

Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa aérea y el mantillo en sistemas agroforestales de café en el suroeste de Costa Rica¹

Sergio de Miguel Magaña²; Jean Michel Harmand³; Kristell Hergoualc'h⁴

Palabras claves: almacenamiento de carbono; *Eucalyptus deglupta*; *Erythrina poeppigiana*; hojarasca; *Terminalia ivorensis*.

RESUMEN

Se cuantificó el carbono almacenado en la fitomasa aérea (biomasa viva y mantillo) de diferentes sistemas agroforestales de café en la zona Pacífico Sur de Costa Rica. Se desarrollaron relaciones alométricas para estimar la biomasa de dos especies maderables y muestreos aleatorios para evaluar la biomasa de café, mantillo y una especie arbórea de servicio. En comparación con un sistema de *Coffea arabica* en monocultivo a pleno sol de 14 años, un sistema de *C. arabica* (14 años) sombreado por *Eucalyptus deglupta* (siete años) aumentó el almacenamiento de C en la fitomasa por encima del suelo en 17 t ha⁻¹. Este valor correspondió a la biomasa aérea de los árboles (14 tC ha⁻¹) y al incremento de la capa de mantillo desde 1,2 tC ha⁻¹ bajo café a pleno sol hasta 4,2 tC ha⁻¹ bajo *E. deglupta*. Además, en una comparación de sistemas agroforestales de café de cuatro años, la especie forestal que más C almacenó en su biomasa aérea fue *Terminalia ivorensis* (12,4 tC ha⁻¹), seguida por *E. deglupta* (5,3 tC ha⁻¹) y *Erythrina poeppigiana* (4,4 tC ha⁻¹).

Quantification of carbon stored in aboveground biomass and the litter layer in agroforestry systems with coffee in the South-West of Costa Rica

Key words: Carbon storage; *Erythrina poeppigiana*; *Eucalyptus deglupta*; fallen leaves; *Terminalia ivorensis*.

ABSTRACT

Carbon stored in aboveground phytomass (live biomass and litter layer) was quantified in different agroforestry systems with coffee in the Southern Pacific zone of Costa Rica. Allometric relationships were developed to estimate timber tree biomass (two species). Random sampling was used to evaluate the biomass in one "service" tree species, coffee and the litter layer. Comparing 14 year old *Coffea arabica* plantations (monocultures and shaded plots), inclusion of *Eucalyptus deglupta* (seven years old) increased the C stock in the above ground phytomass by 17 t ha⁻¹. This value included the amount of C stored in the above ground tree biomass (14 tC ha⁻¹) and the increase in the litter layer from 1.2 tC ha⁻¹ under full sun coffee to 4.2 tC ha⁻¹ under *E. deglupta*. When different tree-coffee systems (four years old) were compared *Terminalia ivorensis* stored the largest amount of C in the aboveground biomass (12.4 tC ha⁻¹), followed by *E. deglupta* (5.3 tC ha⁻¹) and *Erythrina poeppigiana* (4.4 tC ha⁻¹).

INTRODUCCIÓN

Existe un gran interés en conocer el potencial de almacenamiento de carbono (C) en los sistemas agroforestales (SAF), ya que estos podrían ser tomados en cuenta por los mecanismos de desarrollo limpio (MDL) del Protocolo de Kioto (UNFCCC 2002). En Costa Rica, los SAF ya han sido reconocidos por el

Decreto No. 30962 (MINAE 2003) en virtud de los servicios ambientales que brindan a la sociedad, entre los cuales se encuentra el secuestro de C.

La cantidad de C almacenado en los árboles de sombra está directamente relacionada con la biomasa en

¹ Basado en: De Miguel Magaña, S. 2002. Dynamique de la biomasse de différents systèmes agroforestiers caféiers dans la zone Sud du Costa Rica. Tesis M. Sc. ENGREF, Francia.

² M.Sc. en Forestería Rural y Tropical, ENGREF, Francia. Correo electrónico: sergio.demiguel@ctfc.es (autor para correspondencia).

