Economía del carbono: contabilidad de CO_2 en cercas vivas de sistemas productivos lecheros alto-andinos de Colombia

Carbon economy: CO_2 accounting in live fences of high-Andean dairy production systems in Colombia

Diego Abril Herrera[1], Jairo Mora Delgado[2] y Lucia Martínez Restrepo[3]

[1] Profesor ocasional, Programa de Zootecnia, Universidad de Cundinamarca, Fusagasuga; [2] Profesor Titular, Departamento de Producción Pecuaria, Grupo de Investigación Sistemas Agroforestales Pecuarios, Universidad del Tolima, Ibagué; [3] Profesora asistente, Departamento de Producción Pecuaria, Grupo de Investigación Sistemas Agroforestales Pecuarios, Universidad del Tolima, Ibagué

diegoabrilherrera@live.com

449,29 ± 308,67; 6,83 La economía del carbono constituye un tema emergente en el análisis de los sistemas de producción pecuarios. Los sistemas ganaderos se encuentran en constante crecimiento por lo que es frecuente la labranza, deforestación y quema de bosques para ampliar la extensión de tierra y, por ende, las pasturas, siendo una de las causas por las cuales se han aumentado las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, la siembra de árboles y arbustos en los potreros ayudan a disminuir estas emisiones, debido a que estos tienen la capacidad de almacenar y fijar carbono en cantidades considerables. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad de almacenamiento de carbono en la biomasa arriba del suelo de árboles de la especie *Alnus acuminata* dispuestos en cercas vivas de cuatro sistemas productivos lecheros ubicados en el Municipio de Guatavita, Colombia. Los resultados evidenciaron contenidos de carbono almacenado que oscilan entre 6,83 a 449,29 tC/árbol y contenidos de CO^2 equivalente (CO_2-e) que oscilan entre 12,54 a 824,45 tCO_2-e/árbol en trayectos que oscilen entre 98 a 245 metros lineales de cercas vivas. Estos resultados fueron proyectados a 400 metros lineales simulando el encerramiento total de una hectárea para proyectarlo una ha de pastura. Se concluye que los sistemas ganaderos estudiados, tienen amplia capacidad de almacenar y fijar C en la biomasa forestal que compone cada predio pudiendo mejorarse aumentando la densidad de siembra y concientizando a los productores sobre el valioso servicio ecosistémico que representan los árboles.

Palabras clave: Árboles, Guatavita, Ganadería, Cambio Climático, Gases Efecto Invernadero.

Abstract

The carbon economy is an emerging issue in the analysis of livestock production systems. Livestock systems are constantly growing, so farming, deforestation and forest burning are frequent to expand the extension of land and, therefore, pastures, being one of the reasons why gas emissions have increased. greenhouse. However, planting trees and shrubs in pastures help reduce these emissions, since they have the capacity to store and fix carbon in considerable quantities. Therefore, the objective of this descriptive research was to determine the carbon storage and fixation capacity in the above-ground biomass of trees of the Alnus acuminata species arranged in living fences of

four dairy production systems located in the Municipality of Guatavita, Colombia. The results showed stored carbon contents ranging from 6,83 to 449,29 tC and equivalent carbon contents (eq-CO_2) ranging from 12,54 to 824tCO_2-e./tree in paths oscillating from 98 to 245 linear meters of live fences. These results were projected at 400 linear meters simulating the total enclosure of one hectare of pasture. It is concluded that the livestock systems studied have ample capacity to store and fix C in the forest biomass that makes up each farm, and can be improved by increasing the planting density and raising awareness among producers about the valuable ecosystem service that trees represent.

Keywords: Trees, Guatavita, Livestock, Climate Change, Greenhouse Gases.

Introducción

A nivel ambiental, las actividades ganaderas, impactan de diversas maneras sobre el recurso agua y suelo los cuales, a su vez, afectan el sistema atmosférico infiriendo en el cambio climático (Jaurena et al., 2019). Los gases de efecto invernadero (GEI) mayormente aportados por la ganadería son el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) con un 70 %, 20 % y 9 % respectivamente (Alayón et al., 2018; Banco Interamericano de Desarrollo - BID, 2014).

