

Carbono almacenado en estrato arbóreo de sistemas ganaderos y naturales del municipio de Albania, Caquetá, Colombia

Erika Paola Rojas-Vargas¹
Edgar Daniel Silva-Agudelo²
Ana Yiceth Guillén-Motta³
Pablo Andrés Motta-Delgado⁴
Wilmer Herrera-Valencia⁵

Fecha de recepción: 12 de marzo de 2019

Fecha de aceptación: 23 de mayo de 2019

Resumen

El objetivo del presente estudio fue estimar la capacidad de almacenamiento de carbono en el componente arbóreo de cinco usos de suelo tanto en sistemas ganaderos como naturales: a) pasturas tradicionales con árboles dispersos en baja densidad (PT), b) pasturas mejoradas con árboles dispersos en baja densidad (PM), c) sistemas silvopastoriles en alta densidad (SSP), d) bosque (Bo) y e) regeneración natural (RN). Se realizaron tres repeticiones por cada uso del suelo y se registró cada árbol dentro del inventario florístico; para PT, PM y SSP se hicieron parcelas de 1000 m²; para Bo, parcelas de 2000 m², y para RN, parcelas de 1000 m² para identificación de fustales, latizales y brinzales. Los datos fueron examinados mediante análisis de varianza y comparados mediante la prueba DGC con un nivel de significación del 95 %. El bosque presentó diferencias significativas con valores de 249,04 Mg ha⁻¹ en biomasa y 124,52 Mg ha⁻¹ en carbono, respecto a los demás usos del suelo; la variable *diámetro a la altura del pecho* (DAP) mostró diferencias significativas ($p < 0,05$), donde la RN obtuvo los DAP más bajos y Bo los más altos con 4,93 y 18,52 cm, respectivamente. El número de individuos (árboles ha⁻¹) no fue notablemente diferente entre Bo (525) y RN (930), pero estos dos mostraron diferencias considerables respecto a los tres agroecosistemas de pasturas, con valores de 17, 47 y 207 individuos ha⁻¹ para PM, PT y SSP respectivamente. En conclusión, se observó que la cobertura con mayor capacidad de producción de biomasa y almacenamiento de carbono fue el bosque y la de menor fueron las pasturas mejoradas con especies de *Brachiaria* sp.; asimismo, la mayor densidad de árboles se presentó en las coberturas de regeneración natural, que tienen un alto potencial para el incremento de la capacidad de captura de carbono.

Palabras clave: agrosilvicultura; Amazonia; cambio climático; gases de efecto invernadero; trópicos húmedos.

¹ Corporación Misión Verde Amazonia (Florencia-Caquetá, Colombia). ORCID [0000-0003-4654-9368](https://orcid.org/0000-0003-4654-9368).

² Universidad de la Amazonia (Florencia-Caquetá, Colombia).

³ Universidad de la Amazonia (Florencia-Caquetá, Colombia). ORCID: [0000-0001-7660-6242](https://orcid.org/0000-0001-7660-6242).

⁴ M. Sc. Corporación Misión Verde Amazonia (Florencia-Caquetá, Colombia). pmotta@misionverdeamazonia.org. ORCID: [0000-0001-8820-5542](https://orcid.org/0000-0001-8820-5542).

⁵ M. Sc. Corporación Misión Verde Amazonia (Florencia-Caquetá, Colombia). gerencia@misionverdeamazonia.org. ORCID: [0000-0001-9263-8711](https://orcid.org/0000-0001-9263-8711).

