

Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador

Oswaldo Jadán¹, Bolier Torres^{2*} y Sven Günter³

¹Ministerio del Ambiente – Ecuador, graduado de CATIE promoción 2010
ajadan@ambiente.gob.ec

²Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador

*Cooperación Alemana de Desarrollo, GIZ
btorres@uea.edu.ec, btorres@gizecuador.org.ec

³Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE, Costa Rica
sgunter@catie.ac.cr

Resumen

A pesar de la creciente evidencia del efecto de los sistemas productivos tradicionales sobre el secuestro y almacenamiento de carbono, pocas investigaciones se han realizado para examinar esta relación entre el bosque y sistemas productivos tradicionales con base a la mitigación al cambio climático, especialmente en ecosistemas amazónicos. La presente investigación se realizó en la zona baja de Reserva de la Biosfera Sumaco, en la Provincia de Napo, Amazonía ecuatoriana. Se determinó el promedio de almacenamiento de Carbono (C) en la biomasa aérea y en el suelo, en siete sistemas de uso del suelo: Bosque primario, sistemas agroforestales tradicionales (chakras) con base al cultivo de cacao (sombra) propagados por semilla y por injertos, monocultivo de cacao propagado por semilla y por injertos y, chakras sin cacao con y sin sombra. Como resultado, de los sistemas agrícolas estudiados el sistema chakra con cacao propagado por semilla es el ecosistema productivo que almacena la mayor cantidad de C con un promedio de 141.4 Mg C ha⁻¹, cantidad relativamente alta si se lo compara con el bosque primario que almacena un promedio de 334 Mg C ha⁻¹ en la misma zona. El componente con mayor aporte al almacenamiento de carbono en el bosque es la biomasa viva con el 79.1% y, en los sistemas agrícolas el suelo con rangos de 48.9 a 90.2%.

Palabras claves: Uso de la tierra, almacenamiento de carbono, bosques, sistemas agroforestales tradicionales, Amazonía ecuatoriana.

Abstract

Despite growing evidence of the effect of traditional production systems on carbon sequestration and storage, little research has been conducted to examine the relationship between forest and traditional production systems based on the mitigation of climate change, especially in Amazonian ecosystems. This research

was conducted in the lower area of the Sumaco Biosphere Reserve, in the province of Napo, Ecuadorian Amazon. We determined the average storage of carbon (C) in biomass and soil, in seven land use systems: Primary forest, traditional agro forestry systems (chakra) based on the cultivation of cocoa (shade-grown) propagated by seed and grafting cocoa monoculture propagated by seed and by grafts, and chakras without cacao and without shade. As a result, agricultural systems studied with the cocoa agro forestry system propagated by seed is the productive ecosystem that stores the most carbon with an average of $141.4 \text{ Mg C ha}^{-1}$; a relatively high quantity when compared with primary forest sequestration averages of 334 Mg C ha^{-1} in the same area. The component with the greatest contribution to carbon storage in the forest is the live biomass with 79.1%, and in agricultural systems it is the soil, with ranges of 48.9 to 90.2%.

Keywords: Land use, carbon sequestration, forest, traditional agroforestry systems, Ecuadorian Amazon.

Introducción

La deforestación dirigida para la implementación de sistemas de producción agrícola ha sido una causa determinante de la constante pérdida de los bosques naturales (Geist y Lambin 2002). Así mismo, es una de las principales causas que han provocado la emisión de CO_2 , influenciando directamente al calentamiento global (Ávila *et al.* 2001). Los sistemas agroforestales (SAFs), a través de la optimización de actividades productivas, constituyen una estrategia viable para detener el avance de la frontera agrícola (Torres 2005). En la Región de la Reserva de Biosfera Sumaco sobresalen los sistemas agroforestales tradicionales (chakras) con base al cultivo de cacao y los sistemas de producción tradicionales para subsistencia, formando SAFs llamados policultivos tradicionales (Rice y Greenberg 2000).

En Ecuador el cultivo de cacao es uno de los productos agrícolas más importantes debido a que existe una gran demanda del producto a nivel internacional. Más del 70% de la producción mundial de cacao fino de aroma procede de tierras ecuatorianas. Esto ha generado una fama importante y favorable para el comercio de este producto y la economía agrícola del país (ANECACAO 2011). En la región del Sumaco la actividad cacaotera es llevada mayoritariamente por Kichwas y en menor cantidad por colonos. La mayoría en el ecosistema productivo denominado chakra que contiene árboles frutales, maderables y musáceas dispuestos aleatoriamente, dando origen a sistemas agroforestales rústicos o policultivos tradicionales (Rice y Greenberg 2000). También se lo realiza en sistemas sin sombra, evidenciándose las ventajas y desventajas en cada

sistema. Las chakras amazónicas presentes en el Sumaco son sistemas de producción de diversos cultivos con sombra y sin sombra con el mayor objetivo de contribuir a la subsistencia de los indígenas. Sobresalen especies de plantas maderables, frutales, medicinales y de consumo alimenticio para las comunidades Kichwas, tales como yuca, plátano, cacao, café y maíz (MAE y GESOREN-GTZ 2008).