La ganadería en Colombia se encuentra en constante crecimiento; sin embargo, la falta de definición de los sistemas ganaderos y las inadecuadas prácticas como la quema, tala de los bosques y labranza de la tierra, crean impactos negativos sobre el medio ambiente generando efectos como la degradación de suelos y emisiones de GEI (Mahecha et al., 2002).

El CO_2 es el principal GEI que debe reducirse (Torres et al., 2011; Toensmeier, 2015) a través de prácticas agrícolas que permitan capturarlo y mantenerlo por periodos amplios de tiempo en la biomasa forestal y el suelo (De Jong et al., 2004). Según Lal, (2014) la adecuada expansión y apropiación de dichas prácticas permitirían regresar a valores mínimos de CO_2 en la atmósfera gracias a la alta capacidad en el secuestro de carbono (C) que se alcanzaría.

Los árboles, capturan el CO_2 atmosférico a través de la fotosíntesis, el cual es fijado en las estructuras vivas del árbol y una parte es acumulado en su biomasa para formar carbohidratos y desarrollarse (Heldt, 1997) citado por (Torres et al., 2011). Luego, una fracción es transferida al suelo generando reservas de C y otra fracción del C, es intercambiado con la atmosfera mediante el proceso de respiración (Solano et al., 2014).

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) señala que los bosques son el principal sumidero terrestre de CO_2 (IPCC, 2001). Los árboles cumplen una función de captación no solo en la madera aprovechable, sino también, en las ramas caídas, material muerto, entre otros que se puedan encontrar en los pastizales; Por lo anterior, es ideal realizar siembra de árboles en los potreros puesto que éstos ayudarán a mejorar la reserva de C terrestre en estos ecosistemas (Rattan, 2008) y, bajo el contexto productivo agropecuario, la captura de GEI se considera un servicio ecosistémico (Battle et al., 2000) indispensable para nuestro planeta. Actualmente, es muy importante abordar la economía del carbono, como una área emergente en al análisis de los sistemas pecuarios; para ello, es fundamental cuantificar la biomasa forestal para determinar la capacidad de captura de C que tienen los árboles en los distintos sistemas (Brown, 1997).

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) define a la biomasa como *"el peso equivalente de materia orgánica que existe en determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo"* (CAR, 2013), siendo, la superior, biomasa viva y la inferior o subterránea todos los componentes de la raíz, tanto vivos como muertos (Cancino, 2012).

El modelo de árboles en cercas vivas es ampliamente utilizado para delimitar áreas en los sistemas productivos lecheros de pequeña, mediana y gran escala de las zonas alto-andinas de Colombia. Murgueitio et al., (2008) señalan que los predios ganaderos que implementan cercas vivas hacen parte de una estrategia de manejo del paisaje rural que aporta a la recuperación de la biodiversidad, al incremento de la productividad y rendimientos económicos de estos sistemas. En ese sentido, el IPCC, (2007) resalta la importancia de los árboles en la mitigación del cambio climático al regular el ciclo global del C, siendo las plantaciones del trópico las de mayor velocidad de crecimiento, que aumenta su capacidad en el secuestro de C y la entrega de otros servicios ecosistémicos beneficiosos para la población y el planeta (Balvanera, 2012).

Considerando lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar la capacidad de almacenamiento de carbono en la biomasa arriba del suelo de árboles de la especie *Alnus acuminata* dispuestos en cercas vivas de cuatro sistemas productivos lecheros ubicados en el municipio de Guatavita en Colombia.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en cuatro sistemas productivos bovinos, situados a una altura promedio de 2690 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) con temperatura aproximada de 14 °C y una precipitación de 1300 mm/año (Barrios & Gómez, Diseños de rutas para el municipio de Guatavita, 2009), dedicados a la producción de leche a pequeña escala, distribuidos en dos veredas del municipio de Guatavita, el cual se encuentra ubicado en la Provincia del Guavio, noroccidente del departamento de Cundinamarca, Colombia. El municipio cuenta con una extensión de 252,27 Km^2 de los cuales 246 Km^2 corresponden al área rural. La ganadería de leche es la principal actividad económica del mismo, siendo pionero a nivel departamental en cooperativismo y asociatividad lechera (Alcaldía Municipal de Guatavita, 2019). Para el año 2020 se reportó un total de 10724 cabezas de ganado distribuidas en 974 predios (MinAgricultura, 2020).

