



Revista Luna Azul
ISSN: 1909-2474
revista.lunazul@ucaldas.edu.co
Universidad de Caldas
Colombia

Evaluación de la captura de carbono en sistemas productivos de café (*Coffea arabica* L.), Consacá, Nariño, Colombia

Jurado Riascos, María Alejandra; Ordóñez Jurado, Héctor Ramiro; Lagos Burbano, Tulio César
Evaluación de la captura de carbono en sistemas productivos de café (*Coffea arabica* L.), Consacá, Nariño, Colombia

Revista Luna Azul, núm. 51, 2020

Universidad de Caldas, Colombia

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321770011009>

DOI: <https://doi.org/10.17151/luaz.2020.51.9>




Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Investigación original


Evaluación de la captura de carbono en sistemas productivos de café (*Coffea arabica* L.), Consacá, Nariño, Colombia

Carbon storage evaluation in coffee production systems (*Coffea arabica* L.), Consacá, Nariño, Colombia

María Alejandra Jurado Riascos¹ marialeja.j@gmail.com
Universidad de Nariño, Colombia

 <https://orcid.org/0000-0003-3601-7034>

Héctor Ramiro Ordóñez Jurado² hectoramiro@hotmail.com
Universidad de Nariño, Colombia

 <https://orcid.org/0000-0003-1646-8292>

Tulio César Lagos Burbano³ tlagosb@udenar.edu.co
Universidad de Nariño, Colombia

 <https://orcid.org/0000-0001-9222-4674>

Revista Luna Azul, núm. 51, 2020

Universidad de Caldas, Colombia

Recepción: 03 Septiembre 2019
Aprobación: 02 Febrero 2020

DOI: <https://doi.org/10.17151/luaz.2020.51.9>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321770011009>

Resumen: En la actualidad, los sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) han ido cambiando constantemente, dando lugar a plantaciones que contribuyen a mitigar el cambio climático mediante la captura de carbono. La investigación permitió estimar el carbono almacenado en la biomasa aérea y bajo el suelo en cuatro sistemas productivos de café de cuatro años de edad, en el ecotopo 221A, municipio de Consacá, Nariño; bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA). Los bloques corresponden a tres rangos altitudinales: I (>1800), II (1800-1600) y III (<1600 msnm); y los tratamientos a: café a libre exposición (T1), café-limón (T2), café-guamo (T3) y café-carbonero (T4). Para determinar el carbono almacenado se emplearon ecuaciones alométricas de cada especie; los resultados evidenciaron alto almacenamiento de carbono en el rango >1800 msnm (109,81 t.ha⁻¹) y bajo en el rango <1600 msnm (42,39 t.ha⁻¹); por otra parte, los resultados no mostraron diferencias estadísticas significativas en los sistemas, sin embargo, se cuantificó el mayor almacenamiento de carbono en T4 (74,82 t.ha⁻¹) y el valor más bajo en T3 (56,56 t.ha⁻¹). Lo anterior, indica que la captura de carbono es mayor en sistemas de café asociados con especies leñosas en alturas superiores a 1800 msnm.

Palabras clave: agroecosistemas, cambio climático, carbono, ecuación alométrica, suelo.

Abstract: Currently, the coffee production systems (*Coffea arabica* L.) are constantly changing giving rise to plantations that contribute to mitigating climate change through carbon storage. The research allowed estimating the stored carbon above-ground and underground biomass in four 4-year-old coffee productive systems in the ecotopo 221A, municipality of Consacá Nariño, under a Randomized Complete Block Design (RCBD). The blocks correspond to three altitudinal ranges: >1800; 1800-1600 and <1600 masl, and the production treatments correspond to: full sunlight exposure coffee (T1), lemon-coffee (T2), guamo-coffee (T3) and carbonero-coffee (T4). The allometric equations of each species were applied to determine the carbon stored. These results showed high carbon storage in the range >1800 masl (109.81 t.ha⁻¹) and the low carbon storage in the range <1500 masl (42.39 t.ha⁻¹). On the other hand, the results did not show significant statistical differences in the production systems. However, the highest

carbon storage was quantified in T4 (74.82 t.ha⁻¹) and the lowest value was quantified in T3 (56.56 t.ha⁻¹). This indicates that carbon storage is higher in coffee systems associated with woody species at altitudes above 1800 masl.

Keywords: agroecosystems, climate change, carbon, allometric equation, soil.

Introducción

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC] (2013) afirma que el calentamiento global tiene como consecuencia principal el calentamiento de la atmósfera y los océanos, debido mayormente al incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) tales como vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) y ozono (O₃) (IDEAM et al., 2015). Según el IDEAM et al. (2015), si los niveles de estas emisiones aumentan, como es lo más probable para el año 2100, la temperatura media anual en Colombia podría incrementarse gradualmente en 2,14°C, siendo el dióxido de carbono (CO₂) el principal gas de efecto invernadero.