³ Profesor-investigador, CATIE/CIRAD Correo electrónico: jean_michel.harmand@cirad.fr

⁴ Investigadora, CATIE, Sede Central. Correo electrónico: hergoualc'h@catie.ac.cr

pie. Desde un punto de vista económico, también es importante conocer el potencial de producción de madera de los SAF para la diversificación de las fuentes de ingreso de la finca. Este estudio se enfocó en la cuantificación del C almacenado en la fitomasa aérea (biomasa y mantillo) de diferentes SAF de café. En primer lugar, se comparó un sistema de café a pleno sol con un sistema sombreado por *Eucalyptus deglupta*. Posteriormente, se evaluó cuánto C almacenaban tres especies de árboles de sombra usadas en sistemas de café en la Zona Sur de Costa Rica: dos maderables (*Terminalia ivorensis* y *E. deglupta*) y una leguminosa (*Erythrina poeppigiana*). Finalmente, utilizando el método de cálculo de los MDL (Smith y Scherr 2002), se estimó la adicionalidad de un proyecto de café sombreado por *E. deglupta*, con una línea base de café a pleno sol.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se ubica cerca de la costa Pacífico Sur de Costa Rica, 20 km al sur de la ciudad de San Isidro del General, en las fincas Verde Vigor y Santa Fe (9°15'-9°16'N, 83°29'-83°30'O; entre 600 y 700 msnm). La humedad relativa promedio del aire (87,5 %) y la temperatura promedio anual (25,7 °C) son elevadas. La precipitación anual es de 3516 mm en Verde Vigor y 2740 mm en Santa Fe, con una estación seca de tres meses (entre enero y marzo). Según la clasificación de Holdridge, la zona de vida del sitio corresponde a un

Bosque Húmedo Tropical. Los suelos fueron clasificados como Ustox Palehumult. El uso anterior de los suelos para potreros o caña provocó un efecto muy negativo sobre la fertilidad de los mismos (características físicas y químicas). No obstante, los altos aportes de fertilizantes al café compensaron esta baja fertilidad.

En la finca Santa Fe, se escogieron dos plantaciones comerciales adyacentes, de 0,5 ha cada una (Cuadro 1; café a pleno sol y café con eucalipto), en las cuales el café fue establecido en 1988 y los eucaliptos en 1995. Las dos plantaciones tuvieron la misma historia y manejo. Dado que no había otro par de parcelas con las mismas condiciones, no fue posible obtener repeticiones.

En la finca Verde Vigor se trabajó en un ensayo con bloques completos al azar, originalmente con cuatro réplicas. Los tratamientos principales fueron las asociaciones de *C. arabica* con árboles maderables (*E. deglupta* o *T. ivorensis*) o con árboles de servicio (leguminosa *E. poeppigiana*). La plantación de *C. arabica* cv. Costa Rica 95 fue establecida en mayo de 1998. En julio de 1998 se establecieron los árboles *E. deglupta* o *T. ivorensis* a 6 x 6 m, y *E. poeppigiana* a 8 x 8 m. Las mediciones de fitomasa se realizaron en tres parcelas con maderables y dos parcelas con el árbol de servicio, las cuales recibieron el mismo manejo y tenían la misma pendiente.

Cuadro 1. Características de las parcelas agroforestales con café estudiadas en la Zona Sur de Costa Rica

Sistema	Uso anterior del suelo	Parcelas estudiadas (no.)	Tamaño de parcelas (m x m)	Edad (años)		Densidad (unidad ha ⁻¹)	
				Árboles	Cafetos	Árboles	Cafetos
Finca Santa Fe							
<i>Coffea arabica</i> a pleno sol	Potrero	1	70 x 70	—	14	—	5819
<i>C. arabica</i> – <i>Eucalyptus deglupta</i>	Potrero	1	70 x 70	7	14	120	6035
Finca Verde Vigor							
<i>C. arabica</i> – <i>Terminalia ivorensis</i>	Caña	3	48 x 42	4	4	250	4720
<i>C. arabica</i> – <i>E. deglupta</i>	Caña	3	48 x 42	4	4	250	4720
<i>C. arabica</i> – <i>Erythrina poeppigiana</i>	Caña	2	48 x 40	4	4	156	4720

