

Biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios e un gradiente altitudinales en Costa Rica

Víctor E. Mena, MSc¹; Hernán J. Andrade, PhD²; Carlos M. Navarro, PhD³

¹ Grupo “Agroforestería del Trópico Húmedo” Programa de Ingeniería Agroforestal Universidad Tecnológica del Chocó DLC; ² Grupo “Producción Ecoamigable de Cultivos Tropicales”, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima; ³ Unidad de Diversidad Genética, Grupo Bosques, áreas protegidas y biodiversidad, CATIE.

E-mail para correspondencia: memovie@gmail.com

Resumen

La remoción de emisiones de gases de efecto invernadero por acumulación en biomasa y/o suelo en ecosistemas terrestres es una forma de mitigar el cambio climático. Los sistemas agroforestales (SAF) bien diseñados y bien manejados son tecnologías “ganar-ganar”, ya que incrementan la producción y generan servicios ambientales. Se estimó el carbono almacenado en SAF café (*Coffea arabica*) - laurel (*Cordia alliodora*) y café-poró (*Erithryna poeppigiana*) y en bosques secundarios ubicados en tres pisos altitudinales (PA) del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca (CBVCT), Costa Rica. Se establecieron parcelas temporales de muestreo en donde se estimó la biomasa aérea y de raíces, la necromasa y el carbono orgánico del suelo. Se utilizaron

ecuaciones alométricas para bosques tropicales y las especies presentes en los SAF y una fracción de carbono de 0,5. El carbono total almacenado fue en promedio 171,3 Mg C ha⁻¹, de los cuales 102,0 Mg C ha⁻¹ estuvieron en 0-30 cm de suelo, seguido de la biomasa aérea, abajo del suelo y la necromasa (53,7; 10,9 y 4,3 Mg C ha⁻¹, respectivamente. El bosque secundario que almacenó mayor carbono (271,7 Mg C ha⁻¹; p = 0,001), seguido del SAF poró-café (129,1 Mg C ha⁻¹) y, por último el SAF laurel-café (113,2 Mg C ha⁻¹). Se encontraron diferencias estadísticas (p = 0,004) en el carbono almacenado en la biomasa total y en el suelo entre los PA. En contraste, no se presentaron diferencias significativas (p = 0,73) en el carbono total almacenado entre los PA.

Palabras clave: Biomasa arriba del suelo, biomasa abajo del suelo, carbono orgánico del suelo necromasa.

Storage of biomass and carbon in agroforestry with coffee and secondary forest in an elevational gradient in Costa Rica

Abstract

The removal of greenhouse gases by accumulation in biomass and soils in terrestrial ecosystems is a way to mitigate the climate change. Agroforestry systems, well designed and well managed, are “win-win” technologies due to increase productivity and generate environmental services. It was estimated carbon storage in AFS of coffee (*Coffea arabica*) - laurel (*Cordia alliodora*) and coffee – poró (*Erithryna poeppigiana*) and in secondary forests of three elevation levels (EL) of Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca (CBVCT), Costa Rica. Sampling plots were established to estimate aboveground and belowground biomass, necromass and soil organic carbon. Allometric equations for species in tropical forests and AFS and a carbon fraction of 0.5 were used. The mean total storage carbon

was 171.3 Mg C ha⁻¹, with 102.0 Mg C ha⁻¹ of this in 0-30 cm soil, followed by aboveground biomass, belowground biomass and necromass (53.7; 10.9 and 4.3 Mg C ha⁻¹, respectively). The secondary forest had greatest carbon storage (271.7 Mg C ha⁻¹; p = 0.0014), followed by SAF café-poró (129.1 Mg C ha⁻¹), and lastly SAF café-laurel (113.2 Mg C ha⁻¹). In contrast, no significant differences (p = 0.73) were found in total carbon storage between EL.

Keywords: Aboveground biomass, belowground biomass, soil organic carbon, necromass.