Los bosques y sistemas agroforestales adquieren protagonismo dentro de los acuerdos internacionales sobre el cambio climático global y las emisiones de gases de efecto invernadero por su servicio en el almacenamiento de carbono y mitigación de GEI (Segura, 1999; Nair y Nair, 2014). Para Masuhara et al. (2015), los sistemas agroforestales son importantes para la captación de C en la biomasa y en el suelo, debido al contenido potencial de este elemento en las múltiples especies de plantas que conviven simultáneamente en ellos.

Los sistemas de producción de café asociados a árboles de sombrío, además de abrigar amplia diversidad de especies animales y vegetales, permiten incrementar la cantidad de carbono que capturan y retienen en el sistema tanto en la vegetación como en el suelo, lo que convierte a los sistemas agroforestales en una alternativa de mitigación al cambio climático global (Ramachandran et al., 2009; Aguirre-Cadena et al., 2016).

Farfán (2012) afirma que la diversidad de especies arbóreas puede ser establecida en diferentes diseños agroforestales, por ejemplo, bosques protectores, barreras rompevientos, y árboles dentro de los cultivos, entre otros; es así que la cuantificación del carbono almacenado, especialmente en cultivos de alto valor comercial como el café, posibilita el desarrollo de los modelos productivos eficientes en el uso del carbono. Isaza (2014) menciona que, mediante estas evaluaciones, en el futuro los productores pueden recibir beneficios económicos por concepto de servicios ambientales.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2010) indica que el uso de árboles y arbustos en los sistemas agrícolas ayuda a hacer frente a un triple reto: garantizar la seguridad alimentaria, mitigar y reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático y aumentar la adaptabilidad de los sistemas agrícolas.

Dada la importancia y las consideraciones expuestas, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la captura de carbono en la biomasa aérea

y bajo el suelo en cuatro sistemas productivos de café en tres rangos altitudinales, ubicados en el ecotopo 221A, municipio de Consacá, departamento de Nariño.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el municipio de Consacá, Nariño (Figura 1), entre las coordenadas $1^{\circ} 12' 29''$ N y $77^{\circ} 27' 57''$ W del meridiano de Greenwich, el cual tiene una extensión aproximada de 96 km^2 , una altitud entre 1200 y 4260 msnm, temperatura promedio 20°C , precipitación promedia anual de 1161 mm y humedad relativa promedia del 80% (Plan de Desarrollo Territorial de Consacá, 2019). Según CORPONARIÑO (2014), los suelos presentan características homogéneas, de textura limosa y color negro. De acuerdo con el sistema de clasificación ecológica de Holdridge (1996), el área de estudio pertenece a la zona de vida de bosque húmedo premontano (bh-PM).



Figura 1

Ubicación geográfica municipio de Consacá departamento de Nariño

Fase de campo. Dentro del municipio de Consacá se seleccionaron tres zonas altitudinales ubicadas en la localidad de San Antonio a una altitud de 1989 msnm, Bombona a una altitud de 1668 msnm y Cariaco Bajo a una altura de 1577 msnm.

Cada lote experimental cuenta con un área de 10.000 m^2 , donde se establecieron cuatro tratamientos (Tabla 1), con un área de 2.500 m^2 . Se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA). Los bloques fueron definidos por la altitud sobre el nivel del mar y los tratamientos correspondieron a los sistemas productivos de café.

En los lotes experimentales de cuatro años de edad, se establecieron plantas de café variedad castillo y especies de sombrío como: limón Tahití (*Citrus x latifolia*; Tanaka ex Q. Jiménez), guamo (*Inga densiflora* Benth) y carbonero (*Albizia carbonaria* Britton).

Tabla 1
Sistemas productivos de café municipio de Consacá Nariño

Tratamiento	Componentes	Distancia de siembra (m)	Sistema de siembra (m)	Plantas (ha)
T1	Café sin sombrío	Café: 1,3 x 1,3	Triángulo	6.828
T2	Café con sombrío de limón Tahití	Café: 1,3 x 1,3	Triángulo	6.672
		Limón: 8 x 8	Cuadro	156
T3	Café con sombrío de guamo	Café: 1,3 x 1,3	Triángulo	6.705
		Guamo: 9 x 9	Cuadro	123
T4	Café con sombrío de carbonero	Café: 1,3 x 1,3	Triángulo	6.759
		Carbonero: 12 x 12	Cuadrado	69

Para la evaluación de la captura de carbono en los sistemas productivos de café se empleó el método no destructivo. Para estimar el carbono almacenado se aplicaron las ecuaciones alométricas reportadas por Penman et al. (2003), Segura y Andrade (2008), Quilio et al. (2010) y Álvarez et al. (2011). Con estas ecuaciones se determinó la biomasa y almacenamiento de carbono de las especies leñosas, tomando como referencia la metodología recomendada por Rüginitz et al. (2009) del Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF).