Medición de la fitomasa por encima del suelo

Se utilizó un valor promedio de 0,5 para la fracción de C contenida en la materia seca (MS) (Hamburg 2000). En el caso de los árboles de sombra maderables, se establecieron relaciones alométricas entre el dap (diámetro del tallo a la altura del pecho) y la biomasa aérea de cada árbol. Primero se midieron los dap de todos los árboles, y para cada sistema se eligieron entre 10 y 12 árboles que representaban todas las clases diamétricas en forma proporcional a su frecuencia en el inventario de este sistema. Se talaron estos individuos entre mayo y junio, cuando la biomasa foliar no estaba todavía en su máximo, se midió su longitud y se pesaron por partes (tronco; ramas con diámetro >3 cm; ramas con diámetro de 1-3 cm; ramas con diámetro <1 cm; hojas). Se secaron fracciones representativas de cada parte de cada árbol en un horno a 65 °C hasta peso constante, para calcular los grados de humedad y, así, la MS contenida en cada árbol. Las relaciones alométricas obtenidas (Cuadro 2) se aplicaron al inventario de las parcelas para obtener la biomasa aérea arbórea en MS de las parcelas. Esta biomasa dividida entre la superficie permitió calcular la biomasa aérea arbórea por unidad de superficie.



Medición del peso de muestras de tronco para secarlas posteriormente y calcular su contenido de humedad, finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica (foto: Sergio de Miguel Magaña).

Cuadro 2. Ecuaciones alométricas para la determinación de la biomasa de los árboles de sombra en cafetales de la Zona Sur de Costa Rica

Especie maderable	Ecuación para la parte aérea del árbol	P > F	R ²
<i>Eucalyptus deglupta</i> en Santa Fe	Ln MS = -2,31 + 2,4746 Ln (dap) (rango dap 11-32)	<0,0001	0,99
<i>E. deglupta</i> en Verde Vigor	Ln MS = -2,76342 + 2,60778 Ln (dap) (rango dap 6-22)	<0,0001	0,98
<i>Terminalia ivorensis</i> en Verde Vigor	Ln MS = -2,28454 + 2,40818 Ln (dap) (rango dap 9-23)	<0,0001	0,94

MS=materia seca (kg árbol⁻¹); dap =diámetro del tallo a la altura del pecho (cm); Ln=logaritmo natural.

El manejo local de *E. poeppigiana* —poda drástica dos veces al año— no permitió establecer una relación entre el dap y la biomasa aérea del árbol. Por lo tanto, primero se estimó el volumen del tronco y se pesaron las ramas y hojas (residuos de una poda total) de 12 árboles seleccionados al azar entre las dos parcelas (seis por parcela). Para calcular el volumen del tallo de *E. poeppigiana*, se midió la altura y los diferentes diámetros del tronco (a 10 y 130 cm del suelo y en el punto de intersección con las ramas). El volumen promedio del tronco multiplicado por la densidad de la madera —250 kg MS m⁻³ según Ávila (2000)— permitió estimar su biomasa. Se separaron y pesaron por árbol ramas jóvenes (menos de un año), ramas viejas (más de un año) y hojas. Se evaluó el grado de humedad y la MS de ramas y hojas (una muestra por árbol de ramas jóvenes, ramas viejas y hojas). La biomasa por unidad de superficie se obtuvo sumando la MS contenida en el tronco, las ramas y las hojas, y multiplicando el promedio de biomasa por árbol de los 12 árboles por la densidad de la plantación (156 árboles ha⁻¹).

En cuanto a los cafetos, en las plantaciones de cuatro años de Verde Vigor se midió solamente la biomasa aérea del café en el sistema con eucalipto en el mes de junio. Para ello, se midió el número de tallos por planta, así como la altura y diámetro de los tallos a 10 cm del suelo de 12 cafetos por sistema seleccionados aleatoriamente, y se pesó seguidamente cada parte (tallos, bandolas, hojas y frutos). Se estableció el grado de humedad para cada parte con tres muestras por parcela. La biomasa aérea de los cafetos se obtuvo multiplicando la MS promedio de los cafetos por la densidad de plantación (4720 cafetos ha⁻¹).



Separación de las diferentes partes de un café (hojas, fruto, bandolas y tallo) para calcular la biomasa, Finca verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica (foto: Sergio de Miguel Magaña).

