

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

CUANTIFICACIÓN DE CARBONO RADICAL *Morella pubescens* (Willd.) Wilbur EN DOS AGROECOSISTEMAS (NARIÑO, COLOMBIA)

Carbon stock quantification of *Morella pubescens* (Willd.) Wilbur in two agroecosystems, Nariño, Colombia

Iván Andrés Delgado Vargas¹, Jhonnie Mauricio Daza Castillo², Gloria Cristina Luna Cabrera³, Hugo Ferney Leonel⁴ & Luz Amalia Forero Peña⁵

Delgado V, I., Daza C., J., Luna C, G., Leonel, H. & Forero P, L. (2016). Cuantificación de carbono radical *Morella pubescens* (Willd.) Wilbur en dos agroecosistemas (Nariño, Colombia). *Colombia Forestal*, 19(2), 209-218.

Recepción: 21 de agosto de 2015

Aprobación: 14 de marzo de 2016

Resumen

Se cuantificó el Carbono (C) almacenado en biomasa radical de *Morella pubescens* (Willd.) Wilbur, en San Pablo, Nariño, Colombia, con altura de 2010 m, precipitación media anual de 1300 mm y temperatura promedio de 17°C. Se tomó tres unidades experimentales: sistema silvopastoril, arreglo pastura en callejones (Pc) a dos distancias de siembra 4x3 m y 4x4 m, y el sistema de regeneración natural (Rn). Se seleccionó 7 individuos por unidad experimental (diámetros entre 5 y 7 cm), la muestra se tomó a 70 cm y 140 cm desde el árbol, con profundidades 0-15, 15-30 y 30-45 cm. En total se tomaron 24 muestras/árbol en 21 individuos seleccionados. La mayor cantidad de biomasa radical y carbono almacenado se presentó en el arreglo Pc, 4x3 m con 27.6 t.ha⁻¹ (14.1 t.C.ha⁻¹) y 24.4 t.ha⁻¹ (12.1 t.C.ha⁻¹) en distancia 4x4 m y 7.5 t.ha⁻¹ (2.9 t.C.ha⁻¹) en Rn. No hubo diferencias significativas en el C almacenado por árbol, a la distancia de 4x4 m, frente al sistema Rn; hubo disminución de C a 4x3 m; por ende, las diferencias de acumulación

entre sistemas, pueden obedecer a la densidad de siembra.

Palabras clave: Biomasa radical, carbono, *Morella pubescens*, pastura en callejones, regeneración natural.

Abstract

The carbon stored in radical biomass of *Morella Pubescens* (Willd.) Wilbur was quantified in San Pablo, Nariño, Colombia, at 2010 m altitude, average annual rainfall of 1300 mm, and average temperature of 17°C. Three different experimental units were evaluated; silvopastoral system, pasture alley cropping (Ac) in two planting distances: 4x3 m and 4x4 m, and natural regeneration system (Rn). Seven individuals were taken per experimental unit (diameters 5 – 7 cm), the sample was taken at 70 cm and 140 cm from the tree at three different depths (0-15, 15-30, and 30-45 cm). A total of 24 samples per tree was taken in 21 selected individuals. The highest quantity of radical biomass and C stock was present in the Ac arrangement 4x3 m with 27.6 t.ha⁻¹ (14.1

1 Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. idelgado@catie.ac.cr. Autor para correspondencia.

2 Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Cartago, Costa Rica. mdaza@catie.ac.cr.

3 Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. grupopifil@gmail.com.

4 Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. hleonel2001@gmail.com.

5 Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. laforerop@ut.edu.co.

t.C.ha⁻¹), followed by the Ac arrangement 4x4 m, 24.4 t.ha⁻¹ (12.1 t.C.ha⁻¹), and by 7.5 t.ha⁻¹ (2.9 t.ha⁻¹) in natural regeneration. Taking into account that there were no significant differences in stored C per tree in system Ac arrangement 4x4 m, compared to Rn,

and there was a decrease of C at 4x3 m in Ac arrangement, the differences between the systems may be due to sowing density.

Keywords: radical biomass, carbon, *Morella pubescens*, alley cropping, natural regeneration.