En la Amazonía estos sistemas productivos tradicionales (chakras) con sus diferentes estratos y componentes de almacenamiento, se constituyen en grandes reservorios de carbono, brindando servicios ecosistémicos que benefician a las poblaciones locales y sociedad en general. El objetivo de esta investigación fue cuantificar la cantidad de carbono almacenado en los diferentes componentes de almacenamiento del ecosistema en siete sistemas de uso de la tierra en la Reserva de Biosfera Sumaco, Provincia de Napo.

Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en la zona baja de la Reserva de Biosfera Sumaco (RBS). En total la RBS tiene una superficie de 931.930 hectáreas, que representa el 8% de la Región Amazónica ecuatoriana. Dentro del ámbito político-administrativo, se ubica en parte de tres provincias: Napo, Orellana y Sucumbíos.

La zona de intervención donde se encuentran los diferentes sistemas de uso

de la tierra analizados en el presente estudio y los sitios de investigación, tiene una superficie aproximada de 88 000 hectáreas dentro de los cantones Archidona y Tena, provincia del Napo (Figura 1).

Materiales y Métodos

Caracterización de los Sistemas de Uso de la Tierra Evaluados

Se evaluaron siete sistemas de uso de la tierra (SU) en la zona baja de la RBS: Bosque primario, sistemas agroforestales tradicionales con base al cultivo de cacao propagados por semilla y por injertos, monocultivo de cacao propagado por semilla y por injertos y, el sistema tradición denominado chakras con y sin sombra. Debido a prácticas agronómicas diferenciadas y a efectos de determinar la productividad se utilizó parcelas de cacao propagadas por semilla y por injertos, considerando que la planta del cacao propagado por semilla generalmente no tienen una distribución espacial uniforme y poseen mayor cantidad de biomasa que la propagada por injertos, lo cual hace una diferencia al momento de evaluar el contenido de carbono. De la misma manera también se diferenció a los sistemas tradicionales denominados chakras. Considerando que entre los siete sistemas de usos estudiados, sólo el bosque primario es bien reconocido, a continuación se presenta una breve explicación y justificación de los demás sistemas de uso seleccionados:

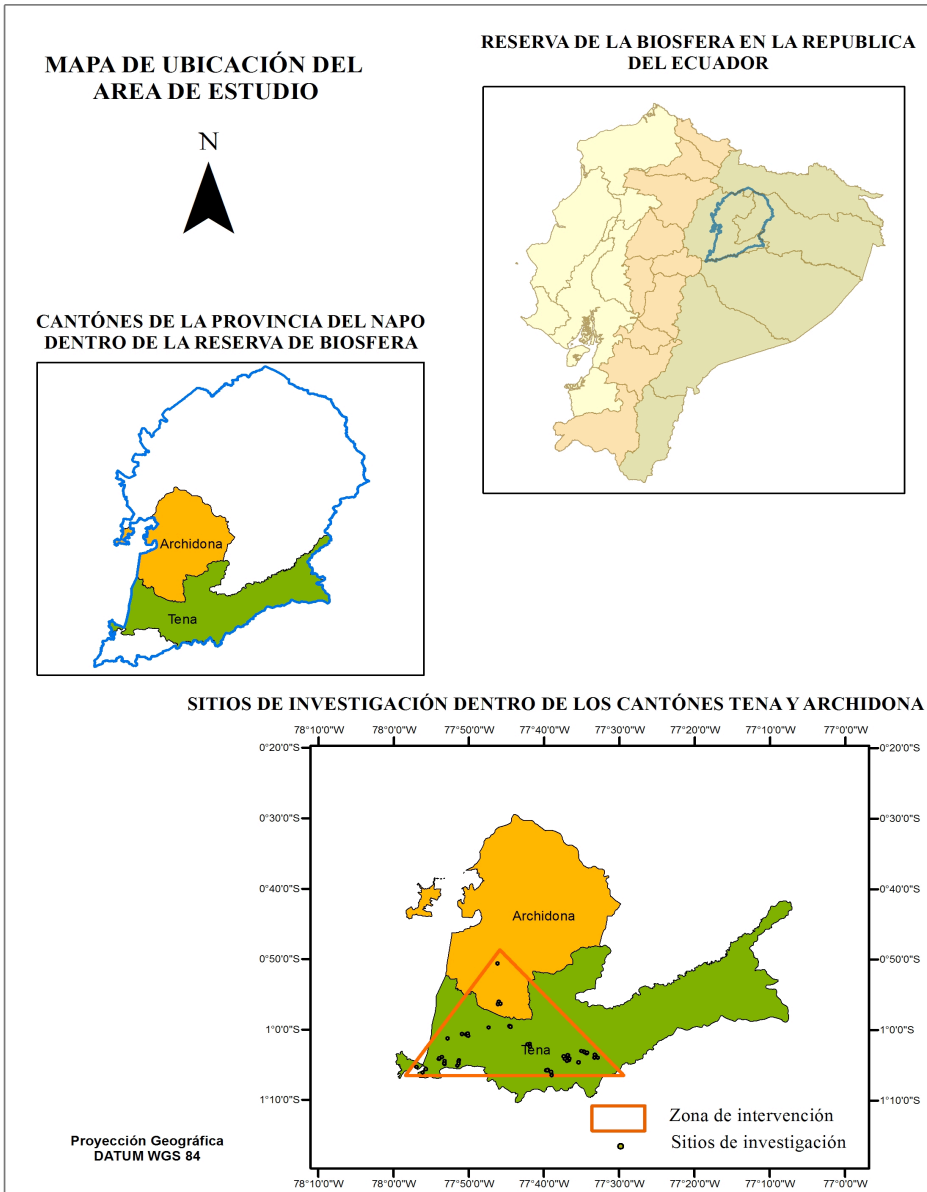


Figura 1. Mapa de ubicación del área de investigación en la Reserva de la Biosfera Sumaco, cantones Archidona y Tena, provincia de Napo, Ecuador. Fuente: CLIRSEN (1999).

Chakra con sombra: para el presente estudio, se consideró bajo este sistema de uso al medio de producción agrícola diversificada donde se asocia variedades de yuca y plátano en mayor cantidad con otras especies de cultivos de ciclo corto y perenne. La chacra por lo general

comprende una extensión de terreno no superior a una hectárea, se ubica cerca de la vivienda, aunque en algunos sitios donde no se dispone de suficiente terreno están instaladas a una distancia considerable, dentro de las fincas de comunidades Kichwas. Bajo este sistema

se encuentra una gran variedad de especies herbáceas y arbustivas comestibles, como también plantas alucinógenas y medicinales. La descripción con sombra se debe a la presencia del componente arbóreo que supera el 10% de la cobertura o área de las copas en relación a la superficie de la unidad de muestreo.

Chakra sin sombra: se consideró bajo este sistema de uso al medio de producción similar al de la chakra con sombra, considerando la similitud con las especies herbáceas y arbustivas; pero sin la presencia del componente arbóreo, o cuando la cobertura de copas no supera el 10% en relación a la superficie del área de muestreo. Observándose desde un 50%, hasta un 100% un monocultivo de yuca con diferentes variedades.

En este sistema, el cultivo de yuca sirve para la alimentación de la familia, preparación de la chicha, así como también para la comercialización en los mercados locales y nacionales.

Cacao propagado por semilla y con sombra¹: se consideró al sistema de producción de cacao propagado por reproducción sexual o semilla. Se encontró como edad promedio en este sistema de uso plantaciones de siete años. Con áreas netas de cultivo que van desde 0.5 hasta 3 hectáreas. La mayoría de productores combina la producción de

cacao con el cultivo de musáceas especialmente de plátano.

La descripción con sombra se debe a la presencia de componente arbóreo con el $\geq 10\%$ del área de las copas en relación a la superficie de la unidad de muestreo. También están asociados a este sistema frutales nativos y exóticos.

Cacao propagado por semilla sin sombra: en este sistema, se encontró en promedio áreas de cultivo que van desde 0.5 hasta 2 hectáreas, con edades promedios de cinco años. Se encontró también que pocos productores combinan este producto con el cultivo de musáceas. La descripción sin sombra se debe a la ausencia de componente arbóreo o a que el área de las copas no supera el 10% en relación a la superficie de la parcela o unidad de muestreo.