Selección de sistemas productivos

Inicialmente, la selección de los predios se basó en la tipificación, previamente realizada, por el proyecto de investigación *"Productividad y eficiencia de la energía en diferentes tipos de sistemas de producción lecheros alto andinos de Colombia"*, financiado por la Universidad del Tolima, en donde se tuvieron en cuenta cinco variables (producción de leche, área de pasturas, unidades animales, topografía y precipitación) y dos índices (tecnología moderna y tecnología ecoamigable) que permitieron seleccionar las fincas acordes al propósito de dicha investigación. Posteriormente, se realizó un análisis de conglomerados a través del software estadístico InfoStat® que permitió, por homogeneidad de las variables, clasificar dieciséis sistemas productivos en cuatro grupos de acuerdo a su oferta ambiental y al uso o implementación de tecnologías (tabla 1). Para la presente investigación, por cada grupo, se seleccionó el sistema más representativo en cuanto a

presencia de árboles y establecimiento de cercas vivas (tabla 2).

Tabla 1. *Parámetros de agrupamiento de los sistemas productivos objeto de estudio.*

Grupo	Denominación	Oferta Ambiental	Tecnologías
1	Sistemas de producción con tecnología moderna (SPTM)	**Favorable** (suelos fértiles; balance hídrico balanceado; topografía plana; alta productividad primaria)	Alta mecanización del suelo; ordeño mecánico; rotación de pasturas; fertilización de síntesis química apropiada.
2	Sistemas de producción de mediana productividad (SPMP)	**No favorable** (suelos mediana a baja fertilidad; balance hídrico irregular; topografía ondulada y pendiente; baja productividad primaria)	Mecanización del suelo; ordeño mecánico; poca rotación de pasturas; alta fertilización de síntesis química.
3	Sistemas de producción tradicionales (SPT)	**No favorable** (suelos mediana a baja fertilidad; balance hídrico irregular; topografía ondulada y pendiente; baja productividad primaria)	Baja mecanización del suelo; ordeño manual; poca rotación de pasturas; baja fertilización de síntesis química.
4	Sistemas de producción ecoamigables (SPEA)	**No favorable** (suelos mediana a baja fertilidad; balance hídrico irregular; topografía ondulada y pendiente; baja productividad primaria)	Baja mecanización; ordeño mecánico; rotación de pasturas; baja fertilización de síntesis química; reciclaje de nutrientes con fertilización orgánica

Tabla 2. *Predios, especie, área total y cantidad total de árboles en metros lineales de los sistemas seleccionados.*

Nombre del predio	Vereda	Especie arbórea	Área total (ha)	Árboles/ metros lineales	Distancia entre árboles (m)	Árboles muestreados
Las Mercedes	Guándita	*Alnus acuminata*	1,5	60/118	2	21
El Guabal	La Concepción	*Alnus acuminata*	4	50/98	2	15
El Rosal	Carbonera Baja	*Alnus acuminata*	1	100/245	2,5	30
La Planada	Guándita	*Alnus acuminata*	0,36	75/182	2,5	30

El presente estudio se realizó utilizando métodos no destructivos descritos a continuación y, considerando, que los sistemas silvopastoriles o agroforestales almacenan C en

cuatro componentes (biomasa arriba del suelo, biomasa subterránea en raíces, hojarasca y suelo), la investigación se centró en la biomasa arriba del suelo.