Carbon Stored in the Arboreal Stratum of Livestock and Natural Systems of the Municipality of Albania, Caquetá, Colombia

Abstract

The aim of this study was to calculate the carbon storage capacity in the arboreal stratum of five land uses, both in livestock systems as natural: a) traditional pastures with scattered trees in low-density (PT), b) improved pastures with scattered trees in low-density (PM), c) silvopastoral systems in high-density (SSP), d) native forest (Bo) and e) natural regeneration (RN). Three replicates for land use were performed and recorded each tree within the floristic inventory; for PT, PM and SSP plots of 1000 m² were made, for Bo plots of 2000 m² and for natural regeneration plots of 1000 m² for identification of seedlings, saplings and poles. Data were examined using analysis of variance and compared by the DGC test to a significance level of 95 %. The forest showed significant differences with values of 249.035 Mg ha⁻¹ in biomass and carbon 124.517 Mg ha⁻¹ with respect to other land uses; the variable diameter to the breast height (DBH) revealed significant differences ($p < 0.05$), where natural regeneration obtained the lowest DBH while native forest the highest with 4.93 and 18.52 cm, respectively. The number of individuals (tree ha⁻¹) was not significantly different between native forest (525) and natural regeneration (930), but these two showed significant differences as regard to agroecosystems of pastures, with values of 17, 47 and 207 individuals ha⁻¹ for PM, PT and SSP respectively. In conclusion, it was noted that coverage with the highest capacity for biomass production and carbon storage was the forest and the lowest were improved pastures with *Brachiaria* sp species, in addition, the highest density of trees arose in the coverage of natural regeneration, which have a high potential for increasing carbon sequestration capacity.

Keywords: agroforestry; Amazonia; climate change; greenhouse gases; humid tropics.

Para citar este artículo:

Rojas-Vargas, E. P., Silva-Agudelo, E. D., Guillén-Motta, A. Y., Motta-Delgado, P. A., & Herrera-Valencia, W. (2019). Carbono almacenado en estrato arbóreo de sistemas ganaderos y naturales del municipio de Albania, Caquetá, Colombia. *Ciencia y Agricultura*, 16(3), 35-46. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9515>.

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento 4.0



I. INTRODUCCIÓN

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera son la mayor preocupación ambiental global; se estima que el CO₂ es el responsable del 71,5 % del efecto invernadero (Rodríguez, Jiménez, Aguirre & Treviño, 2006). La quema de combustibles fósiles, los sistemas pecuarios tradicionales, los sistemas agrícolas extensivos, la deforestación, entre otros, contribuyen al calentamiento climático, que actualmente es un tema de alerta mundial (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2007).

El cambio del uso de la tierra ha sido la principal actividad que ha contribuido a la aceleración del cambio climático, hecho que por décadas ha sido un foco de discusión entre la comunidad científica. La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal (Schulze, Wirth & Heimann, 2000). Una vez que los bosques fijan en sus estructuras vivas el dióxido de carbono atmosférico, lo acumulan en su biomasa y parte lo transfieren al mantillo y al suelo por descomposición, constituyendo las reservas de carbono (Rangel, 2012).

En América Latina, uno de los principales cambios del uso de la tierra ha sido la deforestación de bosques para establecer pasturas para la ganadería (Harvey, Guindon, Harber, Hamilton & Murray, 2008), actividad que contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), porque los cambios del uso del suelo implican liberación de metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO) (Bueno-Hurtado, López-Santos, Sánchez-Cohen, Velásquez-Valle & González-Barrios, 2015). Los bajos niveles de productividad y competitividad en la mayor parte de los sistemas ganaderos tropicales se generan como consecuencia del agotamiento de los recursos naturales que, a su vez, es exacerbado por el cambio climático (Acosta, 2010; Murgueitio et al., 2013).

Es importante precisar que el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014) resalta que la influencia humana en el sistema climático es clara, y las emisiones antropogénicas recientes de gases de efecto invernadero son las más altas de la historia. Los sistemas de uso de la tierra forestal y ganadero son considerados reservorios de carbono, pero difieren entre sí por su dinámica y orientación natural. Es preciso destacar que el componente más versátil aquí son los árboles, porque integran imprescindiblemente el componente leñoso y su biomasa aérea representa proporciones elevadas con respecto a otros componentes vegetales.