[¹ Estos sistemas de producción tradicional con sombra, son reconocidos especialmente por las comunidades Kichwas amazónicas en el Ecuador como “Chakras con cacao”. Dado que son sistemas productivos tradicionales basados en las prácticas agrícolas, culturales, medicinales, artesanales y espirituales de saberes ancestrales, espacios donde se han venido transmitiendo estos conocimientos de generación en generación. Que hasta la actualidad han venido evolucionando e incorporando productos básicos para la alimentación y comerciales como la yuca, plátano, cacao, café, etc., pero sin perder sus principales características. Hasta la fecha no se encuentra literatura contundente sobre la conceptualización de estos sistemas tradicionales que puedan citarse, solo hay algunos intentos para sus aproximaciones al concepto pero con divergencias de varios grupos. Desde el año 2010, la Asociación de productores Kallari con el apoyo técnico de la Cooperación Alemana al Desarrollo GIZ, han venido desarrollando una serie de talleres de intercambios de conocimientos, a efectos de conceptualizar estos sistemas tradicionales productivos amigables a la biodiversidad, el mantenimiento de la cultura y los saberes ancestrales en la Amazonía ecuatoriana.]

Cacao propagado por injerto con sombra: es un sistema de producción de cacao a través de injertos. En la zona de estudio se encontraron cultivos que van desde 0.5 hasta 1 hectárea, con una edad promedio de cuatro años. Se encontró que pocos agricultores combinan la producción de cacao con el cultivo de musáceas especialmente de plátano. La descripción con sombra se debe a la presencia de componente arbóreo $\geq 10\%$ del área de las copas en relación a la superficie de la unidad de muestreo. Se desatacan árboles maderables con menor riqueza de especies y menor abundancia que el sistema semilla con sombra. También existe la presencia de asociaciones con frutales nativos y exóticos.

Cacao propagado por injerto sin sombra: en este sistema, se encontró un promedio de áreas de cultivos que van desde 0.5 hasta 1 hectárea, la mayoría son plantaciones jóvenes con un promedio de 3.6 años. Pocos productores combinan este producto con el cultivo de musáceas. La descripción sin sombra se debe a la ausencia de componente arbóreo o a que el área de las copas no supera el 10% en relación a la superficie de la parcela o unidad de muestreo.

Todos los siete sistemas de uso de la tierra fueron seleccionados en la zona baja de la Reserva de la Biosfera Sumaco (Figura 1), en los cantones del Tena y Archidona, en sitios con altitudes menores a 700 msnm. Las fincas

seleccionadas para los sistemas de uso con cacao fueron en las asociaciones de productores Kallari y Wiñak, por ser estas asociaciones miembros de la Mesa del cacao fino y de aroma de la RBS. Las parcelas en bosques nativos fueron establecidas en la Estación Biológica Jatun Sacha.

Para estimar el Carbono (C) en los diferentes componentes del ecosistema de los diferentes (SU) se instalaron 59 unidades de muestreo (Tabla 1), de 1600 m² con sus respectivas sub parcelas de 200 m², 25 m² y 1 m² (Figura 2), que permitió evaluar los diferentes componentes de almacenamiento.

Métodos de muestreo - Carbono orgánico del suelo (COS): Se aplicó la metodología propuesta del IPCC (2003). Se tomaron muestras de suelos (250 g) a 0-10 cm y 10-30 cm de profundidad. El C orgánico se determinó en laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja, utilizando el método de combustión húmeda Walkley Black. Para determinar la densidad aparente, se utilizó el método del cilindro (Coile 1936), tomando muestras (con dos repeticiones) en cada profundidad (0-10 y 10-30 cm) con un cilindro de 100 cm³, que fueron secadas en el horno a 110 °C.

Vegetación herbácea, brinzales, latizales bajos y plantas de cacao: En cuatro sub-parcelas de 1 m² se cortó, recolectó y pesó (en fresco) el total de brinzales y hierbas con diámetros en la base (db) < 1cm. Del total de la muestra

se tomó una sub-muestra de 250 gr, la que fue secada a 65 °C por 72 horas para determinar su masa seca (IPCC 2003).

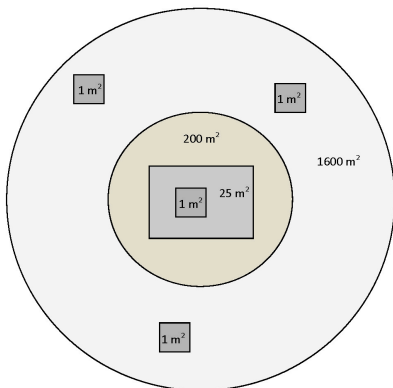
En la parcela de 200 m² se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) de los latizales bajos entre 1 y ≤ 5 cm. En esta misma unidad de muestreo se midió el diámetro a 30 centímetros del suelo (d30 cm) a todas las plantas de cacao (Ordóñez 2010). Para el cultivo de la yuca dentro de las chakras, se instaló parcelas de 25 m² donde se cosecharon

12 plantas para construir una ecuación alométrica específica para la yuca.