INTRODUCCIÓN

El clima mundial ha evolucionado por factores naturales e influencia antropogénica. Los niveles de dióxido de carbono y de otros gases de efecto invernadero en la atmósfera han aumentado vertiginosamente sus concentraciones por la utilización de combustibles fósiles, la deforestación y otras actividades humanas, impulsadas por el crecimiento económico y demográfico desde la revolución industrial (IPCC, 2007).

Por esta razón es necesario desarrollar y promover investigaciones encaminadas a cuantificar con exactitud la cantidad de biomasa y carbono presente en los diferentes sistemas de uso de suelo. En este sentido, los sistemas agroforestales tienen potencial como sumidero de carbono atmosférico (Montagnini & Nair, 2004; Soto-Pinto *et al.*, 2010; Schroth *et al.*, 2011), siendo una alternativa productiva con posibilidad de mejorar los agroecosistemas, además de generar servicios ambientales como la captura de CO₂, traducido en la acumulación del carbono (C) en diferentes partes de la planta como la biomasa sobre el suelo, biomasa radical y otros componentes del sistema como la hojarasca y suelo. Estudios realizados en biomasa aérea en sistemas agroforestales mediante modelos alométricos se encontró 114 Mg C·ha⁻¹ en café –cedro rosado, 34 Mg C·ha⁻¹ en café –macadamia, 29 Mg C·ha⁻¹ en café-chalahuite, 27 Mg C·ha⁻¹; café-plátano velillo y en sistema silvopastoril en 2 Mg C·ha⁻¹ (Espinoza *et al.*, 2012).

El Laurel de Cera *M. pubescens* es un árbol que crece de manera natural en los potreros, taludes de carretera, cerca de los ríos, quebradas y en periferias de bosques. Se encuentra distribuido en

Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y algunos países de Centro América; se localiza en zonas frías y húmedas entre 1600 y 3200 msnm, sobre una gran diversidad de suelos fértiles e incluso estériles. En Colombia se encuentra en los departamentos de Nariño, Cauca y Antioquia (Parra, 2003). Múltiples investigaciones recomiendan su siembra en sistemas agroforestales debido a su potencial económico e industrial, basado en la extracción y comercialización de cera y sus servicios ambientales para la conservación de suelos, control de la erosión y procesos de restauración para bosques secundarios y riberas hídricas, puesto que posee raíces profundas y abundantes las cuales, además, albergan en sus nódulos el actinomiceto frankia, que tiene la capacidad de fijar nitrógeno(N) (Machecha, 2004; Luna, 2006).

Dada la importancia de explorar las posibilidades de establecer sistemas arbolados con especies promisorias que contribuyan con la disminución de los niveles contaminantes de CO₂ en la atmósfera, en sistema silvopastoril con *M. pubescens* se encontró una acumulación en biomasa aérea de 4.12 t.C.ha⁻¹ (Delgado & Martínez, 2005). La cantidad de carbono almacenado en el suelo de pastizales tropicales se ha estimado entre 16 y 48 t.C.ha⁻¹ en la profundidad de 0 a 30 cm (Botero 2003). En otra investigación se realizó la estimación de las existencias de carbono en sistemas silvopastoril (SSP) con *Acacia decurrens* y *Pennisetum clandestinum*, los resultados indican que entre el 76% y 84% de las raíces finas se encuentran en los primeros 15 cm del suelo, con una acumulación de 40.32 t.C.ha⁻¹ (Orrego *et al.*, 2008). El objetivo del presente estudio fue cuantificar el almacenamiento de C de la biomasa radical del laurel de cera *M.*