Diámetro a la altura de pecho (DAP)

Utilizando cinta métrica se tomó la circunferencia del tronco a 1,30 metros (m) desde la base del árbol. Los valores obtenidos en centímetros (cm) fueron divididos en π (3,1416) de acuerdo a lo indicado por Jumbo et al., (2018) para obtener el DAP.

Biomasa forestal (BF)

Para el cálculo de la biomasa ***(kg/árbol)*** en la especie *Alnus acuminata* se utilizó la ecuación alométrica II.1 propuesta por Álvarez (2012) descrita a continuación:

$$BF = Exp\Big(1{,}96 + \big(-1{,}098 * (\mathrm{LN}(DAP))\big) + \big(1{,}169 * ((\mathrm{LN}(DAP))^2)\big) + \big(-0{,}122 * ((\mathrm{LN}(DAP))^3)\big) + \big(1{,}061 * (\mathrm{LN}(DM))\big)\Big)$$

*Donde**, Exp:** Exponente; **LN:** Logaritmo Natural **DAP:** Diámetro a la Altura de Pecho; **DM:** Densidad de Madera Alnus acuminata – 0,38 Kg/m³* (Osinaga et al., 2014)

La sumatoria de los valores obtenidos, expresados en kg/árbol, fue dividida entre 1000 para expresarla en toneladas. La ecuación se corrigió sumando a los resultados individuales el factor $\sigma^2/2$; donde σ es el error residual del modelo en escala logarítmica.

Carbono almacenado en la biomasa

Los valores de biomasa forestal fueron multiplicados por 0,5 para estimar el contenido de C almacenado (IPCC, 2003) citado por (Ibrahim et al., 2006) considerando que la relación de la biomasa con el C es de aproximadamente 2:1. La sumatoria del C almacenado, expresado en Kg/árbol, fue dividida entre 1000 para expresarlo en toneladas.

Dióxido de Carbono (CO_2) fijado en la biomasa

Para determinar el CO_2 fijado, Rügnitz et al., (2009) citados por Sánchez et al., (2020) referencian la siguiente ecuación:

$$CO^2 = C * 3{,}67$$

En dónde:

CO_2 = Carbono fijado expresado en toneladas.

C = Carbono almacenado expresado en toneladas.

3,67 = peso atómico del CO_2.

Resultados

A continuación, se presentan los valores promedio obtenidos para DAP, biomasa aérea, C almacenado y CO_2 fijado, así como la proyección de C almacenado y CO_2 fijado en 400 metros lineales simulando un encerramiento total de una hectárea.

Estimación del DAP

Respecto al DAP de los árboles de *A. acuminata*, en nuestra investigación, se obtuvieron valores que oscilan entre 30,01 ± 8,18, 5,39 ± 1,38, 23,86 ± 4,77 y 23,67 ± 5,58 cm en los sistemas Las Mercedes, El Guabal, El Rosal y La Planada respectivamente (figura 1), encontrando mayor similitud entre los árboles de El Rosal y La Planada.

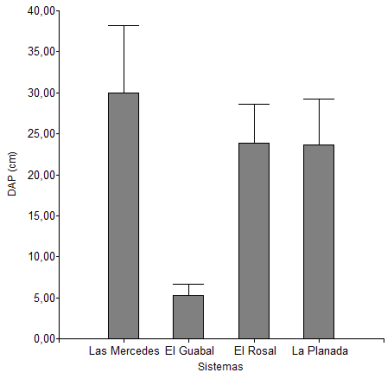


Figura 1. Valores de DAP de *A. acuminata* encontrados en los cuatro sistemas productivos objeto de estudio.

Biomasa forestal y C almacenado

Los valores de biomasa arriba del suelo oscilaron entre 449,29 ± 308,67; 6,83 ± 3,30; 227,08 ± 144,69 y 241,60 ± 144,24 Kg/árbol en los sistemas Las Mercedes, El Guabal, El Rosal y La Planada respectivamente. Para el C almacenado, tomado de la relación 2:1 existente con la biomasa forestal, en la presente investigación, se encontraron valores que oscilan entre 224,29 ± 154,33; 3,42 ± 1,65; 113,54 ± 72,35 y 120,80 ± 72,12 Kg/árbol en los sistemas Las Mercedes, El Guabal, El Rosal y La Planada (figura 2).