Los bosques tropicales, especialmente en la región Amazónica, tienen gran contenido de biomasa, la cual al ser transformada por la quema emite más del 85 % del carbono almacenado a la atmósfera, principalmente en forma de CO₂ (Orjuela, Ramírez & Andrade, 2010). El objetivo de este estudio fue estimar la capacidad de almacenamiento de carbono en el estrato arbóreo de cinco coberturas en sistemas naturales y ganaderos, como bosque, regeneración

natural, pasturas tradicionales con árboles dispersos en baja densidad, pasturas mejoradas con árboles dispersos en baja densidad y sistemas silvopastoriles en alta densidad.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Albania, que tiene una superficie de 417 km², está localizado en el departamento del Caquetá, en el sur de Colombia, en las coordenadas 1°19'44"Norte y 75°52'42" Oeste; hace parte de la subregión Andino-Amazónica y pertenece a las subcuencas de los ríos Fragua Chorroso y San Pedro, afluentes del río Orteguaza, el cual tributa al río Caquetá, uno de los principales tributarios del río Amazonas. Su cabecera municipal está ubicada a una altura de 407 m s.n.m., con una temperatura promedio de 28 °C, humedad relativa promedio de 85,9 % y brillo solar promedio de 1.445,9 horas al año, (Alcaldía de Albania, 2014).

B. Sistemas evaluados

El trabajo se realizó en sistemas naturales y agroecosistemas ganaderos con sistemas silvopastoriles. Teniendo en cuenta las condiciones de la zona, la estructura de los árboles y el criterio de los autores, se clasificaron los sistemas silvopastoriles de baja, media y alta densidad, según el siguiente rango: menor a 50, entre 50 y 110, y más de 110 árboles por hectárea respectivamente.

Los árboles fueron medidos en cinco usos del suelo con tres repeticiones cada uno. Para agroecosistemas ganaderos se evaluaron tres usos del suelo : **a)** subsistemas de pasturas tradicionales (*Axonopus compressus*, *Homolepsis aturiensis*, *Ischaemun indicum*, *Paspalum notatum*.) con árboles dispersos en baja densidad (PT), **b)** subsistemas de pasturas mejoradas (pasturas con *Brachiaria* sp.) con árboles dispersos en baja densidad (PM) y **c)** sistemas silvopastoriles de alta densidad asociados a cualquier tipo de pastura (SSP); para sistemas naturales se evaluaron dos usos del suelo: **a)** bosque nativo (Bo) y **b)** regeneración natural (RN); cada uno de ellos caracterizado por diferentes vegetaciones forestales que difieren entre sí por la edad, por mezcla de especies, por el tipo de suelo y por la densidad de individuos por unidad de área. Los datos recolectados fueron de tipo ecológico, silvicultural y dasométricos.

C. Tipo y tamaño de parcelas

Para el muestreo se utilizaron parcelas rectangulares temporales de tipo exploratorio y se georreferenciaron los puntos mediante GPS, posteriormente se representaron por medio de cartografía en Sistema de Información Geográfica. El tamaño de las parcelas se determinó a partir de referentes bibliográficos para cada uso del suelo.

Para los agroecosistemas de pasturas, diferenciados en PT, PM y SSP, se hicieron parcelas de 1000 m² y diez subparcelas de 10 x 10 m, con tres repeticiones para cada uno, donde fueron medidos los árboles presentes. En el

sistema de bosque nativo se emplearon parcelas de 2000 m² con diez subparcelas de 20 x 10 m y se realizaron tres repeticiones según lineamientos de Rüginitz, Chacón y Porro (2009) y Herrera, Califa, Marín, Jaramillo y Herrera (2012).