Introducción

El aumento en la temperatura atmosférica, indicador del calentamiento global causado por el incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero (varios compuestos de carbono) en la atmosfera, es una amenaza para la humanidad que interesa a todos en el ámbito científico, político, económico y ambiental. La ratificación del Protocolo de Kyoto en el 2005 estableció el marco legal para el comercio mundial de carbono, abriéndose oportunidades para que los países en desarrollo obtengan financiamiento para proyectos de uso de la

tierra, cambio de uso de la tierra y forestería (LULUCF, por sus siglas en inglés). La reforestación y aforestación, sea por medio de restauración activa (plantaciones) o pasiva (regeneración natural), son opciones válidas para los proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL). Es necesario conocer la capacidad de los ecosistemas forestales y agroforestales para capturar carbono y así determinar la compensación económica que deben recibir los propietarios de la tierra por el servicio ambiental de captura de carbono atmosférico y mitigación del cambio climático prestado a la sociedad. Por lo anterior el objetivo de estudio fue determinar el potencial en el almacenamiento de carbono en los sistemas agroforestales y en los bosques secundarios del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca (CBVCT), Costa Rica.

Materiales y métodos

Área de estudio y muestreos

La investigación se realizó en Jardín Botánico del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y las fincas Zonex y Aquiares localizadas en los distritos Atirro y Aquiares del Cantón de Turrialba ubicados en altitudes aproximadas

de (600, 800 y 1300 m, respectivamente), en el Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca (CBVCT) de la provincia de Cartago (Costa Rica). La temperatura y precipitación promedio anual son 21,1 °C y 2350 mm respectivamente, tiene un rango altitudinal que va desde los 339 m en el distrito de Peralta hasta los 3340 m en el Volcán Turrialba (Canet 2003). Se establecieron 18 parcelas temporales de muestreo (PTM) de 1000 m² en los sistemas de uso de la tierra (SUT), bosque secundario (BS), y dos SAF con café: laurel-café (LC) y poró-café (PC). Los bosques secundarios y los sistemas agroforestales se encuentran localizados en sitios ocupados anteriormente por monocultivo de café.

Estimación de la biomasa y del carbono

La biomasa y el carbono almacenado en fustales, latizales, brinzales, herbáceas, hojarasca, necromasa, raíces y en la materia orgánica del suelo se estimaron con la metodología propuesta por MacDiken (1997), con algunas modificaciones. Se empleó un sistema de parcelas anidadas de diferente tamaño, donde se midieron seis componentes de biomasa: (i) parte aérea de fustales (ii) parte aérea de latizales altos, (iii) parte aérea de latizales bajos, brinzales,

herbáceas y hojarasca; (iv) materia muerta sobre el suelo (necromasa); (v) raíces y (vi) materia orgánica del suelo. A continuación se describen los procedimientos empleados para medir cada componente.

Biomasa del componente leñoso

A todos los árboles del bosque en pie con diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 10 cm, se les midió el DAP con cinta diamétrica y la h con vara graduada, clinómetro, goniómetro y cinta métrica en la parcela de 1000 m^2 . Se midió el DAP y h a los latizales altos con DAP entre 5 y < 10 cm en la subparcela de 100 m^2 ; Db y altura total (h) de latizales bajos con Db entre 1 y < 5 cm, en la subparcela de 25 m^2 ; diámetro del tronco a 15 cm de altura (d_{15}) y h de los cafetos en la subparcela de 100 m^2 ; diámetro en el centro del fuste (Dc), altura del fuste, diámetro de la protuberancia, altura de la protuberancia, diámetro en la base de la rama (Db) y longitud de la rama (l) a los árboles de poró en la subparcela de 400 m^2 ; DAP y h de los árboles de laurel en la parcela de 1000 m^2 . La biomasa abajo del suelo se estimó empleando un modelo general recomendado por el IPCC (2003).

Biomasa aérea de vegetación herbácea y leñosa pequeña

Se consideró todo el material vegetal (gramíneas, bejucos, helechos y brinzales de regeneración natural) que había dentro de las cuatro subparcelas de 1 m^2 . Se cortó a nivel del suelo el material vegetal, se recolectó, se pesó en el campo y se tomaron muestras con el fin de estimar la materia seca. Las muestras de tejido vegetal se secaron a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ durante tres días y se molieron a $240 \text{ }\mu\text{m}$.