pubescens en un arreglo silvopastoril a dos distancias de siembra y realizar una comparación con el acumulado en árboles que se establecidos naturalmente mediante regeneración.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la vereda Bateros del municipio de San Pablo ubicada en las coordenadas geográficas 1°40'09" N y -77°00'42" O del departamento de Nariño, a una altura de 2010 msnm, con precipitación pluvial media anual de 1300 mm y una temperatura promedio de 17°C. En dos sistemas, el primero de pastura en callejones (Pc) en parcelas experimentales a dos distancias de siembra (4x3 m y 4x4 m por ha) establecida por el grupo de investigación PIFIL en el año de 1995, con la colaboración de la Alcaldía de San Pablo y la comunidad, y el segundo en un área de regeneración natural (Rn) encontrada en la misma vereda, donde la especie se reproduce naturalmente (aproximadamente 200 árboles por ha). En el sistema Pc en cada distancia, así como para la Rn, se seleccionaron al azar 7 árboles en el rango de 5 a 7 cm de diámetro a altura de pecho, para un total se muestrearon 21 árboles.

Para la extracción de raíces finas se utilizó el barreno Eijkelkamp con un cilindro de 7 cm de radio, 15 cm de largo y el volumen es de 750 cc, con base en la metodología usada en palma africana (Reyes *et al.*, 1997), y modificada para este estudio. La distribución vertical de la raíces se analizó en el criterio de profundidad desde el nivel del suelo hasta 45 cm (muestra extraída suelo-raíces con cilindro de volumen 750 cc), mientras que la distribución horizontal se estudió en dos anillos concéntricos a partir de la base del tallo, desde el perímetro del tallo hasta 0.70 m de distancia y desde el perímetro del tallo hasta 1.40 m de distancia. Se trazaron cuatro líneas en sentido norte, sur, oriente y occidente, tomando una muestra en cada punto definido en cada una de las tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm.), para un total de 24 muestras extraídas por cada árbol (figura 1).

Se obtuvieron 504 unidades experimentales (Pc y Rn). Para la estimación de materia seca y material libre de ceniza, cada muestra fresca fue pesada y secada para realizar su cálculo con base en la metodología presentada por Schlönvoigt *et al.*, (2000). Las muestras de raíces finas y de raíces gruesas fueron trasladadas a los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño para

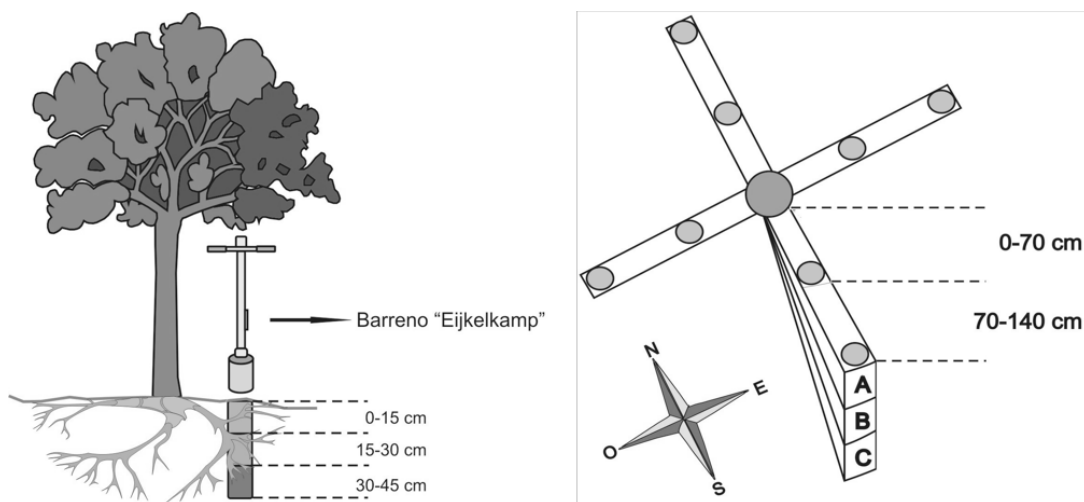


Figura 1. Detalle del muestreo en campo.

su determinación de fracción de C, mediante el método de combustión húmeda, también conocido como método de incineración (MacDicken, 1997). Se aplicaron pruebas de temperatura cuantificando el C en cada una de las unidades experimentales. Se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey, para el contenido de humedad en las raíces finas en ambos agroecosistemas y determinar diferencias estadísticas en el C acumulado en los árboles de las dos distancias de siembra de la Pc y la Rn. Mediante el software estadístico Infostat, versión 2008 (Infostat, 1977).