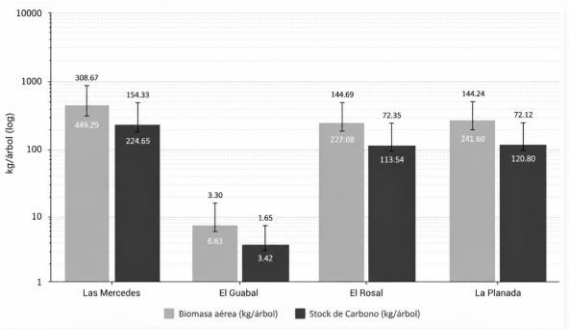


Figura 2. Relación biomasa arriba del suelo y C almacenado en los cuatro sistemas productivos objeto de estudio.

Proyección de carbono almacenado

Los datos obtenidos anteriormente fueron extrapolados a 400 m lineales simulando un encerramiento total de una hectárea obteniendo como resultado valores promedio de 33,2; 0,4; 6,5 y 15,9 toneladas de Carbono/ha almacenado para las fincas, bajo el mismo orden, en cercas vivas lineales de 118, 98, 245 y 182,5 metros (figura 3).

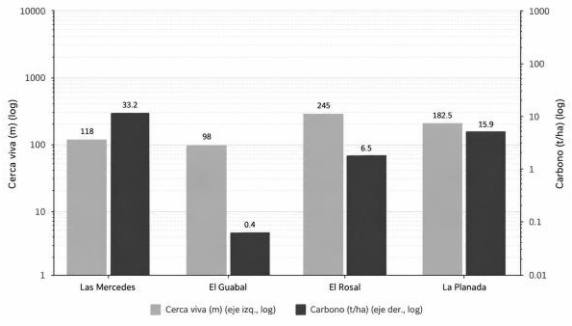


Figura 3. Estimación de carbono almacenado en la biomasa forestal de *A. acuminata* sobre el total de cercas vivas en metros lineales de los cuatro sistemas productivos objeto de estudio.

Dióxido de Carbono (CO_2) equivalente

Con relación al carbono equivalente en el presente estudio se encontraron valores que oscilan entre 824,45 ± 566,41; 12,54 ± 6,06; 416,68 ± 265,52 y 443,34 ± 264,68 Kg/árbol, correspondientes a los sistemas Las Mercedes, El Guabal, El Rosal y La Planada respectivamente (figura 4).

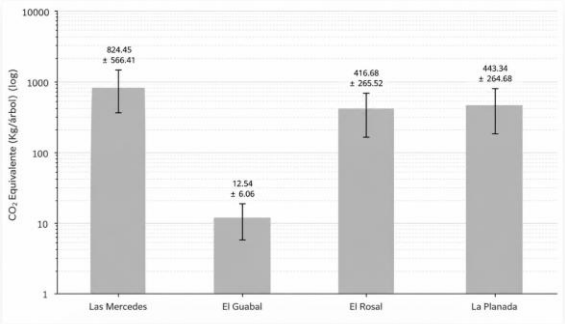


Figura 4. Valores de CO_2 equivalente en árboles de *A. acuminata* en cercas vivas lineales de los cuatro sistemas productivos objeto de estudio.