Necromasa

Se recolectaron cuatro muestras de necromasa, en un marco metálico de 50×50 cm, en donde se colectó cuidadosamente toda la hojarasca dentro del marco metálico evitando trozos de ramas grandes podridas, piedras, material en descomposición o cualquier otro elemento que no fuera la muestra deseada. Todo el material seleccionado en el marco metálico se colocó en una bolsa plástica grande, tomando antes el peso fresco y se tomó una submuestra de aproximadamente 200 g . para obtener materia seca en laboratorio. Para el muestreo de la madera caída, se trazó sobre el suelo una línea de 50 m de longitud en el centro de la subparcela de $50 * 10 \text{ m}$, y se midió el

diámetro en el centro del tronco y la longitud de todos los fustes y ramas caídas presentes en esa área. Las muestras de tejido vegetal (vegetación herbácea, hojarasca y necromasa) se secaron a 60 °C durante tres días y se molieron a 240 µm.

Carbono almacenado en la biomasa total

El carbono almacenado en la biomasa arriba y abajo del suelo, se estimó mediante el uso de una fracción de carbono promedio de 0,5 (Brown et al. 1992; Smith et al. 1993; Ordóñez, 1998; IPCC 2005). El carbono almacenado en la biomasa de brinzales, vegetación herbácea y hojarasca se estimó utilizando la fracción de carbono determinada mediante el método de Pregl y Dumas (Bremner y Mulvaney 1982) en un autoanalizador (Perkin-Elmer serie II, CHN/S 2400, Norway Co.).

Carbono orgánico en el suelo

Se estimó el porcentaje de carbono orgánico del suelo mediante el método de Pregl y Dumas (Bremner y Mulvaney 1982) en un autoanalizador (Perkin-Elmer serie II, CHN/S 2400, Norway Co.) y la densidad aparente del suelo en los primeros 30 cm del perfil mediante el método del cilindro (Mac

Dicken 1997). El porcentaje de carbono orgánico del suelo se multiplicó por la densidad aparente del suelo y el porcentaje de suelo, excluyendo rocas, para estimar el carbono almacenado en los primeros 30 cm del suelo.

Impacto de los pisos altitudinales y los sistemas de uso en el carbono almacenado

Se utilizó un diseño completo al azar con tres tratamientos (SUT) y dos repeticiones (parcelas) en tres pisos altitudinales (sitios) para establecer si existen diferencias estadísticas del carbono almacenado en la biomasa total, en el suelo y el carbono total (biomasa + suelo), entre los PA estudiados (inferior -600 m-, medio -800 m- y superior -1300 m) y entre los SUT estudiados (bosque secundario, SAF laurel-café y poró-café). Se transformó la variable carbono con (Log_{10}) y se utilizó la técnica de análisis de varianza (ANDEVA) y la prueba de comparación de medias LSD de Fisher.

Resultados y discusión

Carbono almacenado en la biomasa total

El carbono almacenado en la biomasa total fue en promedio de 69,4 Mg C ha⁻¹, con una

variabilidad entre 9,9 y 208,6 Mg C ha⁻¹. El PA inferior 600 m de altitud, presentó el mayor almacenamiento de carbono en la biomasa total (93,7 Mg C ha⁻¹). Esta diferencia puede ser debido a que los SAF con café y el bosque secundario del Jardín Botánico están entre los sistemas de mayor edad en el estudio. Los bosques secundarios mostraron el mayor almacenamiento de carbono en la biomasa total (158,7 Mg C ha⁻¹

¹). Se encontraron diferencias significativas ($p = 0,0036$) en el carbono almacenado en la biomasa total entre los PA inferior 600, medio 800 y superior 1300 m de altitud (93,7; 79,6 y 34,8 Mg C ha⁻¹, respectivamente). Asimismo, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,0001$) entre los SUT bosque secundario y SAF laurel-café y poró-café (158,7; 28,3 y 21,0 Mg C ha⁻¹, respectivamente) (Figura 1).