RESULTADOS

Mediante análisis de varianza para la variable humedad no presentó diferencias significativas ($p < 0.05$), es decir, los contenidos de humedad no varían entre los sistemas (distancias de siembra) evaluados. La prueba de comparación de medias

indica que la mayor cantidad de humedad se encontró en el sistema con distancias de siembra correspondiente a 4x4 seguido de 4x3 y el de menor contenido el de regeneración natural. Para las variables de biomasa y carbono almacenado en los primeros 15 centímetros de suelo no se presentó diferencias estadísticas ($p < 0.05$).

Para el análisis de biomasa y carbono se tomó separadamente las muestras de raíces finas y gruesas y se separó por profundidades. Se encontró que la mayor cantidad de C en raíces finas está presente en la profundidad de 0-15 cm en las dos distancias de siembra disminuyendo progresivamente en las otras dos profundidades recolectadas. El C almacenado en esta primera parte del perfil fue de 4.2 t.ha⁻¹ (8.2 t.C.ha⁻¹ de biomasa) para la parcela con distancia entre árboles de 4x3 m, seguida con 3.2 t.ha⁻¹ (6.7 t.C.ha⁻¹ de biomasa) para la parcela de 4x4 m y finalmente para regeneración natural de 0.82 t.ha⁻¹ (2.1 t.C.ha⁻¹ de biomasa). Como puede verse. La cantidad de C de raíces finas en los sistemas de Pc en las dos distancias de siembra

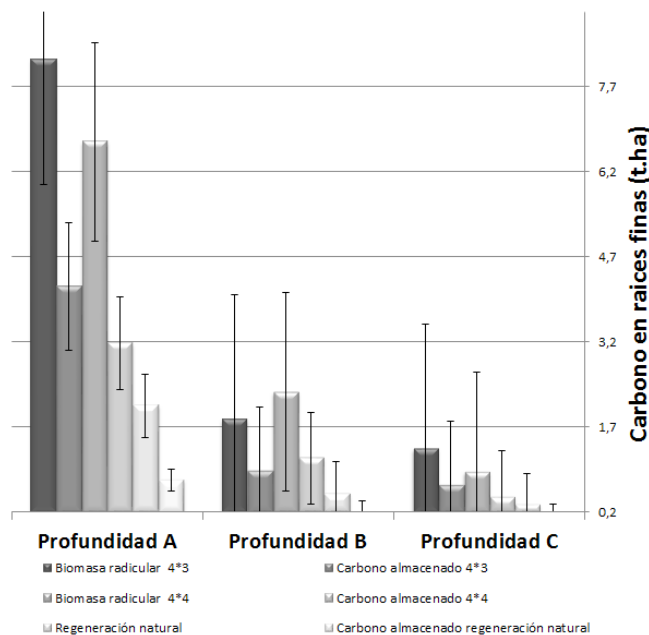


Figura 2. Biomasa y C almacenado total en raíces finas a tres profundidades de muestreo, en un sistema silvopastoril de pastura en callejones a dos distancias de siembra (4x4 y 4x3) y en regeneración natural.

frente a la Rn fue estadísticamente diferente; debido a la distancia de siembra, la mayor cantidad de C fue encontrada en la distancia de 4x3 m. las raíces finas además de distribuirse principalmente en los primeros centímetros del suelo, disminuyen exponencialmente a medida que aumenta la profundidad (figura 2).

En los datos obtenidos de biomasa almacenada procedente de raíces gruesas en los primeros 15 cm de profundidad, tanto en el sistema Pc como en Rn, se determinó mayor cantidad de C almacenado en el arreglo silvopastoril para la distancia de 4x3 m con 5.02 t.C.ha⁻¹, seguido de 3.12 t.C.ha⁻¹ para la distancia de 4x4 m y finalmente 1.2 t.ha⁻¹ para regeneración natural, disminuyendo progresivamente para las otras profundidades. Los datos de C de raíces gruesas fueron de 2.8 t.C.ha⁻¹ para la parcela con distancias de 4x3m, seguida con 1.6 t.ha⁻¹ para la parcela de 4x4 m y finalmente para regeneración natural de 0.6 t.C.ha⁻¹ disminuyendo progresivamente en las otras dos profundidades (figura 3).