Para regeneración natural se empleó la metodología de Andrade e Ibrahim (2003); Delgadillo y Quechulpa (2006); IPCC (2003) y Orjuela *et al.* (2010), se trazaron parcelas de 1000 m² (10 x 100 m) con tres repeticiones, se realizó inventario florístico y medición de fustales, latizales y brinzales; en cada parcela fueron trazadas diez subparcelas de 10 x 10 m para facilitar la medición de los fustales correspondientes a individuos con DAP >10 cm, y dentro de cada una estas se trazó otra subparcela de 5 x 5 m para un total de 10 por parcela para la identificación de latizales y brinzales correspondientes a individuos ≥1,5 m de altura y DAP <10 cm y ≥5 cm e individuos con DAP <5 cm respectivamente.

D. Procedimiento de muestreo y análisis

Entre octubre y diciembre de 2017, en cada uno de los usos de suelo evaluados se hizo un inventario florístico y a cada uno de los individuos fustales dentro de cada unidad de muestreo le fueron registradas las variables altura total (ht) y diámetro a la altura del pecho (DAP) a una altura de 1,3 m del suelo; posteriormente se efectuó una descripción taxonómica para su respectiva identificación.

El DAP de los individuos arbóreos fue determinado usando cintas diamétricas; en el caso de individuos con dos o más fustes fue calculado el diámetro cuadrático medio, la medición de la altura se hizo con el clinómetro y en cada parcela se estimó la biomasa arbórea mediante cálculos alométricos. Para el caso de pasturas se utilizó la siguiente ecuación planteada por Chave *et al.* (2005):

$$B = 0,06 \times dd [(\pi \times DAP^2) \div 4] \times ht \quad (1)$$

Donde, B = biomasa, dd = densidad de la madera, π = 3,1416, DAP = diámetro a la altura del pecho, ht = altura total.

Para el cálculo de la biomasa en bosques nativos y regeneración natural se empleó la fórmula del IPCC (2003):

$$B = 21,297 - 6,953 \times (DAP) + 0,740 \times DAP^2 \quad (2)$$

Donde, B = biomasa, DAP = diámetro a la altura del pecho.

El cálculo del carbono arbóreo se realizó a partir de la biomasa siguiendo las recomendaciones del IPCC (2003):

$$C = B \times 0,5 \quad (3)$$

Donde, C= carbono, B = biomasa.

Los datos de biomasa, carbono y número de árboles obtenidos por parcela fueron convertidos a hectárea para facilitar el entendimiento y la presentación de la información. Posteriormente, estos fueron tabulados y analizados mediante ANOVA y se realizó la prueba de comparación DGC con un nivel de significación del 95 % para cada tipo de cobertura con el paquete estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2017).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cobertura de bosque evidenció la mayor capacidad de captura de carbono en el estrato arbóreo, con diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) con respecto a los otros sistemas evaluados, con valores de 249,04 Mg ha⁻¹ de biomasa y 124,52 Mg ha⁻¹ de carbono almacenado. Esta cantidad de carbono almacenado está por encima del valor encontrado por Quiceno, Tangarife y Álvarez (2016) para bosque primario del departamento del Guainía en la Amazonia colombiana con 86 Mg ha⁻¹. En la Tabla 1 se presenta la cantidad de carbono capturado en el estrato arbóreo en los diferentes sistemas evaluados.

Tabla 1. Biomasa y carbono almacenado en cinco usos del suelo de sistemas naturales y ganaderos en Albania Caquetá, Colombia.

Tipo de cobertura	Biomasa (Mg ha⁻¹)	EE (biomasa)	Carbono (Mg ha⁻¹)	EE (Carbono)
PM	0,74 A	33,37	0,37 A	16,69
PT	1,37 A	33,37	0,69 A	16,69
SSP	5,18 A	33,37	2,59 A	16,69
RN	64,63 A	33,37	32,32 A	16,69
Bo	249,04 B	33,37	124,52 B	16,69

Nota: valores con letra diferente por columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$). RN: regeneración natural, PT: pastura tradicional con árboles dispersos en baja densidad, SSP: sistema silvopastoril, PM: pastura mejorada con árboles en baja densidad, Bo: bosque nativo, EE: error estándar.