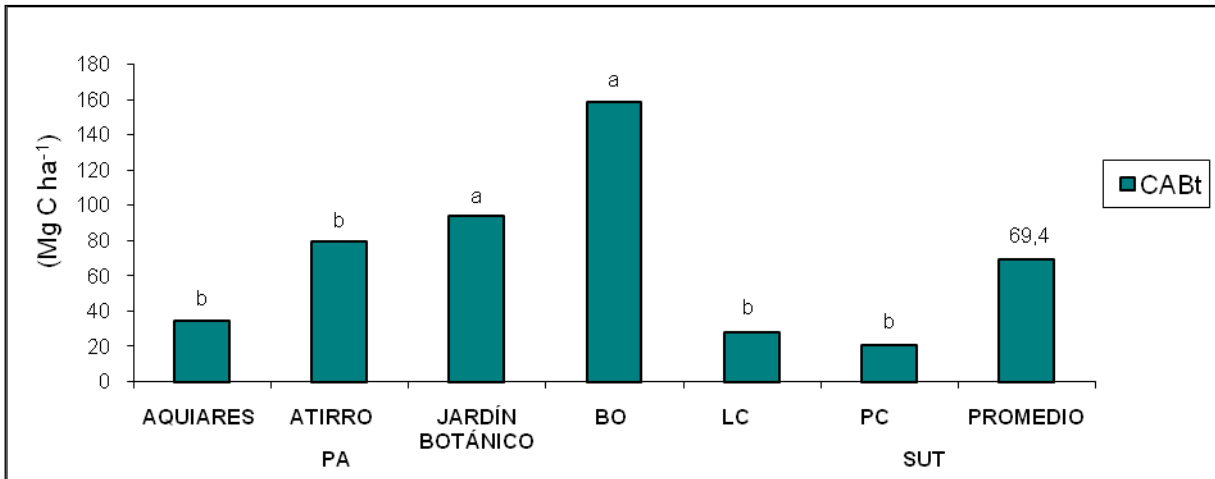


Figura 1. Carbono almacenado en la biomasa total en los pisos altitudinales y los sistemas de uso de la tierra estudiados en el Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica. CABt: carbono almacenado en la biomasa total; PA: piso altitudinal; SUT: sistema de uso de la tierra BO: bosque secundario; LC: sistema agroforestal laurel-café; PC: sistema agroforestal poró-café. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

Carbono orgánico en el suelo

El PA superior 1300 m, reportó el mayor ($p < 0,05$) almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (136,8 Mg C ha⁻¹). Esta diferencia puede ser debido a que los suelos

son diferentes y muy seguramente había diferencias en el contenido de carbono antes de establecer las parcelas. Es decir, efecto del tipo de suelo y no solo del sistema, además, los suelos del PA superior 1300 m, se encuentran ubicados en las faldas del

Volcán Turrialba, lo que los hace provenientes de cenizas volcánicas y tienen la propiedad de tener un perfil con una composición alta de materia orgánica (Mata 2003). Ochoa et al. (2000) identificaron una relación directa entre el contenido de carbono orgánico en el suelo y la altitud. El contenido de materia orgánica en los suelos aumenta a medida que disminuye la temperatura media anual (Rojas 1987). Los valores de carbono orgánico en el suelo obtenidos para los pisos altitudinales estudiados muestran esta tendencia. Los SUT bosque secundario y el SAF poró-café presentaron el mayor almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (113,1 y 108,1 Mg C ha⁻¹). Esta diferencia puede ser debido a que en los bosques secundarios y los SAF

poró-café aportan mayor necromasa al suelo y, además está se descompone e incorpora más rápido al suelo que en los SAF laurel-café.

Se presentaron diferencias significativas ($p = 0,0002$) en el carbono orgánico en el suelo entre los PA, encontrándose (136,8; 90,6 y 78,5 Mg C ha⁻¹, en el superior 1300, inferior 600 y medio 800 m de altitud, respectivamente). Asimismo, se presentaron diferencias significativas ($p = 0,0210$) entre los SUT estudiados, encontrándose (113,1; 108,1 y 84,9 Mg C ha⁻¹, en bosque secundario, SAF poró-café y laurel-café, respectivamente) (Figura 2).