Para determinar las unidades de muestreo se adaptó el método de muestreo utilizado por Castellanos et al. (2010) del Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad - Universidad del Valle de Guatemala (CEAB-UVG), el cual considera la estratificación y la distribución de puntos de muestreo de manera aleatoria. El primer paso consistió en dividir el área de cada uno de los tratamientos del lote experimental en unidades de muestreo. En este caso, se tomaron tres puntos al azar por tratamiento y en cada punto seleccionado se trazaron tres subparcelas anidadas en círculo concéntrico (Tabla 2).

Tabla 2
Tamaños y componentes de carbono evaluados en cada subparcela

Subparcela	Área m ²	Componente evaluado
1	1	Hojas y suelo
2	28	Árboles de café
3	250	Árboles de sombrío

Se instalaron trampas de recolección de hojarasca (hojas, frutos, semillas y ramas), se colectó manualmente dentro de 1 m² en la parcela anidada y se registró el peso húmedo de la biomasa. Una vez obtenido el peso húmedo de la hojarasca, se determinó el valor del peso seco en el laboratorio. Con los valores obtenidos se calculó el total de materia seca por hectárea (MS/ha) y posteriormente la cantidad de carbono por hectárea (t.C/ha).

Para el componente café se seleccionaron tres parcelas de 28 m² por tratamiento, y en estas se registró el valor del diámetro (cm) de cada planta de café a 15 cm del suelo.

Para el registro de árboles de sombrío se seleccionaron tres parcelas de 250 m² por tratamiento, y se registró el valor del diámetro (cm) de cada árbol a 130 cm (D).

Para determinar el carbono almacenado en árboles de café y sombrío, el valor de la biomasa se obtuvo a través de las ecuaciones alométricas formuladas para cada especie (Tabla 3). La ecuación establecida para limón está dada de manera general para frutales y la empleada en carbonero es utilizada en especies arbóreas de bosque húmedo premontano (Álvarez et al., 2011).

Tabla 3
ecuaciones alométricas utilizadas por especie para la estimación de biomasa

Ecuación alométrica	r ²	Especie	Observación	Fuente
BA= (0,1955 * D₁₅^{1,648})*1,266	0,93	Café (<i>Coffea arabica</i> L.)	BA= Biomasa aérea (kg/árbol) D ₁₅ = diámetro del tronco en (cm) medido a 15 cm del suelo	(Quilio et al., 2010)
BA= 0,01513 * D^{3,0054}	0,94	Guamo (<i>Inga</i> sp.)	D= diámetro a 130 cm (D)	(Quilio et al., 2010)
BA= EXP(-1,8656+(2,3733*LN(D)))	0,89	Carbonero (<i>Albizia carbonaria</i> Britton)	D= diámetro a 130 cm (D)	(Álvarez et al., 2011)
BA= 10^{-1.11+(2.64*LOG(D))}	0,95	Limón (<i>Citrus limon</i> (L) Burm)	D= diámetro a 130 cm (D)	(Segura y Andrade, 2008)
R_{raíces}= e^{(-1.06+0.88*LN(BA))}	0,84	Biomasa de raíces a partir de la biomasa arriba del suelo	BA= Biomasa aérea (kg/árbol)	(Penman et al., 2003)

La estimación del carbono almacenado en el café y árboles de sombrío se realizó multiplicando el valor de la biomasa obtenida a través de las ecuaciones alométricas de cada especie por la fracción de carbono por defecto 0,5 dada por el IPCC (2003).

Para la determinación de carbono almacenado en la raíz, primero se calculó la biomasa aérea del árbol a través de las ecuaciones alométricas de cada especie, el valor obtenido se reemplazó en la ecuación alométrica para la biomasa de raíces dada de manera general por Penman et al. (2003) y posteriormente este se multiplicó por la fracción de carbono de 0,5.

Para el carbono almacenado en el suelo, se tomaron muestras de suelo. Por cada tratamiento se seleccionaron cinco sitios distribuidos al azar, y se tomaron 200 g por muestra a 30 cm de profundidad; estas fueron llevadas al laboratorio especializado de suelos de la Universidad de Nariño, donde se determinó el porcentaje de carbono orgánico.