En Santa Fe, los cafetos tenían 14 años, por lo cual ya se encontraban bajo el ritmo de manejo practicado en la región, que tiene como objetivo renovar la parte vegetativa de la planta en beneficio de los órganos fructíferos. Este manejo consiste en una poda a 20 cm del suelo, realizada a partir del cuarto año de instalación del café, y conlleva la eliminación de casi toda la parte aérea de este. Se aplica agrupando tres hileras de plantación de cafetos, de tal manera que se poda anualmente una hilera diferente para volver sobre la misma al cabo de tres años. Por este motivo, se efectuó un inventario previo de las alturas de los cafetos, con el fin de determinar la planta de tamaño promedio para cada tipo de hilera. Luego, se seleccionaron de 7 a 10 plantas de alturas promedio por tipo de hilera, para las mediciones de biomasa (totales de 21 cafetos del sistema con *E. deglupta* y 28 en pleno sol).

La medición de la biomasa del mantillo fue realizada sobre todas las parcelas, con excepción de aquellas sombreadas por *E. poeppigiana*, donde el mantillo no era representativo de los sistemas café-*E. poeppigiana* de la región debido a un régimen de poda demasiado intensivo, pero con una densidad de plantación por debajo de lo común: 8×8 en lugar de 4×6 m. En cada parcela se extrajeron ocho muestras de $0,5 \text{ m}^2$, secadas hasta peso constante, tomadas con dos marcos de $0,25 \text{ m}^2$ ordenados a ras del suelo, siguiendo un muestreo sistemático aleatorio (Fig. 1). La contaminación por suelo provoca una sobreestimación del peso; por lo tanto, se calcinaron seis submuestras compuestas de cada sistema a $550 \text{ }^\circ\text{C}$ y el peso de cenizas que representa el material mineral inerte fue deducido del peso inicial de la muestra.

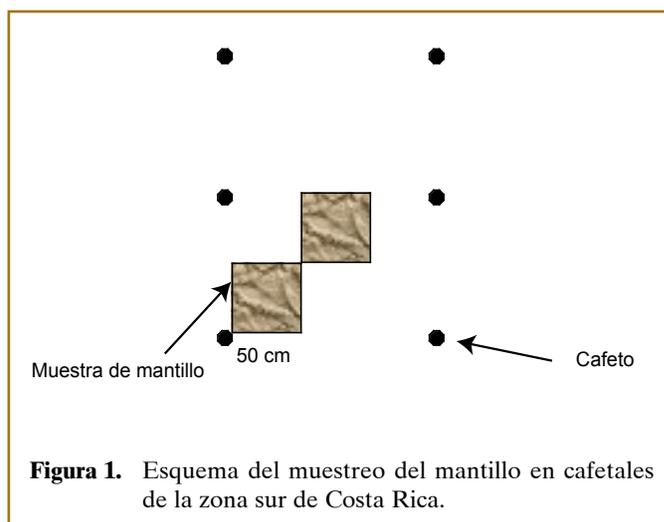


Figura 1. Esquema del muestreo del mantillo en cafetales de la zona sur de Costa Rica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comparación del almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de dos sistemas de café: *C. arabica* a pleno sol y *C. arabica* bajo sombra de *E. deglupta*

La presencia de *E. deglupta*, plantado a una densidad de $120 \text{ árboles ha}^{-1}$, no influyó en la producción de biomasa ni, por lo tanto, en la fijación de C en los cafetos de 14 años en la finca Santa Fe (Cuadro 3). Fassbender (1993) aseveró que existe una considerable diferencia de crecimiento del café entre sistemas de café sombreados y sistemas a pleno sol, siempre y cuando factores tales como la fertilización y el agua no sean limitantes. Sin embargo, cabe subrayar que la introducción de los árboles en Santa Fe se hizo cuando los cafetos estaban ya bien establecidos, por lo cual no sufrieron por competencia con los árboles hasta después de los siete años.

Cuadro 3. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de dos sistemas de café (*Coffea arabica*) en la finca Santa Fe, Zona Sur de Costa Rica

Sistema	Carbono almacenado (tC ha ⁻¹)			
	Árboles	Cafetos	Mantillo	Total
<i>C. arabica</i> a pleno sol	—	10,2 (±1,5)	1,2 (±0,3)	11,4
<i>C. arabica</i> – <i>Eucalyptus deglupta</i>	14,0 (±0,6)	10,2 (±1,1)	4,2 (±0,8)	28,4

Entre paréntesis: intervalo de confianza al 95%.