Fustales, latizales altos y musáceas (DAP ≥ 5 cm): En la parcela de 1600 m², se midió el dap (tomado a 1.30 m de altura) a todos los árboles (fustales) y palmas con DAP ≥ 10 cm, a las que también se les midió la altura total. En la misma unidad de muestreo se midió el dap a todos los latizales altos (entre 5 y 10 cm) y la altura de todas las Musáceas.

Tabla 1. Sistemas de uso de la tierra evaluados y número de parcelas instaladas en la Reserva de la Biosfera Sumaco, Provincia de Napo

Cobertura arbórea	Sistemas de Uso de la tierra	Muestras (n parcelas)	Superficie (hectáreas)
Cubierto	Bosque primario	5	0.8
	Cacao propagado por semilla	15	2.4
Con sombra	Cacao propagado por injertos	11	1.8
	Sistema tradicional chakra	6	0.9
	Cacao propagado por semilla	7	1.1
Sin sombra	Cacao propagado por injertos	8	1.3
	Sistema tradicional chakra	7	1.1



- Parcela 1600 m² Diversidad y almacenamiento de carbono de fustales => 10 cm y latizales altos entre 5 – 10 cm de DAP almacenamiento de carbono en Musaceas
- Parcelas de 200 m² Almacenamiento de carbono en latizales bajos entre 1 – 5 cm de DAP, de las plantas de cacao y madera muerta
- Parcelas de 25 m² Almacenamiento de carbono en las plantas de yuca
- Parcela de 1 m² Almacenamiento de carbono en brinzales < 1 cm DAP y herbáceas, hojarasca y carbono orgánico en el suelo

Figura 2. Ejemplo de parcela temporal de muestreo instalada en los diferentes sistemas de uso de la tierra para la estimación de biomasa y C orgánico en el suelo, en la Reserva de la Biosfera Sumaco,

Provincia de Napo, Ecuador.

Hojarasca y madera muerta: En la parcela de 1600 m² se recolectaron cuatro muestras de hojarasca en un marco de 50 cm × 50 cm (0.25 m²). Estas muestras fueron mezcladas y pesadas para determinar el peso húmedo total. Se tomó una sub-muestra de 250 g y se secó por 72 h a 65 °C, para posteriormente obtener la masa seca total de la hojarasca (IPCC 2003).

La madera muerta se midió bajo la metodología propuesta por Harmon *et al.* (1996) citado por Husch *et al.* (2003), en la sub-parcela circular de 200 m². La madera caída se clasificó en categorías de densidad de acuerdo a su estado de

descomposición (sólida, intermedia y podrida). Las categorías de densidad se determinaron en el campo a través de la prueba del machete (IPCC 2003). Los valores se asignaron a las diferentes densidades de la madera según su estado de descomposición (IPCC 2003). Estos valores son: para madera sólida (0.6 g cm⁻³), intermedia (0.42 g cm⁻³) y podrida (0.23 g cm⁻³).

Métodos de estimación - Estimación de biomasa y carbono: Se estimó la biomasa arriba del suelo utilizando ecuaciones alométricas construidas para especies de bosques tropicales primarios.

Tabla 2. Ecuaciones alométricas utilizadas en la estimación de biomasa aérea en los árboles de sombra y plantas de cacao en la Reserva de la Biosfera Sumaco, Provincia de Napo

Ecosistema o especies	Ecuación	Rango (dap, edad)	R ²	Autor
Bosques tropicales	$\ln(Bt) = -1.864 + 2.608 \times \ln(DAP) \times \ln(d)$	5-150	0.99	Chave <i>et al.</i> (2005)
<i>Bactris gasipaes</i>	$Bt = 0,74 \times ht^2$		0,95	Szott <i>et al.</i> (1993)
Brinzales y herbáceas	$Bt = Pss/Phs \times PV_{total}$			Schlegel <i>et al.</i> 2001
Cacao	$Bt = 1.0408 \exp^{0.0736 \times (d_{30})}$		0.97	Ordóñez <i>et al.</i> (2010)
Latizales bajos (1-5 cm dap)	$Bt = 10^{(-1.5+1.06 \times \ln(dap))}$	0.3 - 9.3	0,88	Andrade <i>et al.</i> En preparación
Musáceas	$Bt = (185.1209 + 881.9471 \times (\log(ht)/ht^2))/1000$			ANACAFE (2006)
Palmas	$\log Bt = (7,7 * (ht) + 4.5^{0.003})$		0.90	Frangi y Lugo (1985)
Raíces	$Br = \exp(-1.0587 + 0.8836 \times \ln Bt)$		0.84	IPCC (2003)
Yuca	$Bt = -0.67 + 0.44(d_{30})$	8-10 meses	0.82	Este estudio
Yuca raíces	$Br = 0.94 + 0.92(Bt)$	8-10 meses	0.63	Este estudio