La estimación del carbono almacenado se realizó mediante la fórmula:

$$t.C / ha = Prof. \times D \times \% CO$$

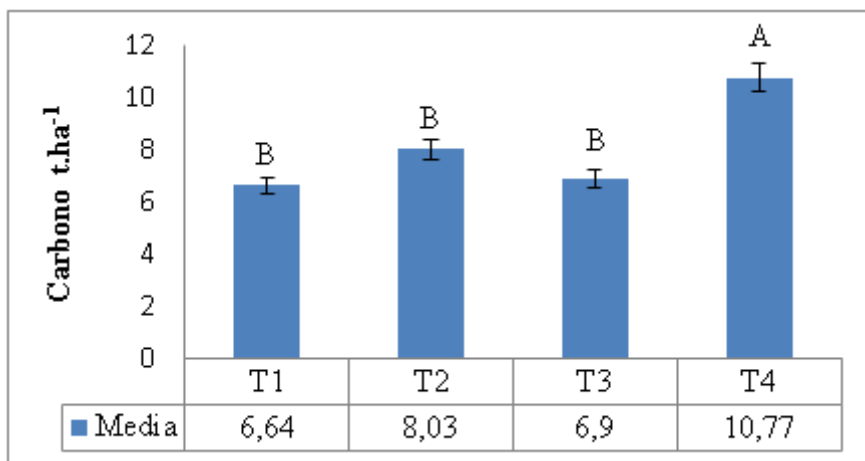
Donde: t.C/ha= Densidad de Carbono en el suelo Prof.= Profundidad del muestreo (cm); D= Densidad aparente (g/cm³); %CO= Contenido porcentual de Carbono Orgánico en el suelo.

Para el análisis estadístico, los datos fueron agrupados y ordenados en el programa Excel, y posteriormente analizados en el programa estadístico InfoStat versión 2018 (Di Rienzo et al., 2018). Los registros fueron sometidos a análisis de varianza (ANDEVA) con una probabilidad del 95%. Para las variables que presentaron diferencias estadísticas significativas se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0,05$).

Resultados y discusión

Carbono almacenado en la biomasa aérea (café y árboles de sombrío). Según el análisis de varianza (ANDEVA), se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos ($p=0,001$); al aplicar la prueba de comparación de medias de Tukey, se determinó que el T4 (café-carbonero) presentó diferencias estadísticas significativas con respecto a los demás tratamientos, con un valor promedio de 10,77 t.ha⁻¹; el valor más bajo de almacenamiento de carbono se obtuvo en el T1 con un promedio de 6,64 t.ha⁻¹ como se muestra en la Figura 2. Estos valores son semejantes a los reportados por Odar (2018) y Tirabanti (2016), en sistemas agroforestales en la provincia de Luya, Amazonas, y en las provincias de Jaén y San Ignacio, Perú, donde reportan un valor promedio entre 6,38 y 6,81 t.ha⁻¹, respectivamente.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p>0,05$).

**Figura 2**

Prueba de comparación de Tukey para el almacenamiento de carbono en el componente aéreo de café y árboles de sombrío en cuatro sistemas productivos de café T1 Café sin sombrío T2 Café con sombrío de limón Tahití T3 Café con sombrío de guamo T4 Café con sombrío de carbonero

Valores semejantes a T4 fueron reportados por López (2014) en sistemas con alta densidad de café y árboles de sombrío, donde la vegetación arbórea aporta 8,86 t.ha⁻¹ y las plantaciones de café 2,59 t.ha⁻¹, sumando un total de 11,45 t.ha⁻¹; demostrando que las reservas de carbono son mayores en los sistemas productivos de café con sombra que en plantaciones de café a libre explosión o con poca sombra. Es importante resaltar que la captura de carbono puede aumentar durante la fase de crecimiento del árbol y disminuir de nuevo después de la cosecha o quema del mismo (Kim et al., 2016).

Los resultados sugieren que los sistemas agroforestales de café incluyendo leñosas perennes de tipo leguminosas, tienen mayores reservas de carbono que el monocultivo de café (Hergoualc'h et al., 2012; Balaba y Byakagaba, 2015). Asimismo, los estudios realizados por Gómez y Oviedo (2000), Ávila et al. (2001) e Ibrahim et al. (2001) reportan que los árboles de grandes dimensiones en altura y diámetro pueden retener carbono en su madera por un tiempo prolongado; lo que sugiere que los árboles de carbonero, al presentar las mayores dimensiones en altura y diámetro, tienen un mayor almacenamiento de carbono respecto a las demás especies leñosas.