Según Ruiz (2010), el carbono almacenado en los bosques del sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia, específicamente para ecosistemas de bosques húmedos tropicales, se encuentra alrededor de los 130,44 Mg ha⁻¹, y presenta un valor similar a los bosques evaluados en el municipio de Albania. Por tal motivo, los resultados obtenidos en esta investigación son altamente representativos. Por otra parte, Paucar y Cjuno (2015), en un estudio de la cuantificación del carbono almacenado en formaciones vegetales amazónicas en la provincia de Madre de Dios (Perú) hallaron valores de 188,39 Mg ha⁻¹ de carbono, siendo superiores a los encontrados aquí.

No se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la capacidad de carbono almacenado en el estrato arbóreo entre los sistemas de pasturas (PT, PM y SSP) y regeneración natural. En contraste con el sistema de bosque nativo, la cantidad de carbono almacenado por los sistemas de pasturas fue inferior, especialmente en pasturas mejoradas con *Brachiaria* sp., con 0,37 Mg ha⁻¹ de carbono, resultados inferiores a los reportados por Ibrahim et al. (2006), con 1,63 Mg ha⁻¹ de carbono en la biomasa arbórea arriba del suelo de pasturas mejoradas con baja densidad de árboles en sistemas ganaderos de Costa Rica.

Los sistemas de pasturas con mayor relevancia para la captura de carbono a partir del componente arbóreo fueron los sistemas silvopastoriles, aunque estadísticamente no existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los sistemas de pasturas, aun así, se hallaron $2,59 \text{ Mg ha}^{-1}$ de carbono, valor inferior a lo encontrado por Cabrera, Mosquera, Ordóñez, Muñoz y Ballesteros (2007) con un valor de carbono capturado de $4,78 \text{ Mg ha}^{-1}$ en árboles dispersos en potreros en Nariño Colombia. Este comportamiento se presenta por el tipo de especies, la densidad y la distribución espacial de las leñosas (Jose, 2009).

Tabla 2. ANOVA del DAP por cada uso del suelo en sistemas ganaderos y naturales del municipio de Albania, Caquetá (Colombia).

Uso del suelo	DAP (cm)	n	EE
RN	7,50	372	0,44 A
PT	8,68	14	2,29 A
SSP	9,48	62	1,09 A
PM	12,28	5	3,83 A
Bo	18,52	315	0,48 B

Nota: valores con letra diferente son significativamente diferentes DGC ($p < 0,05$); DAP = diámetro a la altura del pecho. n: muestra o número de individuos por parcela, RN: regeneración natural, PT: pastura tradicional con árboles dispersos en baja densidad, SSP: sistema silvopastoril, PM: pastura mejorada con árboles en baja densidad, Bo: bosque nativo.

Según la tabla anterior, no existen diferencias significativas en DAP para todos los subsistemas de pasturas y regeneración natural. El DAP del bosque evidenció diferencia estadística significativa respecto a los demás subsistemas. El bosque tiene árboles con estructura horizontal en todos sus niveles (inferior, media y superior); es notoria la diversidad de edades entre las especies, categóricamente en bosques multietáneos, los cuales están formados por árboles de diferentes edades. En la investigación se encontraron bosques con baja y nula intervención antrópica y su variabilidad es propia de bosques del trópico húmedo de la Amazonia; por lo tanto, la variabilidad y cualquier cambio en su conformación estructural es exclusivamente por la selección natural.

La regeneración natural arrojó los promedios de DAP más bajos, lo cual significa que los individuos son jóvenes en su mayoría, característica fundamental en la contribución al secuestro de carbono, pues estos se regeneran más rápido y su proceso de respiración es menor (Restrepo, Orrego & Galeano, 2012). En el presente estudio se demostró que los bosques nativos tienen mayor capacidad de almacenamiento de carbono que la regeneración natural, no obstante, cabe resaltar que estos últimos se encuentran en un proceso de renovación vegetal, y en el momento en que se establezcan esos procesos dentro del sistema darán paso a valores muy por encima de los bosques primarios, pues representan tasas positivas de acumulación de carbono (Chacón, Leblanc & Russo, 2007; Yepes, Del Valle, Jaramillo & Orrego, 2010).

