó una submuestra de cerca de 200 g para estimar el contenido de la materia seca en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad del Tolima [16].

La estimación de la materia seca en hojarasca se obtiene calculando la humedad (Ec. 2). Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$CH = \frac{(Phs - Pss)}{Phs} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

CH: contenido de humedad
 Phs: peso húmedo submuestra (g)
 Pss: peso seco submuestra (g)

Con el valor de contenido de humedad se procedió a calcular la proporción del peso húmedo que corresponde a materia seca (Ec. 3):

$$MS = Pht - (Pht \times CH) \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

MS: materia seca (g)
 Pht: peso húmedo total (g)
 CH: contenido de humedad (fracción)

La biomasa aérea y la materia seca de la hojarasca se multiplicó por 0.5, fracción de carbono recomendada por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático [17] para estimar el almacenamiento de carbono. La tasa de fijación de carbono se estimó como el cociente entre el almacenamiento de carbono en biomasa arriba del suelo y la edad de cada sistema.

Resultados y discusión

Los cacaotales del CURDN almacenaron en promedio 28.8 y 33.6 t C ha^{-1} en biomasa arriba del suelo a los 18 y 35 años de edad, respectivamente (Tabla 1); estos resultados son comparables a lo encontrado por Cerda [18] en Guatemala, quien halló 39.4 t C ha^{-1} . Según este autor, en su proyecto "Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao de Centroamérica", la mayor acumulación de carbono se da hasta los primeros 10 años de edad, a diferencia de los valores encontrados en nuestro trabajo, que son bajos: un 20.0 y 21.5 t C ha^{-1} en cacaotales de 18 y 35 años. Sin embargo, de acuerdo con Aristizábal y Guerra [19], hasta los 15 años hay una alta acumulación de carbono (64.5 t C ha^{-1}).

Tabla 1. Almacenamiento y tasas de fijación de carbono en biomasa arriba del suelo en cacaotales del CURDN, Armero-Guayabal (Tolima, Colombia).

Lote	Edad (años)	Biomasa (t ha ⁻¹)	Carbono (t ha ⁻¹)	Tasa de fijación (t C ha ⁻¹ año ⁻¹)
1	35	74.9	37.5	1.3
	18	57.2	28.6	1.1
	35	59.6	29.8	1.0
2	18	69.6	34.8	1.0
	18	79.4	39.7	1.3
	18	56.7	28.3	1.1
3	18	40.1	20.1	0.8
	18	42.9	21.5	0.9
	Promedio	60.1	30.0	1.1
Desviación estándar		14.1	7.1	0.2

La tasa de fijación de carbono promedio en biomasa arriba del suelo fue de 1.0 t C ha⁻¹ año⁻¹, con muy leves diferencias con la edad del sistema (Tabla 1). De acuerdo con Aristizábal y Guerra [19], en Caldas (Colombia), el sistema agroforestal laurel-cacao tiene una tasa de fijación de 4.3 t C ha⁻¹ año⁻¹, que es un valor muy superior a lo encontrado en este estudio. La diferencia anterior se debe, posiblemente, a la presencia del componente arbóreo (*C. alliodora*) y a la falta de manejo en los cacaotales estudiados. Sin embargo, según estos mismos autores, la tasa de fijación de los árboles de cacao es de 1 t C ha⁻¹ año⁻¹, valor muy semejante a lo encontrado en el presente estudio (0.9 a 1.3 t C ha⁻¹ año⁻¹).

El carbono almacenado promedio en la hojarasca fue de 4.4 t C ha⁻¹, con muy leves diferencias entre cacaotales de diferente edad (4.1 y 4.5 t C ha⁻¹ para lotes de 18 y 35 años de edad) (Tabla 2). Cerda [18] encontró almacenamientos de carbono en hojarasca para cacaotales de Centroamérica entre 1.3 y 8.0 t C ha⁻¹, lo que resulta similar a los hallazgos de este estudio. También se hallaron semejanzas con lo reportado por Cerda [18] en cacaotales de la costa sur de Guatemala (3.6 t C ha⁻¹). En el trabajo realizado por Concha y col. [1], en el departamento de San Martín (Perú), los cacaotales acumularon de 4 a 10 t C ha⁻¹ en la hojarasca de los sistemas agroforestales con cacaos estudiados.

Tabla 2. Almacenamiento de carbono en necromasa de cacaotales del CURDN, Armero-Guayabal (Tolima, Colombia).

Lote	Edad del lote	Parcela	Hojarasca (t ha ⁻¹)		Almacenamiento promedio (t C ha ⁻¹)
			Materia seca	Carbono	
1	35	1	5.9	2.9	4.9
	18	2	11.7	5.8	
	35	3	12.2	6.1	
2	18	1	14.3	7.1	6.2
	18	2	10.7	5.3	
	18	1	6.3	3.2	
3	18	2	4.0	2.0	2.2
	18	3	2.7	1.3	

Estos estudios preliminares encontraron que las tasas de acumulación de carbono en hojarasca son altas en plantaciones jóvenes para luego ir disminuyendo con el tiempo. Se encontró que en los primeros 18 años se acumuló carbono en hojarasca a una tasa de 0.23 t C ha⁻¹ año⁻¹, pero luego esta disminuyó durante los siguientes 17 años a 0.02 t C ha⁻¹ año⁻¹. Esto demuestra lo que indican muchos estudios: una vez se alcanza un máximo de acumulación de carbono en hojarasca, esta tiende a estabilizarse.