DISCUSIÓN

El análisis en las tres unidades experimentales demostró que la mayor cantidad de C de las raíces finas se encuentra presente en las profundidades superficiales, es decir, en el rango comprendido entre 0 y 15 cm, disminuyendo progresivamente en las otras dos profundidades. Esta dinámica presente en las raíces en el perfil de suelo puede deberse a fases tempranas de la planta en la sucesión, crecimiento y adaptación (Jackson *et al.*, 1997; Herrera *et al.*, 2003), depende grandemente del tipo de especie, el tipo de raíz y la disponibilidad de agua en el suelo, temperatura, flora y fauna local, tal como demuestran autores como Kent (2000), Schaller (2001), Andrade *et al.*, (2008), Lok *et al.*, (2013), Alvarado *et al.*, (2013) y Somarriba *et al.*, (2013).

A medida que se incrementa la profundidad de muestreo, los contenidos de materia orgánica del suelo disminuyen de manera natural con el incremento de la profundidad. Debido a que en la

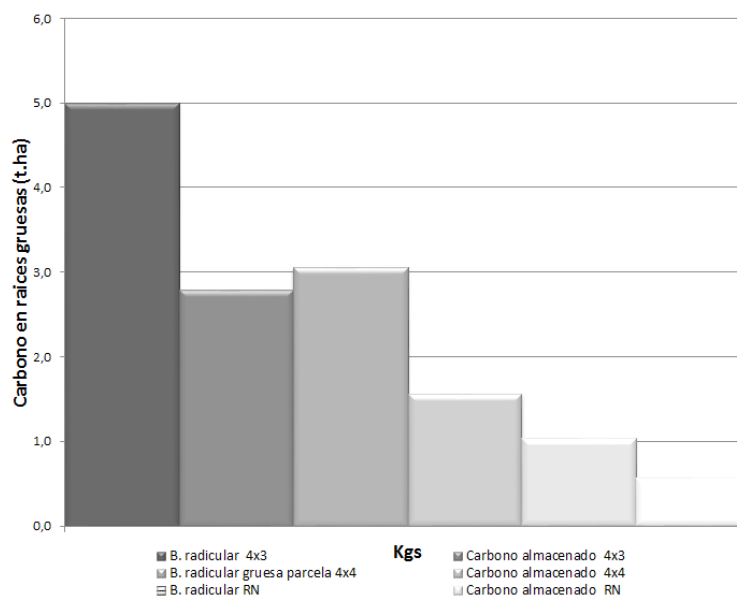


Figura 3. Biomasa y C almacenado total en raíces gruesas a tres profundidades de muestreo, en un sistema silvopastoril de pastura en callejones a dos distancias de siembra (4x4 y 4x3) y en regeneración natural.

profundidad de 0 a 15 cm ocurre el mayor depósito de la materia orgánica por efecto de la acumulación de la hojarasca, la fitomasa subterránea y la cercanía a los lugares de deposición de las excretas, generando una actividad biológica superior y por tanto mayores posibilidades para la captura de carbono en el suelo (Oelbermann *et al.*, 2004; Noda *et al.*, 2013). Estos datos concuerdan a los reportados por Ramos (2003), encontrando datos significativos en la presencia de raíces y por consiguiente C almacenado a la profundidad de suelo 0 a 20 cm (58.2% de biomasa y 1.9 t.C.ha⁻¹). En esta misma profundidad para *Brachiaria brizantha* en monocultivo (2.3 t.C.ha⁻¹) y *B. brizantha* asociado con *Diphysa robinoides* (1.7 t.C.ha⁻¹) (Rojas *et al.*, 2009).