Carbono almacenado en la biomasa bajo el suelo (raíz y suelo). Según el ANDEVA, se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos ($p=0,001$), y al aplicar la prueba de comparación de medias de Tukey se determinó que la mayor cantidad de carbono almacenado en la raíz se obtuvo en el T4 con un valor de 2,11 t.ha⁻¹; el sistema que presentó un menor almacenamiento de carbono fue el T1 con un valor de 1,37 t.ha⁻¹ como se muestra en la Figura 3. Esta variabilidad se debe a la heterogeneidad espacial del desarrollo del sistema radicular, el cual depende de las interacciones de los factores genéticos y ambientales de las especies. De acuerdo con Stokes et al. (2008), Katayama et al. (2009) y De Carvalho et al. (2016),

la presencia del componente arbóreo promueve diferentes condiciones ambientales debido a la distancia de siembra y características morfológicas que influyen en el patrón de variabilidad espacial.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p>0,05$).

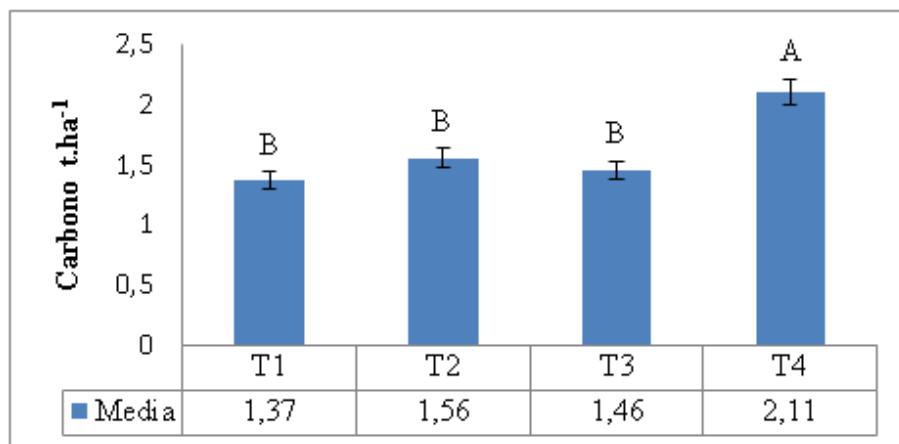


Figura 3

Prueba de comparación de Tukey para el almacenamiento de carbono en la raíz en cuatro sistemas productivos de café T1 Café sin sombrío T2 Café con sombrío de limón Tahití T3 Café con sombrío de guamo T4 Café con sombrío de carbonero

La mayor reserva de carbono en la raíz se evidenció en el T4 debido al buen desarrollo radical en las diferentes profundidades, el cual mejora la estructura y porosidad del suelo como lo afirma Ling et al. (2017). Por su parte, Ingaramo et al. (2003) y Henríquez et al. (2011) establecieron la relación directa que existe entre la penetración de raíces y el suelo, donde una disminución del espacio poroso genera disminución en el desarrollo radical.

Al comparar el carbono almacenado en el suelo y al realizar el ANDEVA, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p=0,9577$). Sin embargo, entre los tres rangos altitudinales se logró evidenciar diferencias altamente significativas ($p=0,001$); donde la mayor cantidad de carbono almacenado se encuentra presente en altitudes >1800 msnm, con un valor promedio de $99,62 \text{ t.ha}^{-1}$, y el menor valor encontrado fue en el rango <1600 msnm con un valor promedio de $33,52 \text{ t.ha}^{-1}$ como se observa en la Figura 4.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p>0,05$).

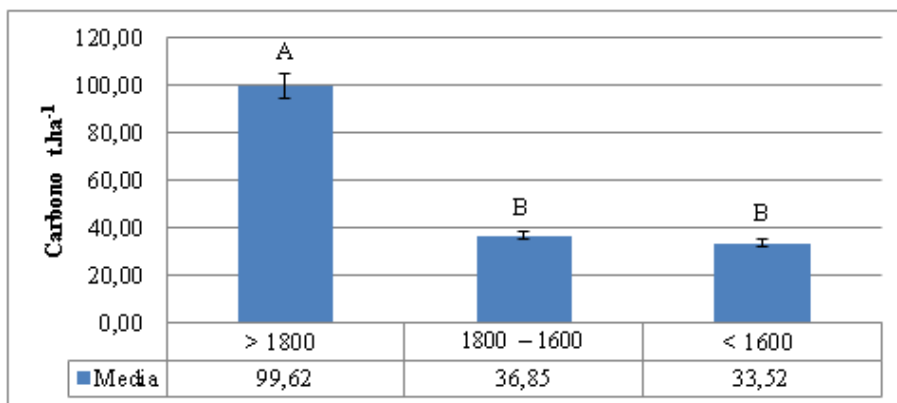


Figura 4

Prueba de comparación de Tukey para el almacenamiento de carbono en el suelo en tres rangos altitudinales San Antonio altitud de 1989 msnm Bombona altitud de 1668 msnm y Cariaco Bajo altitud de 1577 msnm