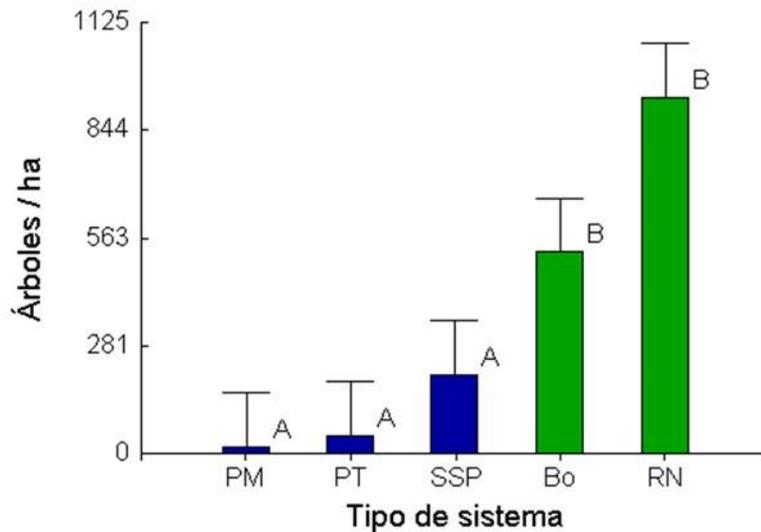


Fig. 1. Densidad de árboles por hectárea en cada uno de los usos del suelo de sistemas naturales y ganaderos del municipio de Albania, Caquetá.

En la Figura 1 se aprecia que los usos del suelo de sistemas naturales (verde), como la regeneración natural (RN) con 930 individuos ha^{-1} y el bosque nativo (Bo) con 525 individuos ha^{-1} , no tienen diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre sí con relación al número de árboles por hectárea; sin embargo, sí presentan diferencias considerables respecto a los sistemas ganaderos (azul) con 207, 47 y 17 individuos ha^{-1} para sistemas silvopastoril, tradicional y mejorado respectivamente. Asimismo, el bosque y la regeneración natural se destacan por su gran variabilidad florística, tanto en el dosel como en la vegetación formada por el sotobosque, como lo enuncian Figueredo y Bravo (2014).

Según el inventario florístico, se hallaron 27 especies en regeneración natural. Las que más aportaron con respecto al número de individuos fueron: lacre (*Vismia baccifera*), pomo caqueteño (*Bellucia pentamera*), guamo (*Inga* sp.) y chilco (*Miconia elata*). La familia que se destaca en abundancia y dominancia fue *Melastomatacea*, lo que concuerda con el estudio de González (2007) en la Serranía de los Churumbelos en la Amazonia colombiana. Además, Marcelo y Rodríguez (2014) concluyeron que la familia *Melastomatacea* guarda afinidad cimera con los bosques tropicales de la Amazonia.

Para los sistemas de pastura tradicional (47 individuos ha^{-1}) y pastura mejorada (17 individuos ha^{-1}) se evidenció una densidad baja con respecto al número de árboles por hectárea. La mayoría de individuos presentes en los sistemas de pasturas obedecen a la transformación del bosque a potreros efectuada por la intervención antropica y la regeneración natural a partir de árboles ya existentes, antes que a un producto de la siembra planificada. No obstante, la distribución espacial y estructura del dosel del componente arbóreo es un tema de manejo específico para cada sistema, manejo que debe ser coherente con las condiciones biofísicas, si se pretende lograr un equilibrio entre la productividad y la conservación (Villanueva *et al.*, 2006).