Igual comportamiento se encontró en estudios realizados por Morales y Beer (1998), quienes reportaron que las raíces finas superficiales de *Eucalyptus deglupta* y *Coffea arabica* se desarrollaron bien en los estratos superficiales (58% entre 0-10 cm) y sub-superficialmente (21% entre 10-20 cm) del suelo y las raíces de ambas especies disminuyeron con la profundidad. Concordando con datos obtenidos por Zhou *et al.*, (2007), encontraron que 80% de biomasa y contenido de C en raíces se encuentra en los 0.2 m de suelo y en menor cantidad por debajo de los 0.5 m de profundidad.

Estudios realizados por Ávila *et al.*, (2001) y Miranda *et al.*, (2007) encontraron que el C almacenado en un sistema silvopastoril es mayor que en un sistema de monocultivo o pasto natural, debido a que gran parte del C orgánico en el suelo es aportado por el material muerto de raíces, además del material de los árboles que cae al suelo (Céspedes *et al.*, 2012). De igual forma, MacDiken (1997) afirma que estimar del almacenamiento de carbono en biomasa bajo el suelo (raíces) es importante en proyectos de fijación de carbono, ya que esta representa entre un 10 y un 40% de la biomasa total. En los sistemas silvopastoriles, además de la acumulación en la gramínea, también se acumula el carbono en la madera y en las raíces del árbol, lo que infiere en estos sistemas una

mayor productividad primaria neta (Botero, 2003). En otros sistemas agroforestales de cacao, en asociación con *Cordia alliodora*, las raíces gruesas almacenaron un promedio de 9.26 t.C.ha⁻¹ (7.87%), y las raíces finas almacenaron en promedio 1.23 t.C.ha⁻¹ (1.12%) (Espin & Cerda, 2010).

Ibrahim *et al.* (2005) ratifican que los sistemas agroforestales (SAF) presentan un gran potencial para la captura y almacenamiento de carbono en el suelo y biomasa, puede variar entre 20 y 204 t.C.ha⁻¹, alcanzando a tener incrementos de C anual entre 1.8 y 5.2 t.C.ha⁻¹. En SAF asociados con cafetales se encuentra almacenamiento entre 33.6 y 72.3 t.C.ha⁻¹; encontrando valores mayores que en sistemas sin árboles (2.67 vs. 0.63 t.C.ha⁻¹) (Alvarado *et al.*, 2013; Andrade *et al.*, 2014). En SAF con cacao, los árboles maderables y frutales almacenan 32 t.C.ha⁻¹, equivalente a 64% de carbono en la biomasa aérea, los árboles de cacao almacenan 9 t.C.ha⁻¹, igual al 18% de carbono en la biomasa aérea (Méndez *et al.*, 2013; Somarriba *et al.*, 2013); además del aporte económico obtenido mediante el pago por servicios ambientales en cuanto a carbono total, ganando alrededor de 127 US\$ C.ha⁻¹ por año (Cerda *et al.*, 2013). Igualmente, se pueden considerar otra clase de beneficios *no monetarios*, como asistencia técnica relacionada con mitigación y adaptación al CC, producción agroecológica de cafetales y diversificación de medios de vida (Méndez *et al.*, 2013; Rahn *et al.*, 2013).

CONCLUSIONES

La mayor cantidad de C en raíces de *M. pubescens* se encuentra presente en las profundidades superficiales, (0 y 15 cm) con una acumulación de 4.2 t.ha⁻¹, disminuyendo progresivamente en las otras dos profundidades.

La mayor cantidad de biomasa en raíces *M. pubescens* se encuentra presente en las profundidades superficiales, (0 y 15 cm) con una acumulación de

8.2 t.C.ha⁻¹, disminuyendo progresivamente en las otras dos profundidades.

Los árboles de *M. pubescens* sembrados a distancia de 4x3 en el sistema de pastura en callejones desarrollaron una menor biomasa radical y por ende una menor acumulación de C. Las densidades de siembra de este estudio afectaron significativamente la acumulación total de C por unidad de superficie.