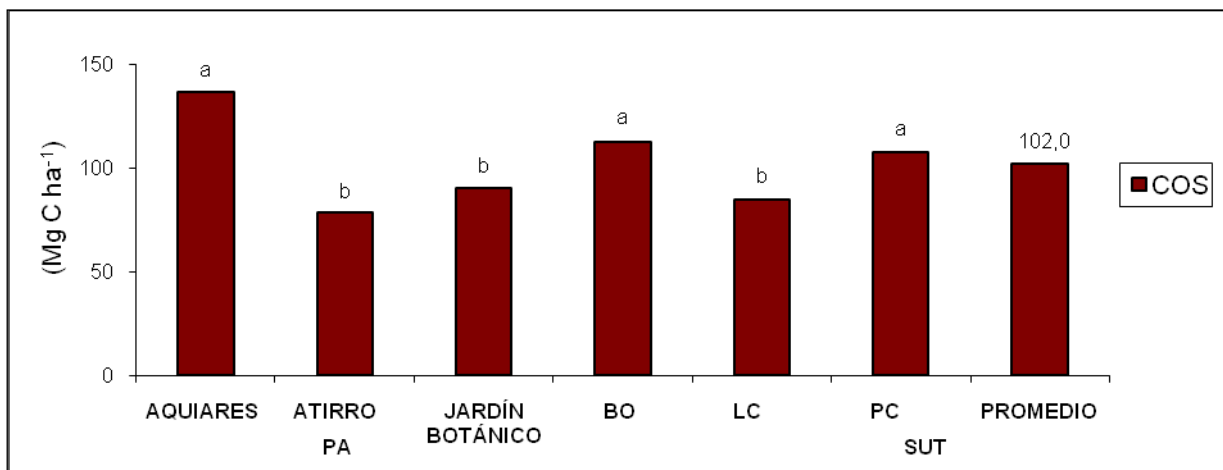


Figura 2. Carbono orgánico en el suelo en los pisos altitudinales y los sistemas de uso de la tierra estudiados en el Corredor Biológica Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica. . COS: carbono orgánico en el suelo; PA: piso altitudinal; SUT: sistema de uso de la tierra BO: bosque secundario; LC: sistema agroforestal laurel-café; PC: sistema agroforestal poró-café. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

Carbono total almacenado

El carbono total almacenado fue en promedio fue 171,3 Mg C ha⁻¹ (Cuadro 1). Se encontró que el suelo a los 30 cm superficiales fue el mayor reservorio de carbono (102,0 Mg C ha⁻¹; 59,5%), similar a los valores reportados por Brown et al. 1982, Johnson 1992, Moraes 2001, Orrego et al. 2003). La biomasa total almacenada fue 69,3

Mg C ha⁻¹, siendo la biomasa aérea la de mayor contribución, con 53,7 Mg C ha⁻¹, también similar a los valores reportados por Arreaga (2002) y Orrego et al. (2003). La biomasa de raíces y la necromasa son componentes menos importantes. Sin embargo la inclusión de estos componentes incrementaría los potenciales créditos de carbono comercializables, siempre y cuando su medición sea rentable.

Cuadro 1. Almacenamiento promedio de carbono en sistemas agroforestales con café y bosque secundario en el Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica.

PA	SUT	Carbono en (t C ha ⁻¹)					TOTAL
		Aéreo	Raíces	Necromasa	Biomasa	Suelo	
		Promedio					
AQUIARES	BOSQUE	57,95	12,17	6,87	76,99	167,82	244,81
	LC	12,36	3,06	2,11	17,53	89,46	107,00
	PC	6,15	1,65	2,10	9,91	153,21	163,12
ATIRRO	BOSQUE	161,35	31,95	15,26	208,57	70,11	278,67
	LC	14,17	3,44	1,40	19,01	84,24	103,25
	PC	7,07	1,86	2,27	11,20	81,25	92,45
JARDÍN	BOSQUE	154,99	28,74	6,72	190,45	101,27	291,72
BOTANICO	LC	37,55	8,05	2,88	48,48	80,84	129,32
	PC	32,06	7,29	2,66	42,01	89,67	131,68

LC: Sistema agroforestal laurel-café; PC: sistema agroforestal poró-café.

El carbono total almacenado en los bosques secundarios fue en promedio de 271,7 Mg C ha⁻¹, distribuidos en 124,8 Mg C ha⁻¹ en biomasa aérea total, 113,1 Mg C ha⁻¹ de carbono orgánico en el suelo, 24,3 Mg C ha⁻¹ en raíces, 9,6 Mg C ha⁻¹ en la necromasa.