En conclusión, el uso del suelo con mayor capacidad de producción de biomasa y almacenamiento de carbono en el estrato arbóreo es el bosque nativo, y el de menor capacidad es el de las pasturas mejoradas con árboles dispersos en baja densidad; asimismo, la mayor densidad de árboles se presentó en las coberturas de regeneración natural, que tienen un alto potencial para el incremento de la capacidad de almacenamiento de carbono.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Gobernación del departamento del Caquetá y a la Corporación Misión Verde Amazonia, por el financiamiento de la presente investigación en el marco de las actividades del proyecto BPIN 2013000100164.

REFERENCIAS

- Acosta, A. (2010). Cambio climático y desarrollo pecuario: desafíos institucionales para el desarrollo sostenible de sistemas silvopastoriles en Centroamérica. En M. Ibrahim & E. Murgueitio (eds.), *VI Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible*, Panamá. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Alcaldía de Albania, Caquetá. (2014). *Trabajo social y comunitario de la mano con la gente: geografía*. Recuperado de <http://www.albania-caqueta.gov.co/presentacion.shtml>
- Andrade, H., & Ibrahim, M. (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería de las Américas*, 10(39-40), 109-116. Recuperado de <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/6950>
- Bueno-Hurtado, P., López-Santos, A., Sánchez-Cohen, I., Velásquez-Valle, M. A., & González-Barrios, J. L. (2015). Cambios de uso de suelo y sus efectos sobre la dinámica de GEI en el estado de Durango, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(4), 75-84.
- Cabrera, G., Mosquera, J., Ordóñez, H., Muñoz, D., & Ballesteros, W. (2007). Estimación de la biomasa aérea y captura de carbono en árboles dispersos en potreros con motilón silvestre (*Freziera canescens*) en el municipio de Pasto Nariño - Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 24(1 y 2), 46-55.
- Chacón, P., Leblanc, H. A., & Russo, R. O. (2007). Fijación de carbono en un bosque secundario de la región tropical húmeda de Costa Rica. *Tierra Tropical*, 3(1), 1-11.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J. P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree Allometry and Improved Estimation of Carbon Stocks and Balance in Tropical Forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>.
- Delgadillo, R. M., & Quechulpa, M. S. (2006). *Manual de monitoreo de carbono en sistemas agroforestales*. México: AMBIO. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/12983881/00-Manual-Mon-Carbono>.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C.W. (2017). *Infostat versión 2017*. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2007). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Pagos a los agricultores por servicios ambientales. *Agricultura*, (38). Recuperado de <http://www.fao.org/3/a1200s/a1200s00.pdf>.
- Figueredo, B. E., & Bravo, J. A. (2014). Inventario del bosque secundario de la finca los Lirios en la Ensenada, Segundo Frente, Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, (4), 29-42.

Carbono almacenado en estrato arbóreo de sistemas ganaderos y naturales del municipio de Albania, Caquetá, Colombia