Los árboles de *M. pubescens* que crecen naturalmente en potreros en las condiciones de este estudio en Nariño, Colombia, tienen acumulaciones de C en las raíces similares a sembrados con distancias de 4x4 m en el sistema de pastura en callejones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Nariño, a la Facultad de Ciencias Agrícolas y al programa de Ingeniería Agroforestal. Al grupo de investigación PIFIL. A la Alcaldía del municipio de San Pablo, Nariño, y las autoridades de la UMATA en San Pablo. A la comunidad de la vereda Bateros por brindarnos todo su apoyo y colaboración, en especial al señor Edivar Espinosa y su familia. A todas las personas que de una u otra forma hicieron posible el desarrollo y culminación de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, J., Andrade, H. & Segura, M.** (2013). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. *Colombia Forestal*, 16 (1), 21-31
- Andrade, H., Marin, L. & Pachon, D.** (2014). Almacenamiento de carbono y porcentaje de sombra en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. *Bioagro*, 26 (2), 127-132
- Andrade, H.J., Brook, R., & Ibrahim, M.** (2008). Growth, production and carbon sequestration of silvo-pastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant and Soil*, 308 (1-2), 11-22.
- Ávila, G., Jiménez, F., Beer, J., Gómez, M. & 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.
- Botero, J.** (2003). Contribución de los sistemas ganaderos tropicales al secuestro de carbono. *Agroforestería Para La Producción Animal en América Latina—II. Memorias de la Segunda Conferencia Electrónica (Agosto de 2000-Marzo de 2001)*. FAO. 92p.
- Cerda, R., Bustillos, T., Espin, C. & Cifuentes, M.** (2013). Carbono en sistemas agroforestales de cacao de la Reserva Indígena Bribri de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 43, 33-41.
- Céspedes, F., Fernández, J. & Bernardis, A.** (2012). Reservorio de carbono en suelo y raíces de la ONU, pastizal y pradera bajo pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35 (1), 59-86.
- Delgado, A. & Martínez, Y.** (2005). Estimación y evaluación de la biomasa y captura de carbono del laurel de cera *Morella pubescens* Humb & Bonpl ex Willd Wilbur en dos sistemas agroforestales en los municipios de Pasto y San Pablo, departamento de Nariño. (Trabajo de pregrado, Ingeniería Agroforestal). San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. 139p.
- Espin, T. & Cerda, R.** (2010). Estimación de carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*) en diferentes condiciones de paisaje en la reserva indígena de Talamanca, Costa Rica (Trabajo de pregrado, Ingeniería Agroforestal). San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. 90 p.
- Espinoza, W., Krishnamurthy, L., Vázquez, A. & Torres, A.** (2012). Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(1), 57-70.
- Herrera, M., del Valle, J. & Orrego, S.** (2003). Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y

necromasa en bosques intervenidos y secundarios. Medición de la captura de C en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: Contribuciones para la mitigación del cambio climático. 151p.