Notas: R² ajustado; Bt: biomasa aérea total (kg árbol⁻¹); Br: Biomasa debajo del suelo; dap: diámetro a la altura de pecho (cm); d: densidad básica de la madera; d₃₀: diámetro tomado desde la base a 30 cm; ht: altura total (m); exp: potencia de base e; Log₁₀: logaritmo base 10; Ln: logaritmo natural (base e); Pss: peso seco de la submuestra; Phs: peso húmedo de la submuestra; PV total: peso del volumen total.

También se utilizaron ecuaciones para calcular la biomasa de latizales bajos, brinzales y necromasa (Tabla 2). La biomasa abajo del suelo fue calculada utilizando la ecuación propuesta por el IPCC (2003). La biomasa de la madera muerta se calculó con base en los volúmenes obtenidos mediante la fórmula de Smalian tomados en las

diferentes categorías de descomposición (Tabla 3).

La biomasa estimada, se convirtió en unidades de C multiplicando por el factor de conversión de 0.5 indicado por el IPCC (2003). Los valores obtenidos son expresados en Mg C ha⁻¹ (Mega gramos de C por hectárea).

Tabla 3. Ecuaciones matemáticas aplicadas para los cálculos de la biomasa debajo del suelo en los diferentes componentes evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco, Provincia de Napo.

Componente	Fórmula	Significado de variables	Autor
Necromasa		S1= sección inicial	
Volumen de madera muerta	$V = (S1 + S2)/2 *L$	S2= sección final	
		L = Longitud de la troza	Schlegel (2001), Suárez (2002)
Biomasa madera muerta	$B = V \times Db$	B=Biomasa (Mg)	
		V=Volumen (m ³)	
		Db = Densidad básica de la madera (Mg m ⁻³) de las diferentes categorías de descomposición propuesta por el IPCC (2003).	
Carbono orgánico en el suelo	$CS = CC \times DA \times P$	CS = carbono en suelo (Mg C ha ⁻¹)	Schlegel (2001), Suárez (2002)
		CC = contenido del porcentaje de carbono.	
		DA = densidad aparente (Mg cm ⁻³).	
		P = grosor de la capa de suelo muestreada (cm)	
Carbono total almacenado	$CAT = CBT + CN + COS$	CAT: carbono almacenado total (Mg C ha ⁻¹)	
		CBT: carbono almacenado en la biomasa (arriba y abajo del suelo)	
		CN: carbono almacenado en la necromasa	
		COS: carbono orgánico del suelo	

El carbono orgánico del suelo se estimó a partir del porcentaje de C orgánico y la densidad aparente y la profundidad de muestreo (Tabla 3). El C total almacenado se calculó sumando el C en cada uno de los componentes del ecosistema (biomasa, necromasa y suelos) en cada uno de los sistemas evaluados (Tabla 3).

Las densidades de la madera (d) aplicada para la estimación de biomasa aérea en bosques tropicales mediante la ecuación ($\ln(Bt) = -1.864 + 2.608 \times \ln(DAP) \times \ln(d)$) fueron consultadas en la Global Wood Density Database (Zanne et al 2009), a nivel de especies arbóreas mayores a 10 cm de DAP.

Análisis estadístico: Se aplicaron análisis de varianza y pruebas de comparación LSD Fisher utilizando el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al. 2009) para determinar las diferencias en el almacenamiento de carbono en cada uso de la tierra evaluado. Se utilizó un diseño completamente aleatorio (DCA) desbalanceado, con siete tratamientos (sistemas de uso) y un número de repeticiones (unidades de muestreo) que van desde 5 para el bosque primario, hasta 15 en los sistemas de cacao semilla con sombra.

Resultados y discusión

El carbono almacenado en la biomasa total en el bosque primario registró un valor de 264.2 ± 36 a Mg C

ha⁻¹ y los sistemas agrícolas un promedio de 33.2 ± 5.4 Mg C ha⁻¹. El promedio en los sistemas con sombra (50.5 ± 6.3 Mg C ha⁻¹) es superior a los sin sombra (8.1 ± 1.4 Mg C ha⁻¹) Tabla 3. Las causas son que en el bosque primario existe una relación directa entre la biomasa, con la abundancia de especies (910 N ha⁻¹) y sobre todo con la dominancia (38.8 m² ha⁻¹) de los individuos arbóreos y arbustivos existentes en el ecosistema.