- González, E. (2007). Estudio de las plantas de la Serranía de los Churumbelos. *Conservación Colombiana*, (3), 18-28. Recuperado de http://www.proaves.org/wp-content/uploads/2010/05/Plantas_Gonzalez_Con_Col_3_Churumbelos.pdf.
- Harvey, C. A., Guindon, C. F., Harber, W. A., Hamilton, D., & Murray, K. G. (2008). Importancia de los fragmentos de bosque, los árboles dispersos y las cortinas rompevientos para la biodiversidad local y regional de Monteverde, Costa Rica. En C.A. Harvey & J.C. Sáenz (eds.), *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica* (pp. 289-325). Costa Rica: Instituto Nacional de Biodiversidad INBIO.
- Herrera, V. W., Califa, S. D., Marín, V. A., Jaramillo, H., & Herrera, J. A. (2012). Implementación de estrategias de conservación, protección y restauración ambiental en cuatro municipios del departamento del Caquetá. Florencia, Caquetá: Misión Verde Amazonia.
- Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., Casasola, F., & Rojas, J. (2006). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería de las Américas*, (45), 27-36. Recuperado de <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/7934>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change –IPCC-. (2003). Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of other Vegetation Types. Kanagawa, Japan: Institute for Global Environmental Strategies, IPCC. Retrieved from <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplucluf/degredation.html>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change –IPCC-. (2014). *Cambio climático 2014, informe síntesis*. Ginebra, Suiza: IPCC.
- Jose, S. (2009). Agroforestry for Ecosystem Services and Environmental Benefits: An Overview. *Agroforestry Systems*, 76(1), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>.
- Murgueitio, R. E., Chará, J., Solarte, A. J., Uribe, F., Zapata, C., & Rivera, J. E. (2013). Agroforestería pecuaria y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26, 313-316.
- Marcelo, J., & Rodríguez, C. (2014). Patrones de diversidad y composición florística de parcelas de evaluación permanente en la selva central de Perú. *Rodriguésia*, 65(1), 35-47. <https://doi.org/10.1590/S2175-78602014000100003>.
- Orjuela, J. A., Ramírez, B. L., & Andrade, H. J. (2010). Potencial de almacenamiento de carbono en áreas de regeneración natural de paisajes ganaderos de la Amazonia colombiana. *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 2(1), 60-72. Recuperado de <https://www.udla.edu.co/revistas/index.php/ciencias-agropecuarias/article/view/380>.
- Paucar, M. E., & Cjuno, R. K. J. (2015). *Stock de carbono de la biomasa aérea y necromasa en un bosque de terraza alta presente en dos concesiones de reforestación en el sector de Santa Rita Baja, distrito de Inambari, Madre de Dios*. (Trabajo de grado). Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Recuperado de <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/215/004-2-3-043.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Quiceno, N. J., Tangarife, G. M., & Álvarez, R. (2016). Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales, en un área de bosque primario en el resguardo indígena Piapoco Chigüiro-Chátare de Barrancominas, departamento del Guainía (Colombia). *Luna Azul*, (43), 171-202. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.9>.
- Rangel, J. (2012). Estructura, biomasa aérea y carbono almacenado en los bosques del sur y noroccidente de Córdoba. En *Colombia Diversidad Biótica XII: La región Caribe de Colombia* (1.ª ed.), (pp. 923-961). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.uneditorial.net/pdf/TomoXII.pdf>.
- Restrepo, H. I., Orrego, S. A., & Galeano, O. J. (2012). Estructura de bosques secundarios y rastrojos montanos bajos del norte de Antioquia, Colombia. *Colombia Forestal*, 15(2), 173-189.

- Rodríguez, L. R., Jiménez, P. J., Aguirre, C. A., & Treviño, G. E. J. (2006). Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia Universidad Autónoma de Nuevo León*, 9(2), 179-187. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/1750/>.
- Rügnitz, M. T., Chacón, M. L., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales* (1.ª ed.). Lima, Perú: Centro Mundial Agroforestal ICRAF, Consorcio Iniciativa Amazónica IA.
- Ruiz, M. J. F. (2010). *Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución. Panorama 2011–2100. Nota técnica 005/2010*. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Recuperado de <http://modelos.ideam.gov.co/media/dynamic/escenarios/nota-tecnica-sobre-generacion-de-ecc.pdf>.
- Schulze, E., Wirth, Ch., & Heimann, M. (2000). Managing Forest after Kyoto. *Science*, 289(5487), 2058-2059. <https://doi.org/10.1126/science.289.5487.2058>.
- Villanueva, C., Tobar, D., Ibrahim, M., Casasola, F., Barrantes, J., & Arguedas, R. (2006). Árboles dispersos en potreros en fincas ganaderas del Pacífico Central de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, (45), 1-9. Recuperado de http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7946/Arboles_Dispersos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Yepes, A. P., Del Valle, J. I., Jaramillo, S. L., & Orrego, S. A. (2010). Recuperación estructural en bosques sucesionales andinos de Porce (Antioquia, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 58(1), 427-445. <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i1.5220>.