Aun así, se observó una gran diferencia en el almacenamiento de C arriba del suelo entre los dos sistemas (más del doble para el sistema *C. arabica*-*E. deglupta*), debido a la contribución de los árboles y a la mayor acumulación de mantillo bajo los mismos (Cuadro 3). La menor cantidad de mantillo acumulada en la parcela a pleno sol ($p = 0,003$) pudo deberse a una menor cantidad de hojarasca (solo de café) y/o a una descomposición más rápida de esta como consecuencia del aumento de temperatura de la superficie del suelo a pleno sol, combinada con un alto grado de humedad en este clima lluvioso.

El C almacenado arriba del suelo (biomasa y mantillo) en el sistema de café a pleno sol (Cuadro 3) es semejante al valor de 10,4 tC ha⁻¹ encontrado por Ávila *et al.* (2001) para sistemas no sombreados, con cafetos de 9-10 años, plantados a una densidad de 4170 cafetos ha⁻¹ en el Valle Central de Costa Rica (1300 msnm, temperatura de 23,8 °C, precipitación de 2275 mm). También coincide con los resultados encontrados por Palm *et al.* (2000) de 15 tC ha⁻¹ para un monocultivo de ocho años en Brasil (Rondônia).

Las reservas de C en la parte aérea y el mantillo del sistema de café con eucalipto de siete años son similares a las estimaciones hechas por Powell y Delaney (1998) (10,5 y 4,5 tC ha⁻¹ en la parte aérea y la hojarasca, respectivamente) para sistemas de café sombreado por *Inga* spp., *Grevillea robusta* o *Alnus* spp. en Guatemala (densidades respectivas de 4444 plantas ha⁻¹ y 200 árboles ha⁻¹; 1540 msnm, temperatura de 18-24 °C, precipitación de 1500-2000 mm). Asimismo, nuestra estimación de C almacenado arriba del suelo (28,4 tC ha⁻¹) se encuentra dentro de las estimaciones hechas por Schroeder (1994) de 21 a 50 tC ha⁻¹ para SAF en ecozonas subhúmedas y húmedas.

Comparación del carbono almacenado por sistemas agroforestales de café bajo sombra de diferentes especies de la misma edad

La mayor cantidad de C almacenada en los árboles de sombra se encontró en la especie *T. ivorensis*, seguida por *E. deglupta* y *E. poeppigiana* (Cuadro 4). No hubo diferencia entre las capas de mantillo, las cuales solamente son comparables entre los sistemas con *T. ivorensis* y *E. deglupta*, porque el manejo de *E. poeppigiana* era muy diferente y no era representativo de las prácticas agrícolas de la región.

Cuadro 4. Carbono almacenado en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de café bajo sombra de diferentes especies, de cuatro años de edad, en la finca Verde Vigor, Zona Sur de Costa Rica

Sistema	Carbono almacenado (tC ha ⁻¹)			
	Árboles	Cafetos	Mantillo	Total
<i>Coffea arabica</i> – <i>Terminalia ivorensis</i>	12,4b (± 0,3)	No medido	1,2a (±0,1)	—
<i>C. arabica</i> – <i>Eucalyptus deglupta</i>	5,3a (± 0,3)	5,0 (± 0,4)	1,4a (±0,1)	11,75
<i>C. arabica</i> – <i>Erythrina poeppigiana</i>	4,7a (± 0,5)	No medido	No medido	—

Entre paréntesis: intervalo de confianza al 95%.

El alto almacenamiento de C en la biomasa aérea de *T. ivorensis* atestigua el vigor de esta especie. Sin embargo, este árbol produce una sombra excesiva, con impactos negativos sobre la producción de café. Por ejemplo, Aguilar (2000) observó que los cafetos bajo sombra de *T. ivorensis* no parecían muy vigorosos y presentaban poca capacidad de producción de frutos. El C almacenado por *T. ivorensis* en su biomasa aérea (cuatro años de edad) es semejante al valor de 14,6 t ha⁻¹ que obtuvieron Alpizar *et al.* (1985) para *Cordia alliodora* (4,5 años) en sistemas de café (multiplicando la MS por 0,5; densidad de 278 árboles ha⁻¹; 600 msnm; temperatura de 22,3 °C; precipitación de 2647 mm año⁻¹).