Conclusiones

A pesar de que la zona donde se realizó el trabajo no presentó un adecuado manejo a la plantación, como lo son las diferentes prácticas culturales, por ejemplo podas, entre otras, se obtuvieron datos que fácilmente se pudieron comparar con el proyecto de “Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao de Centroamérica”, realizado por Rolando Cerda. Esto demuestra que los sistemas

agroforestales con cacao tienen una alta capacidad de almacenamiento y fijación de carbono y pueden constituirse en un importante mecanismo que permita a los pequeños productores de esta zona acceder a un pago por servicios ambientales bajo este tipo de uso del suelo.

Los lotes con cacao evaluados en el CURDN acumularon a los 18 años de edad un promedio de 28.8 t C ha⁻¹ y a los 35 años 33.6 t C ha⁻¹. Para la tasa de fijación de carbono a los 18 años, se acumuló en promedio 1.0 t ha⁻¹ y 1.1 t ha⁻¹ a los 35 años.

Entre las opciones con particular potencial para aumentar el secuestro de carbono están los sistemas agroforestales implementados con cacao o café complejos. Estos sistemas, que, genéricamente, pueden ser definidos como el crecimiento o la retención deliberada de árboles juntamente con cultivos o animales en la misma área para la obtención de múltiples productos o beneficios, son importantes en la mitigación de GEI en la medida en que incorporan el elemento arbóreo, aumentando, así, la biomasa total producida, como también el aumento de la materia orgánica del suelo.

La agricultura y las formas alternativas de circulación de productos también pueden representar una importante oportunidad para la mitigación de los efectos negativos de los GEI en el medio ambiente. Los sistemas de producción en que el ecosistema original constituye la matriz tecnológica o simplemente los sistemas agroforestales y redes de producción y circulación de productos ecológicos pueden contribuir en la reducción de los GEI.

Referencias

- [1] Concha, J.; Alegre, J.; Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L en el departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 6(1-2), 75-82.
- [2] Chacón, M.L.; Rüginitz, M.T.; Porro, R. (2008). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales, 1.ª ed. (Consorcio Iniciativa Amazónica, Centro Mundial Agroforestal, Belém, Brasil).
- [3] Aguirre, R.; Garza, E.; Pérez, J. (2006). Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia Universidad Autónoma de Nuevo León*, IX(2), 179-187.
- [4] Samayoa, S. (2009). Mecanismo de Desarrollo Limpio: conceptos básicos. Guía para la presentación y formulación de proyectos (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, Tegucigalpa, Honduras).
- [5] Rojas, J.; Ibrahim, M.; Andrade, H. (2009). Secuestro de carbono y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. *Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(2), 214-223.
- [6] Schulze, E. D.; Wirth, Ch.; Heimann, M. (2000). Managing forests after Kyoto. *Science*, 289(5487), 2058-2059.
- [7] Camps, M.; Pinto, M. (2006). Los sumideros de carbono en el marco del Protocolo de Kioto. *Edafología*, 11(1), 31.
- [8] Solla, F.; Mansilla, P.; Pérez, C.; Álvarez, C.; Rodríguez, R.; Merino, A. (2007). Secuestro de C en plantaciones de *Eucalyptus* spp. establecidos en terrenos agrícolas en el norte de España. *Boletín del CIDEU*, 4, 49-57.
- [9] Consejo Nacional del Ambiente. (2001). Comunicación Nacional del Perú para la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Consejo Nacional del Ambiente, Lima).
- [10] Gibbon, A.; Hayward, J.; Baroody, J. (2009). Lineamientos para el diseño de proyectos de carbono en cafetales usando la metodología agroforestal simplificada (Rainforest Alliance).
- [11] Martínez Covalada, H.J.; Espinal G., C.F.; Ortiz Hermida, L. (2005). La cadena del cacao en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá DC).
- [12] Beer, J.; Harvey, C.; Ibrahim, M.; Harmand, J.M.; Somarriba, E.; Jiménez, F. (2003). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*, 10(37-38), 80-87.
- [13] Márquez, L. (2000). Elementos técnicos para inventario de carbono en uso del suelo (Fundación Solar, Guatemala).
- [14] Universidad del Tolima. http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home_1/htm/cont0.jsp?rec=not_15549.jsp [Consulta: marzo de 2012].
- [15] Andrade, H.J.; Segura, M.; Somarriba, E.; Villalobos, M. (2008). Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 46, 45-50.
- [16] Andrade, H.; Ibrahim, M. (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas*, 10(39-40), 109-116.
- [17] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001). Climate Change 2001. Synthesis report: a summary for policymakers. <http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/synthesis-spm/synthesis-spm-en.pdf>. [Consulta: marzo de 2012]
- [18] Cerda, R. (2011). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao de Centroamérica. IV Foro Nacional de Cacao en Panamá.
- [19] Aristizábal, J.; Guerra, A. (2002). Estimación de la tasa de fijación de carbono en el sistema agroforestal nogal cafetero *Cordia alliodora*- cacao *Theobroma cacao* L plátano-Musa paradisíaca (Trabajo de grado, Bogotá, Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Distrital).