El carbono almacenado en la necromasa es significativamente diferente ($p=0.0139$) entre todos los sistemas de uso evaluados. El promedio en el bosque primario fue de 4 ± 0.9 Mg C ha⁻¹, mientras que en los sistemas agrícolas de 3 ± 0.3 Mg C ha⁻¹ sin marcar diferencias significativas ($p=0.2540$). El promedio de C en los sistemas agrícolas con sombra (Chakras con cacao) (3.4 ± 0.3 Mg C ha⁻¹) es superior a los sin sombra (2.3 ± 0.3 Mg C ha⁻¹) Tabla 3.

El carbono orgánico en suelo, no presentó diferencias significativas ($p=0.1596$) entre los sistemas evaluados, el promedio para los sistemas con sombra (66.9 ± 3.7 Mg C ha⁻¹) es similar a los sin sombra (65.2 Mg C ha⁻¹), sin presentar diferencias significativas ($p=0.7805$) Tabla 3. Probablemente se debe, a que la zona de cultivo de cacao donde se desarrolló la investigación pertenece a una misma zona de vida (bosque muy húmedo tropical), por lo que no inciden factores ambientales como altitud (que tiene un rango de 350 a 600 msnm),

precipitación y temperatura; estos dos últimos que inciden directamente en la descomposición de la hojarasca que aporta C al suelo.

El carbono total almacenado es significativamente diferente ($p=0.0001$) entre los sistemas evaluados; en el bosque presenta las mayores cantidades. Los sistemas con sombra tienen promedio (120.9 ± 8.11 Mg C ha⁻¹) superior a los sin sombra (75.7 ± 4.9 Mg C ha⁻¹). La Tabla 4 indica los valores en los diferentes SU evaluados en sus diferentes componentes.

Conclusiones

En el bosque primario la biomasa total (aérea y subterránea) es el componente más importante para el almacenamiento de C. Los sistemas tradicionales denominados Chakras con base al cultivo de cacao producido por semillas o por injertos y las Chakras puras sin cacao registran las mayores cantidades de C almacenado en los diferentes componentes del ecosistema con respecto a los cultivos sin sombra o monocultivos.

Tabla 4. Promedio \pm error estándar para el C almacenado en los siete sistemas de uso (SU) evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco, Provincia de Napo

Componentes de Almacenamiento (Mg C ha ⁻¹)	Bosque primario	Sistema de Chakra			Monocultivos		
		(Con sombra)			(Sin sombra)		
		Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra
C biomasa aérea	206.2 ± 29 a	52.8 ± 8.1 b	31.6 ± 6.1 c	14.3 ± 2.5 d	5.7 ± 2.5 e	3.5 ± 1.1 e	4.3 ± 0.9 e
C biomasa raíces	58 ± 7 a	15.3 ± 2 b	11.1 ± 2.4 bc	6.7 ± 0.9 c	1.8 ± 0.8 d	1.4 ± 0.8 d	7.7 ± 0.8 c
C biomasa total	264.2 ± 36 a	68 ± 10.3 b	42.7 ± 7.4 b	20.9 ± 3.4 c	7.6 ± 3.2 de	4.9 ± 1.6 e	12 ± 1.5 d
C necromasa	4 ± 0.8 ab	4.1 ± 0.4 a	3.1 ± 0.5 ab	2.2 ± 0.7 bc	2.8 ± 0.6 abc	3.1 ± 0.6 ab	1.1 ± 0.6 c
C orgánico suelo	65.9 ± 9.2 ab	69.2 ± 4.9 a	65.1 ± 7.1 ab	64.7 ± 9.2 ab	74.9 ± 6.8 a	73.6 ± 8.9 a	45.8 ± 6.4 b
Carbono Total	334.2 ± 41.7 a	141.4 ± 11.9 b	110.9 ± 13 bc	87.8 ± 9.7 b	85.2 ± 7.9 c	81.6 ± 9.1 c	58.9 ± 5.5 d

Los suelos en los sistemas de producción agrícola son los componentes más importantes en el almacenamiento de C. Los sistemas de

Chakras con cacao con sombra registran mayores cantidades de C almacenado con respecto a las Chakras puras sin

cacao o algún otro producto agrícola en monocultivo comercial.

La mayor abundancia de elementos arbóreos y arbustivos contribuye a las mayores existencias de C en los sistemas de producción tradicional de Chakras de cacao con sombra, con respecto a los monocultivos.