El sistema de café con *E. deglupta* tiene un almacenamiento de C muy semejante al calculado a partir de los datos de Ávila (2000), de 5,8 tC ha⁻¹ para los árboles y 4,7 tC ha⁻¹ para los cafetos (café de 9 a 10 años sombreado por *E. deglupta* de cuatro años; densidades de 4166 cafetos ha⁻¹; 277 árboles ha⁻¹). El C acumulado en las hojas y ramas de *E. poeppigiana* (3,7 t ha⁻¹) también se aproxima a una estimación de

3 tC ha⁻¹, derivada del trabajo de Ávila (2000) para *E. poeppigiana* en café en Grecia, Costa Rica (dos podas al año; 4166 cafetos ha⁻¹; 156 árboles ha⁻¹).

Cálculo de adicionalidad según la metodología de los mecanismos de desarrollo limpio

Los SAF están considerados en proyectos de reforestación por los MDL del Protocolo de Kioto (artículo 12, Decisión 17 cap. 7 (a)) (UNFCCC 2002). Los SAF deben caber en la definición de bosques; es decir, la transformación de café a pleno sol en café con sombra debe ser considerada como reforestación.

Además de tener que ser de forestación-reforestación, los proyectos de MDL deben demostrar “adicionalidad”; es decir, que las reducciones logradas por el proyecto no hubieran ocurrido en ausencia de este (Cacho *et al.* 2003). Los créditos de C se obtienen por diferencia de las emisiones por las actividades del proyecto y sin el proyecto o línea base (Smith y Scherr 2002). En este estudio, si se asume una línea base de café a pleno sol, la diferencia entre el C almacenado en el sistema sombreado y la línea base es un buen indicador de la adicionalidad en un año determinado para este sistema específico (con sus respectivas especies, edades, densidades, localización geográfica y uso anterior del suelo, entre otros).

Para Santa Fe, esta adicionalidad sería entonces de 28,4-11,4 = 17 tC ha⁻¹, dato inferior a las estimaciones hechas en el proyecto piloto de MDL SCOLEL TÉ, de 24 tC ha⁻¹ a los siete años en un sistema de café sombreado por *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* (caoba) en México. Este resultado de 17 tC ha⁻¹ se obtuvo haciendo la simulación con CO2Fix (Maser *et al.* 2001, Nabuurs *et al.* 2001), con los parámetros especificados por el proyecto. El proyecto SCOLEL TÉ, como la mayoría de los proyectos pilotos de MDL, presupone que el uso del suelo no va a cambiar, por lo cual el almacenamiento promedio de C del suelo en el largo plazo sería el mismo que en la línea base. A pesar de esta estimación, y tal como lo estipula la metodología del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2003) para los inventarios de carbono en proyectos de cambio de uso de la tierra, sí tiene que medirse la cantidad de C almacenada en el suelo de la línea base. No obstante, cuando se habla del servicio ambiental de almacenamiento de C, no hay que olvidar los conceptos de flujos en el secuestro de C (lo que implica una variación de la adicionalidad a lo largo del proyecto) y de permanencia; es decir, cuánto tiempo va a permanecer el C almacenado. Por ello, para un