Estos resultados fueron similares a lo encontrado en bosques primarios (ANACAFE 1998). Asimismo, los SAF con café almacenaron un promedio de carbono total de 121,1 Mg C ha⁻¹, distribuidos en 96,5 Mg C ha⁻¹ de carbono orgánico en el suelo, 18,2 Mg C ha⁻¹ de carbono en la biomasa aérea total, 4,2 Mg C ha⁻¹ (3,5%) de

carbono en la biomasa de las raíces y 2,2 Mg C ha⁻¹ de carbono en la necromasa. Igualmente, los valores fueron concordantes con los reportados por ANACAFE (1998) y Winrock Internacional (1998).

Se detectaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) en el carbono almacenado en la biomasa total y el carbono orgánico del suelo entre pisos altitudinales, pero no se mantuvieron en el carbono total almacenado, lo cual puede ser debido a que los sitios presentan diferencias biofísicas como topografía, orden de suelo, temperatura y precipitación. Sin embargo, se presentaron diferencias ($p < 0,05$) en el carbono almacenado en la biomasa total y el carbono orgánico del suelo entre los sistemas de uso de la tierra y se mantuvieron en el carbono total almacenado, lo cual se debe a la presencia de árboles remanentes y diferencia en edad de los bosques secundarios con respecto a los SAF.

Se presentaron diferencias significativas ($p = 0,0014$) en el carbono total almacenado entre los SUT estudiados, encontrándose (271,7; 129,1 y 113,2 Mg C ha⁻¹, en bosque secundario, SAF poró-café y laurel-café, respectivamente). En contraste, no se presentaron diferencias significativas ($p =$

0,7267) entre los PA, encontrándose (184,2; 171,7 y 158,1 Mg C ha⁻¹, en el inferior 600, superior 1300 y medio 800 m de altitud, respectivamente) (Figura 3).

Conclusiones

El bosque secundario fue el SUT que presentó el mayor almacenamiento de carbono total (271,7 Mg C ha⁻¹). El suelo a los 30 cm superficiales fue el mayor reservorio de carbono en los SUT estudiados (102,0 Mg C ha⁻¹). La disminución en altitud, tiene un efecto positivo en el almacenamiento de carbono en la biomasa total de los SUT estudiados en el CBVCT. El incremento en altitud tiene un efecto positivo en el carbono orgánico en el suelo de los SUT estudiados en el CBVCT, ya que a medida que aumenta la altitud aumenta el carbono orgánico en los suelos. La variación en altitud no tuvo efecto en el almacenamiento de carbono total en los SUT estudiados en el CBVCT. Se encontraron diferencias significativas en el carbono total almacenado entre los SUT estudiados. En contraste, no se presentaron diferencias significativas entre los PA tenidos en cuenta en el estudio.

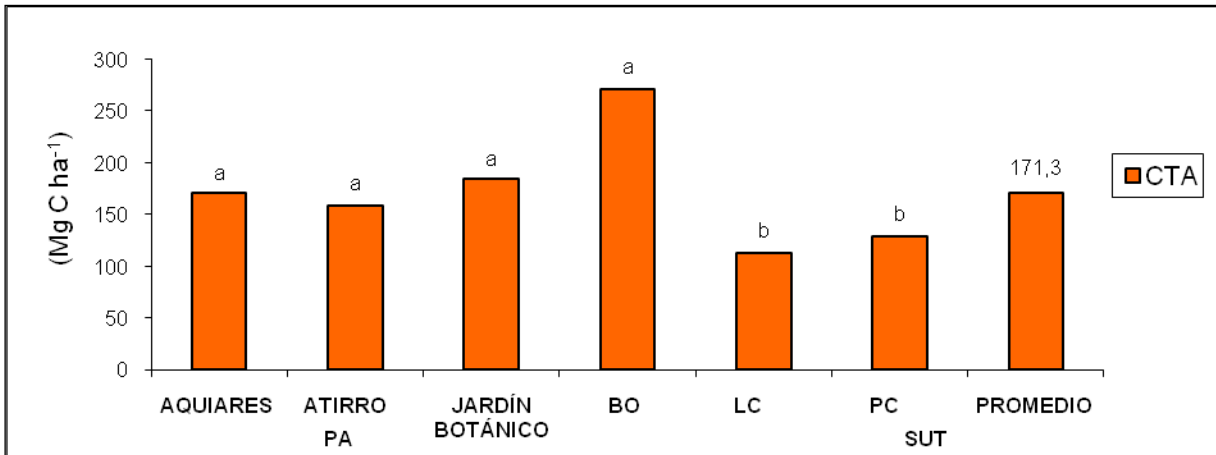


Figura 3. Carbono total almacenado en los pisos altitudinales y los sistemas de uso de la tierra estudiados en el Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica. CTA: carbono total almacenado; PA: piso altitudinal; SUT: sistema de uso de la tierra BO: bosque secundario; LC: sistema agroforestal laurel-café; PC: sistema agroforestal poró-café. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