Ávila (2002) y Valenzuela y Visconti (2018) afirman que el almacenamiento de carbono en el suelo depende de las condiciones de cada sitio como el clima, tipología de cafeto y manejo, entre otras variables; a nivel general, los suelos de clima frío son capaces de almacenar mayor contenido de carbono. Igualmente, el carbono almacenado en el suelo está directamente relacionado con el contenido de materia orgánica y la densidad del suelo. Lo anterior se ve reflejado en los resultados observados en el rango >1800 msnm, donde los suelos presentan una densidad de $0,74 \text{ g.cc}^{-1}$ en comparación a los suelos del rango <1600 msnm, el cual se caracteriza por presentar una densidad de $0,83 \text{ g.cc}^{-1}$, encontrándose los valores más bajos de almacenamiento de carbono. Este resultado puede atribuirse a las condiciones de erosión y pérdida de suelo debido a las prácticas de manejo aplicadas a los sistemas productivos a esa altitud; como lo mencionan Ibrahim et al. (2001) y Esquivel (2014), los procesos de erosión disminuyen la capacidad del suelo para retener carbono.

Carbono almacenado en la biomasa aérea y bajo el suelo en tres rangos altitudinales. Al realizar el ANDEVA, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p=0,9378$). No obstante, se observaron diferencias estadísticas altamente significativas ($p=0,001$) en el carbono almacenado entre los tres rangos altitudinales, donde la mayor cantidad de carbono almacenado se obtuvo en altitudes >1800 msnm, con un promedio de $109,81 \text{ t.ha}^{-1}$; a diferencia del rango altitudinal <1600 msnm donde se presentó el menor almacenamiento de carbono con $42,39 \text{ t.ha}^{-1}$ como se evidencia en la Figura 5.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p>0,05$).

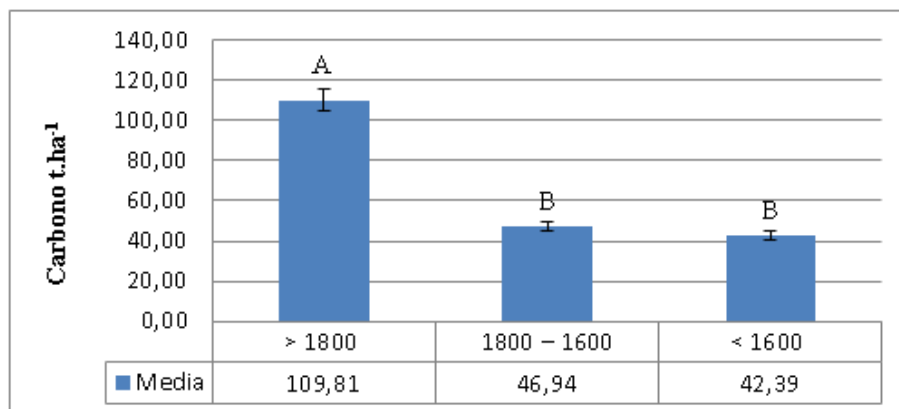


Figura 5

Prueba de comparación de Tukey para el almacenamiento de carbono en biomasa aérea y bajo el suelo en tres rangos altitudinales

Al evaluar la captura de carbono total se encontró que la mayor cantidad de carbono almacenado está presente a una altitud >1800 msnm, posiblemente asociado al sistema agroforestal de café con árboles de sombrío de la especie carbonero. Resultados que apoyan lo mencionado por Peng et al. (2009), Hergoualc'h et al. (2012) y De Carvalho et al. (2016), quienes afirman que el almacenamiento de carbono depende de las condiciones topográficas y climáticas; como también de la distribución de carbono en el ecosistema, donde intervienen la densidad de la plantación, el tipo de árboles que conforman el sistema, la capacidad de descomposición y la presencia de la actividad microbiana; factores que promueven una estabilidad del flujo del carbono.

Conclusiones

Los sistemas agroforestales de café en asociación con leñosas perennes de cuatro años de edad, tienen mayores reservas de carbono que el cultivo de café a libre exposición; donde la biomasa y el contenido de carbono en el suelo están influenciados por la densidad y las especies de árboles de sombra. De estas, el sistema agroforestal de café y la especie carbonero presentó diferencias estadísticas significativas en el almacenamiento de carbono tanto en la biomasa por encima del suelo como en la raíz. Las asociaciones agroforestales son una excelente alternativa de producción para café debido a que contribuyen aparte del secuestro de C del suelo y en la biomasa a la reducción de emisiones de dióxido de carbono, principal causante del efecto invernadero, y son una estrategia eficiente en la generación de servicios ecosistémicos en el marco de mecanismos de desarrollo limpio.