proyecto MDL, es necesario planificar cuándo se van a aprovechar los árboles de sombra para usarlos como madera y calcular la adicionalidad acumulada durante dicho período.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los SAF de café, en comparación con los sistemas a pleno sol, brindan un servicio ambiental de almacenamiento de C que es variable según la edad del sistema y las especies de sombra.
- Un sistema agroforestal de café con árboles de *E. deglupta* de siete años puede almacenar más del doble de C que un cafetal comparable a pleno sol.
- *T. ivorensis* almacena más del doble de C que *E. deglupta* y *E. poeppigiana*, a una edad de cuatro años. No obstante, esta medición representa el C almacenado a una edad determinada; es posible que a una edad mayor la especie que almacene más C sea otra.
- El almacenamiento de C es un servicio ambiental sostenible cuando se mantiene durante un tiempo suficiente y se acumula durante ese período suficiente C para compensar emisiones provenientes de otras fuentes. El método de valorización del secuestro de C en los SAF podría ser similar al aplicado en los MDL, estimando la adicionalidad del proyecto (diferencia entre las emisiones con las actividades del proyecto y sin el proyecto) acumulada durante los años de permanencia que se requieran.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el proyecto CASCA (Sistemas Agroforestales de Café en América Central), financiado por la Comisión Europea, Programa del Quinto Esquema de la Comunidad Europea, “Confirming the International Role of Community Research”, INCO-DEV: ICA-CT-2001-10071.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aguilar, CA. 2000. Evaluación de sistemas agroforestales con café asociado con *Eucalyptus deglupta* o *Terminalia ivorensis* e implicaciones metodológicas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 73 p.
- Alpizar, L; Fassbender, HW; Heuvel, J; Enríquez, GA; Folster, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. I. Biomasa y reservas nutritivas. Turrialba 35:233-242.
- Ávila, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno Sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno Sol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 99 p.

- _____; Jiménez, F; Beer, J; Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30): 32-35.
- Cacho, OJ; Marshal, GR; Jilne, M. 2003. Smallholder agroforestry projects: Potential for carbon sequestration and poverty alleviation. FAO. (ESA Working Paper no. 03-06).
- Fassbender, HW. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Segunda edición. Turrialba, CR, CATIE/GTZ. 491 p. (Serie de Materiales de Enseñanza no. 29).
- Hamburg, SP. 2000. Simple rules for measuring changes in ecosystem carbon in forestry-offset projects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5:25-37.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Japón, Institute for Global Environmental Strategies (IGES). 595 p.
- Masera, O; Garza-Caligaris, JF; Kanninen, M; Karjalainen, T; Nabuurs, GJ; Pussinen, A; de Jong, BJ. 2001. Modeling Carbon sequestration in Afforestation and Forest Management Projects: The CO2fix V.2 Approach. *En preparación*.
- MINAE (Ministerio del Ambiente y Energía). 2003. Decreto ejecutivo n°30962. La Gaceta, San José, CR, feb. 3.
- Nabuurs, GJ; Garza-Caligaris, JF; Kanninen, M; Karjalainen, T; Lapvetelainen, T; Liski, J; Masera, O; Mohren, GMJ; Pussinen, A; Schelhaas, MJ. 2001. CO2FIX V2.0 – manual of a model for quantifying carbon sequestration in forest ecosystems and wood products. ALTERRA Report. Wageningen, NE.
- Palm, CA; Woomer, PL; Alegre, J; Arevalo L; Castilla, C; Cordeiro, DG; Feigl, B; Hairiah, K; Kotto-Same, J; Mendes, A; Moukam, A; Murdiyarso, D; Njomgang, R; Parton, WJ; Ricse, A; Rodrigues, V; Sitompul, SM; van Noordwijk, M. 2000. Carbon sequestration and trace gas emissions in slash-and-burn and alternative land-uses in the humid tropics. ASB Climate change working group, final report, phase II (en línea). Nairobi, KE. Disponible en <http://www.asb.cgiar.org/WG-climatechange.shtm>
- Powell, HP; Delaney, M. 1998. Carbon sequestration and sustainable coffee in Guatemala. Final report by Winrock International to TechnoServe (en línea). Consultado 10 jul. 1998. Disponible en <http://www.winrock.org/REEP/carbonReport.html>
- Proyecto SCOLEL TÉ, 2002. Disponible en http://www.eccm.uk.com/scolelte/documents/tropical_coffee_timber.pdf
- Schroeder P. 1994. Carbon storage benefits of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 27: 89-97.
- Smith J, Scherr, SJ. 2002. Forest Carbon and local livelihoods: assessment of opportunities and policy recommendations (en línea). CIFOR occasional paper n°37. 56 p. Disponible en http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-037.pdf
- UNFCCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático). 2002. Protocolo de Kioto (en línea). Disponible en <http://unfccc.int/cdm/rules/modproced.html#FPART>