Referencias bibliográficas

- ANACAFE. 1998. Cuantificación estimada del dióxido de carbono fijado por el agrosistema café en Guatemala. 9º. Congreso de Caficultura Nacional. 24 y 25 de agosto 1998. 16 p.
- Arreaga, W. 2002. Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Escuela de postgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Brown, S.; Lugo, A. E. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in de global carbon cycle. *Biotropica*. 14 (3).
- Brown, S; Lugo, A.E; Iverson, L.R. 1992. Processes and lands for sequestrating carbon in the tropical forest landscapes. In Wisniewski j. y Lugo A.E. (eds.), 1992. Natural sinks of CO₂. *Water, air and soil pollution* 64: 139-155.
- Bremner, JM; Mulvaney, C. 1982. Carbon, inorganic nitrogen. *In* Page, A; Miller, R; Keeney, D. eds. *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*. 2 ed. Madison, US, American Society of Agronomy. p. 552, 673-682.
- IPCC. 2005. Panel Intergubernamental sobre cambio climático: La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. Resumen para responsables de políticas. Informe del Grupo de trabajo III del IPCC. [Metz, B; Davidson, A; de Coninck, H; Loos, M; Meyer, L. (eds.)]. 66 p.
- Canet, L. 2003. Ficha técnica del Corredor Biológico Turrialba – Jiménez. San José, Costa Rica. 75 p.
- IPCC. National Greenhouse Gas Inventories Programme Intergovernmental (2003) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. In: Penman J, Gytarsky M, Hiraishi T, Krug T, Kruger D, Pipatti R, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, Wagner F (eds) IPCC good practice guidance for LULUCF, chapter 4: supplementary

- methods and good practice guidance arising from the Kyoto Protocol, panel on climate change. IPCC, Geneva, Switzerland, pp 113–116.
- Johnson, D.W. 1992. Effects of forest management on soil carbon storage. *Water Air Soil Pollut.* 64: 83-120.
- MacDicken, K. 1997. A guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Arlington, VA: Winrock International Institute for Agricultural Development. 43 p.
- Mata Chinchilla, R. 2003. Principios generales sobre la pedología y taxonomía de suelos. Curso de certificadores de uso conforme LEY 7776. Puntarenas, Costa Rica. 108 p.
- Moraes, C. 2001. Almacenamiento de carbono en bosques secundarios en el municipio de San Carlos, Nicaragua. Escuela de postgrado, Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Ochoa, G; Oballos. J; Sanchez. J; Sosa. J; Manrique. J; Velasquez. J. 2000. Variación del carbono orgánico en función de la altitud. Cuenca del Río Santo Domingo, Merida-Barinas, Venezuela. *Rev. Geog. Venez.* 41 (1). 71-87. of Wales. 224 p.
- Ordóñez, A. 1998. “Estimación de la Captura de Carbono en un Estudio de Caso para Bosque Templado: San Juan Nuevo, Michoacán”. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, Ciudad de México.
- Orrego, S.A; Del Valle, J.I; Moreno, F.H. 2003. Medición de la captura de carbono en ecosistemas tropicales de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellin. 326 p.
- Rojas, O. 1987. Zonificación agroecológica para el cultivo del café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. IICA, San Jose. 66 p.
- Smith, T.M; Cramer, W.P; Dixon, R.K; Leemans, R; Neilson R.P; Solomon, A.M. 1993. The Global Terrestrial Carbon Cycle. *Water, Air and Soil Pollution* 70, p. 3-15.
- Winrock Internacional. 1998. Carbon sequestration and sustainable *coffea* in Guatemala. Arlington. 18 p.