En términos de producción sostenible, se concluye que para ecosistemas de bosque húmedo y muy húmedo tropical como el de la Amazonía ecuatoriana, el fomento de sistemas tradicionales Chakras con cacao, café u otros productos que se adapte al sistema, pueden contribuir significativamente al secuestro y almacenamiento de carbono y, al mismo tiempo como medida de mitigación y adaptación al cambio climático a nivel de pequeños productores, además que proveen biodiversidad, seguridad y soberanía alimentaria, y consecuentemente mejorar las condiciones de vida en zonas rurales.

Agradecimiento

Los resultados de la presente investigación forman parte del proyecto: “Diversificación en el Uso del Suelo y Valoración de Carbono para Conservación de la Biodiversidad en el noreste de la amazonía ecuatoriana”, que se encuentra en implementación desde el 2011 mediante la intervención de varios investigadores y estudiantes de posgrado de la Universidad Estatal Amazónica (UEA), la Universidad Estatal de München y el Centro Agronómico

Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), con el apoyo de varias instituciones como el Programa Gestión Sostenible de Recursos Naturales GESOREN - Amazonía Norte, de la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ) a quienes dejamos constancia de nuestro agradecimiento por el soporte técnico y financiero. Los datos de campo se obtuvieron en el marco de la Mesa del Cacao Fino y de Aroma de la Reserva de Biosfera Sumaco, a cuyos actores brindamos nuestros agradecimientos, especialmente a las familias de la Asociación de Productores Kallari, y Asociación de productores Wiñak por facilitarnos el ingreso a las fincas. También un afectuoso agradecimiento a la Fundación Jatun Sacha en cuyas parcelas se realizó el levantamiento de investigación correspondiente a bosques primarios.

Literatura Citada

- ANACAFE (Asociación Nacional del Café en Guatemala). 2008. Propuesta metodológica para la evaluación de servicios ambientales.
- Andrade, H., M. Segura, E. Somarriba and M. Villalobos. (in prep.) Biomass equations to estimate aboveground biomass of woody components in indigenous agroforestry systems with cacao.
- ANECACAO (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao). 2011. Cacao en el Ecuador. http://www.anecacao.com/cacao_index.html
- Ávila, G., F. Jiménez, J. Beer, M. Gómez y M. Ibrahim. 2001. Almacenamiento,

- fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30): 32-35.
- Coile, T. 1936. Soil samplers. *Soil Science* 42(2):139.
- Chave, J., C. Andalo, S. Brown, M. Cairns, J. Chambers, D. Eamus, H. Fölster, F. Fromard, N. Higuchi and T. Kira. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145(1): 87-99.
- Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada and C. W. Robledo. 2009. *InfoStat, versión 2009*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Frangi, J.L., A. E. Lugo. 1985. Ecosystem dynamics of a subtropical floodplain forest. *Ecological Monographs* 55:3 51-369.
- Geist, H. J. and E. F. Lambin. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience* 52(2): 143-150.
- Husch, B., T. Beers, and J. Kershaw. 2003. *Forest mensuration*. 4th ed. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ. USA.
- IPCC. 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUC)*. Suiza.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador - Programa GESOREN-GTZ. 2008. *Análisis Multitemporal del Uso del suelo y Cobertura Vegetal de la Reserva de Biósfera Sumaco*. Quito.
- Ordóñez, L., A. Salazar, C. Gavilanes y J. Andersen. 2010. Potencial de secuestro de carbono en sistemas agroforestales de cacao y café ubicados en la Reserva de la Biosfera Sumaco.
- Rice, R. and R. Greenberg. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio* 29: 167-173 p.
- Schlegel, B., J. Gayoso y J. Guerra. 2001. *Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Proyecto Fondef D98I1076 - Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.*
- Szott, L. T., L. A. Arevalo-Lopez and J. Perez. 1993. Allometric relationships in Pijuayo (*Bactris gasipaes* H.B.K.). Pp. 91-114. *En J. Mora-Urpi, L. T. Szott, M. Murillo, V. M. Patino (Eds.). Congreso Internacional sobre Biología, Agronomía e Industrialización del Pijuayo (4, Iquitos, PE, 1989)*. San José, Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Torres, B., U. Muuss, M. Krott. 2005 (Nov.). *Farm Household Income And Land Use Changes Over Time In An Area Of Extreme Poverty In The Ecuadorian Amazon Region (EAR)* Master Thesis Submitted to the Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology of Georg-August-University at Goettingen, in partial fulfillment of the thesis requirements for to obtain the title of Master of Sciences of Tropical and International Forestry.
- Zanne, A. E., G. Lopez-Gonzalez, D. A. Coomes, J. Ilic, S. Jansen, S. L. Lewis, R. B. Miller, N. G. Swenson, M. C. Wiemann, and J. Chave 2009. *Global wood density database. Dryad*. <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.