- Ibrahim, M., Chacón, M., Mora, J., Zamora, S., Gobbi, J., Llanderal, T., Harvey, A., Murgueitio, E., Casasola, F., Villanueva, C. & Ramirez, E.** (2005). Opportunities for carbon sequestration and conservation of water resources on landscapes dominated by cattle production in Central America. Henry A. Wallace/CATIE Inter-American Scientific Conference Series. Integrated management of environment services in human-dominated tropical landscape. Turrialba, Costa Rica: CATIE. 27-34p.
- Infostat.** (1977). Infostat, versión 2008. Manual del usuario. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Segunda edición, Editorial Brujar Argentina. Recuperado de: <http://www.infostat.com.ar/>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).** (2007). Climate change 2007: the physical science basis. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press. 996p.
- Jackson, R. Mooney, H. & Schulze, D.** (1997). A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Ecology. National Academy of Sciences*, 94, 7362-7366.
- Kent, P.** (2000). Pruning effects on roots of nitrogen fixing trees in the humid tropics. (Ph.D. thesis). Turrialba, Costa Rica: CATIE. 39p.
- Lok, S., Fraga, S., Noda, A. & García, M.** (2013). Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47(1), 73-82.
- Luna, C.** (2006). La investigación participativa sobre laurel de cera (*Morella pubescens*) una estrategia de educación ambiental en la zona andina de Nariño-Colombia. Pasto: Universidad de Nariño. 12p.
- MacDiken, K.** (1997). A Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, US, Winrock International. 87p.
- Mahecha, G.** (2004). Vegetación del territorio CAR: 450 especies de sus llanuras y montañas. Bogotá: Corporación autónoma regional de Cundinamarca. 871p.
- Méndez, V., Bacon, C., Olson, M., Morris, K. & Shattuck, A.** (2013). Conservación de agrobiodiversidad y medios de vida en cooperativas de café bajo sombra en Centroamérica. *Revista Ecosistemas*, 22(1), 16-24.
- Miranda, T., Machado, R., Machado, H. & Duquesne, P.** (2007). Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica. Estudio de caso. *Pastos y Forrajes*. 30 (4), 483-491.
- Montagnini, F. & Nair, P.K.R.** (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61-62(1-3), 281-295.
- Morales, E. & Beer, J.** (1998). Distribución de raíces finas de *Coffea arabica* y *Eucalyptus deglupta* en cafetales del valle central de Costa Rica. *Agroforestería de las Américas (CATIE)*, 5, 44-46.
- Noda, A., Lok, S., García, M. & Fraga, S.** (2013). Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, (47) 1, 75-82.
- Oelbermann, M., Voroney, P. & Schlonvoigt, A.** (2004). Cuantificación del carbono radicular de Eritrina poeppigiana de cuatro y diez años establecidos en callejones en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas (CATIE), Turrialba, Costa Rica*, (41-42), 92-96.
- Orrego, S., del Valle, J., Moreno, F. & Arbeláez, T.** (2008). Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: Contribuciones para la mitigación de cambio climático. *Revista Ecología y Manejo Forestal*. 215-241 pp.
- Parra, C.** (2003). Revisión taxonómica de la familia Myricaceae en Colombia. *Caldasia*, 25(1), 23-64 pp.
- Rahn, E., Läderach, P., Baca, M., Cressy, C., Schroth, G., Malin, D., van Rikxoort, H. & Shriver, J.** (2014).

Climate change adaptation, mitigation and livelihood benefits in coffee production: where are the synergies? *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(8), 1119-1137.

- Ramos, R.** (2003). Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas- *Costa Rica* (Tesis M.Sc). Turrialba, Costa Rica: CATIE. 81p.
- Reyes, R., Bastidas, S. & Peña, E.** (1997). Distribución del sistema radical de la palma de aceite *Elaeis guineensis*. *Revista Palmas*. 18(3), 49-57.
- Rojas, J., Muhammand, I. & Andrade, E.** (2009). Secuestro de carbono y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu*, 10(2), 214-223.
- Schaller, M.** (2001). Quantification and management of root interactions between fast-growing timber tree species and Coffee in plantations in Central America. (PhD Thesis) Bayreuth, Germany: Universitat Bayreuth. 112p.
- Schlönvoigt, A., Chesney, P., Schller, M. & Kanten, R.** (2000). Estudios ecológicos de raíces en Sistemas Agroforestales. *Experiencias metodológicas en el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza)*. Turrialba, Costa rica: CATIE. 40p.
- Schroth, G., Mota, M., Hills, T., Soto-Pinto, L., Wijayanto, I., Arief, C. & Zepeda, Y.** (2011). Linking Carbon, Biodiversity and Livelihoods Near Forest Margins: The Role of Agroforestry. En: Kumar, B.M.; Nair, P.K.R. (Eds). *Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems*. Springer Netherlands. 179-200p.
- Somarrriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Dávila, H., Espin, T., Mavisoy, H., Ávila, G., Alvarado, A., Poveda, V., Astorga, C., Say, E. & Deheuvels, O.** (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 173, 46-57.
- Soto-Pinto, L., Anzueto, M., Mendoza, J., Ferrer, G. & Jong, B.** (2010). Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 78(1), 39-51.
- Zhou, Z., Sun, O., Huang, J., Li, L., Liu, P. & Han, X.** (2007). Soil carbon and nitrogen stores and storage potential as affected by land-use in an agro-pastoral ecotone of northern China. *Biogeochemistry*, 82, 127-138.