Los sistemas productivos de café evaluados bajo diferentes rangos altitudinales mostraron diferencias altamente significativas, donde las reservas de carbono fueron superiores en altitudes >1800 msnm, debido a las condiciones climáticas, la densidad del suelo presente a esa altitud como también al mayor contenido de materia orgánica. Los valores más

bajos en almacenamiento de carbono se encontraron en el rango <1600 msnm, este resultado se atribuye a la menor acumulación de materia orgánica en los suelos, y a las prácticas de manejo aplicadas a los sistemas productivos en esa altitud, lo cual favorece los procesos de erosión, conllevando a la disminución de la capacidad del suelo para retener carbono.

Agradecimientos

Al Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos (GPFA) de la Universidad de Nariño por su colaboración en la realización del proyecto.

Referencias

- Aguirre-Cadena, J. F., Cadena-Iñiguez, J., Ramírez-Valverde, B., Trejo-Téllez, B. I., Juárez Sánchez, J. P. y Morales-Flores, F. J. (2016). Diversificación de cultivos en fincas cafetaleras como estrategia de desarrollo. Caso de Amatlán. *Acta Universitaria*, 26(1), 30-38.
- Álvarez, E., Saldarriaga, J., Duque, A., Cabrera, K., Yepes, A., Navarrete, D. y Phillips, J. (2011). *Selección y validación de modelos para la estimación de la biomasa aérea en los bosques naturales de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- Ávila, G., Jiménez, F., Beer, J., Gómez, M. e Ibrahim, M. (2001). Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales. *Rev. Agroforestería en las Américas*, 8(30), 32-35.
- Ávila, V. G. (2002). *Fijación y almacenamiento de Carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol* (tesis de magíster). Turrialba, CR. CATIE.
- Balaba, S. y Byakagaba, P. (2015). Soil organic carbon stocks under coffee agroforestry systems and coffee monoculture in Uganda. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 216, 188-193.
- Castellanos, E. J., Quilo, A. E. y Mato, R. (2010). *Metodología para la estimación del contenido de carbono en bosques y sistemas agroforestales en Guatemala*. Universidad del Valle de Guatemala, CARE. Ciudad de Guatemala, Guatemala (Guatemala).
- Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO). (2014). *Diagnóstico Biofísico y Socioeconómico Municipio de Consacá*. <https://bit.ly/3VyST2u>.
- De Carvalho Gomes, L., Cardoso, I. M., de Sá Mendonça, E., Fernández, R. B. A., López, V. S. y Oliveira, T. S. (2016). Trees modify the dynamics of soil CO₂ efflux in coffee agroforestry systems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 224, 30-39.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2018). *InfoStat* v. 2019. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

- Esquivel, E. A. (2014). *Evaluación de la Sustentabilidad de Plantaciones Dendroenergéticas en la Región Biobío Chile* (disertación doctoral). Universidad de Concepción, Chile.
- Farfán, F. (2012). *Árboles con potencial para ser incorporados en sistemas agroforestales con café*. Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé.
- Gómez, V. y Oviedo, S. (2000). *Estudio sobre fijación de carbono en plantaciones de Pinus ocarpa, de 11 años de edad en Quinta Buenos Aires, Estelí y Aurora*. Managua, Nicaragua. UNA.
- Henríquez, C., Ortiz, O., Largaespada, K., Portugués, P., Vargas, M., Villalobos, P. y Gómez, D. (2011). Determinación de la resistencia a la penetración, al corte tangencial, densidad aparente y temperatura en un suelo cafetalero, Juan Viñas, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 35(1), 175-184.
- Hergoualc'h, K., Blanchart, E., Skiba, U., Hénault, C. y Harmand, J. M. (2012). Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 148, 102-110.
- Holdridge, L. (1996). *Ecología basada en zonas de vida*. Editorial IICA.
- Ibrahim, M., Mora, J. y Rosales, M. (2001). Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales. En *Conferencia electrónica en potencialidades de los sistemas Silvopastoriles para la generación de servicios ambientales*. FAO.
- IDEAM, PNUD, MADS y Cancillería. (2015). *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100. Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones—Enfoque Nacional—Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. IDEAM.
- Ingaramo, O., Paz, A. y Dugo, M. (2003). Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el NO de la Península Ibérica. Conferencia: *Comunicaciones científicas y tecnológicas*. Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Argentina.
- Isaza, C. (2014). *Análisis de oportunidades para la gestión eficiente del carbono en un sistema de producción de café en el departamento de Caldas* (tesis de maestría). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.
- Katayama, A., Kume, T., Komatsu, H., Ohashi, M., Nakagawa, M., Yamashita, M., Otsuki, K., Suzuki, M. y Kumagai, O. (2009). Effect of forest structure on the spatial variation in soil respiration in a Bornean tropical rainforest. *Rev Agricultural and Forest Meteorology*, 149(10), 1666-1673.
- Kim, D., Thomas, A., Pelster, D., Rosenstock, T. y Sanz, A. (2016). Greenhouse gas emissions from natural ecosystems and agricultural lands in sub-Saharan Africa: synthesis of available data and suggestions for further research. *Biogeosciences*, 13, 4789-4809.
- Ling, Q., Gao, X., Zhao, X., Huang, J., Li, H., Li, L. y Wu, P. (2017). Soil water effects of agroforestry in rainfed jujube (*Ziziphus jujube* Mill.) orchards on loess hillslopes in Northwest China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247, 343-351.
- López, K. (2014). *Determinación de la disponibilidad de carbono según la tipificación de los sistemas agroforestales de café en las sub cuencas del río Yuracyacu y Yanayac, Perú* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba, Perú.

- Masuhara, A. et al. (2015). Carbono almacenado en diferentes sistemas agroforestales de café en Huatusco, Veracruz, México. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 4(1), 66-93.
- Nair, P. R. y Nair, V. D. (2014). 'Solid-fluid-gas': the state of knowledge on carbon-sequestration potential of agroforestry systems in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6, 22-27.
- Odar, B. A. (2018). *Evaluación de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (Coffea spp.) En el anexo de Vilaya, distrito de Colcamar, provincia de Luya, Amazonas, 2017-2018* (tesis de pregrado). <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1384?show=full>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2010). *Agricultura climáticamente inteligente*. Roma, Italia.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC]. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC]. (2013). *Cambio climático 2013. Bases físicas*. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/%20ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf.
- Peng, S., Piao, S., Wang, T., Sun, J. y Shen, Z. (2009). Temperature sensitivity of soil respiration in different ecosystems in china. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(5), 1008-1014.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendía, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. y Wagner, F. (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Institute for Global Environmental Strategies.
- Municipio de Consacá. (2019). *Plan de Desarrollo Territorial periodo 2016-2019*. <https://cpd.blob.core.windows.net/test1/52207planDesarrollo.pdf>.
- Quilio, A., Castellanos, E. y Pons, D. (2010). *Estudio de línea base de carbono en cafetales*. Universidad del Valle de Guatemala.
- Ramachandran Nair, P. K., Mohan Kumar, B. y Nair, V. D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of plant nutrition and soil science*, 172(1), 10-23.
- Rügnitz, M., Chacón, M. y Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales* (1° ed.). Centro Mundial Agroforestal (ICRAF). Consorcio Iniciativa Amazónica (IA).
- Segura, M. (1999). *Valoración del servicio almacenamiento de carbono en bosques privados en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Ventral de Costa Rica* (tesis Mag. Sc.). Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Segura, M. y Andrade, H. (2008). Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes. *Rev. Agroforestería en las Américas (CATIE)*, 46, 89-96.
- Stokes, A., Norris, E., Van Beek, H., Bogaard, T., Cammeraat, E., Mickovski, B. y Fourcaud, T. (2008). How Vegetation Reinforces Soil on Slopes. En J. E. Norris et al. (Eds.), *Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions* (pp. 65-118). Springer.

- Tirabanti, M. L. C. (2017). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca. *Revista Científica Pakamuros*, 4(1), 12.
- Valenzuela, I. G. y Visconti, E. F. (2018). Influencia del clima, uso del suelo y profundidad sobre el contenido de carbono orgánico en dos pisos altitudinales andinos del departamento Norte de Santander, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 233-243.

Notas

Potencial conflicto de intereses: Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

Para citar este artículo: Jurado, M. A., Ordóñez, H. R y Lagos, T. C. (2020). Evaluación de la captura de carbono en sistemas productivos de café (*Coffea arabica* L.), Consacá, Nariño, Colombia. *Luna Azul*, (51), 166-181. Doi: 10.17151/luaz.2020.51.9.

Notas de autor

- 1 I. AF. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=km1-3UMAAAAJ>.
- 2 I.F; Ph.D. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. https://scholar.google.com/citations?view_op=list_works&hl=es&user=SW01IisAAAAJ.
- 3 I.A; Ph.D. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia. <https://scholar.google.com/citations?user=wNKtk2UAAAAJ&hl=es>.