Discusión

Fonseca et al., (2013), señalan que, en la literatura, existen pocos estudios sobre biomasa y carbono en *Alnus acuminata.* Esta escasa documentación está dada porque se ha subestimado la importancia de los árboles en cerca viva ligada al potencial de captura de C que presentan (Miranda et al., 2007). Adicionalmente, Salinas & Hernández, (2008) indican que dentro de las metodologías de estimación de C aprobadas por el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) se carece de un estándar de medición para árboles dispersos y cercas vivas. Sin embargo, autores como Melo et al., (2008), desarrollaron una investigación en la microcuenca de la Quebrada Cabrera ubicada al oriente de la ciudad de San Juan de Pasto – Colombia, a una altura promedio de 3112 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), utilizando el método destructivo propuesto por MacDicken (1997) para el desarrollo de ecuaciones alométricas. Se encontró en siete parcelas de 100 metros lineales con tres especies diferentes *(Morella pubescens, Acacia decurrens y Alnus acuminata)* un promedio de 1,2 Kg de biomasa aérea y 0,6 Kg de C almacenado en árboles de *Alnus* con un DAP de 2,76 cm. En mencionado estudio no se tratan valores de CO_2 fijado. En nuestra investigación, el valor mínimo de DAP encontrado fue 3,34 cm el cual permitió estimar un valor de 3,17 Kg de biomasa y 1,58 Kg de C almacenado siendo, por supuesto, mayores con relación al grado de desarrollo de los árboles y posiblemente dados por las diferencias entre las condiciones agroclimáticas que existen para ambos estudios, lo anterior, soportado en la investigación realizada por Athanase et al. (2021) al noreste de Ruanda sobre el potencial de la especie *Alnus* en el secuestro de carbono, en donde se señala que, la elevación en m.s.n.m., afecta notablemente el contenido de carbono de la biomasa pasando de 21,4 ± 1,29 tC/ha en árboles dispersos ubicados entre 2011 a 2110 m.s.n.m. a 9,6 ± 0,75 $tC.ha^{-1}$ en elevaciones superiores a los 2510 m.s.n.m.

Un tercer estudio, elaborado por Loyola et al., (2015) en el municipio de Santa Cruz, provincia Camagüey, Cuba, a una altura de 42 m.s.n.m. en cercas vivas con *Moringa oleifera* reporta un valor promedio de 2,52 tC almacenado en 1000 metros lineales en cortes realizados cada 90 días. Considerando las amplias diferencias entre especies, edáficas, climáticas y de manejo respecto a los árboles de *Alnus* tratados en nuestra investigación, en donde el promedio de los cuatro predios estudiados corresponde a 35,04 tC/1000 metros lineales de cerca viva, es claro que la Moringa parece tener menor capacidad de captura y almacenamiento de C en donde nuevamente se resalta el concepto de Athanase et al., (2021) sobre la influencia de la altura (m.s.n.m.) en el carbono de los árboles.

Hassán, Espinosa-Tasón, & Ríos, (2017) elaboraron su trabajo investigativo en la cuenca media y baja del río La Villa, Península de Azuero – Panamá, sobre cercas vivas denominadas simples (compuestas por una o dos especies de árboles o arbustos) y cercas múltiples (compuestas por tres a diez especies de árboles o arbustos) en donde predominaron las especies *Jatropha curcas* (55 %), *Bursera*

simaruba (20 %), *Bursera tomentosa* (9 %) y *Gliricidia sepium* (6 %). La biomasa fue calculada a través de ecuaciones alométricas y los resultados de C fueron sumados al calculado alternamente en el suelo obteniendo valores expresados en toneladas por hectárea siendo superiores en las cercas múltiples debido a su alta densidad vegetal. Lo anterior, sugiere el mejoramiento de las cercas vivas con *Alnus* aumentando la densidad de siembra e/o implementando asociaciones con otras especies si biológicamente es posible ya que, comunmente, en la zona de estudio se utilizan los árboles con distancias de 2 a 3 m buscando un beneficio económico al reemplazar postes de madera o concreto requeridos para las delimitaciones de áreas mas no pensados como servicio ecosistémico, mitigante de cambio climático, con beneficios para el suelo, la fauna incluyendo la edáfica y los animales.

Otros trabajos con *Alnus* dispuestos en sistemas silvopastoriles con árboles dispersos destacan sus bondades mitigantes del cambio climático al almacenar cantidades de C bastante considerables; La investigación de Kursten y Burscshel, (1993), citados por (Acosta & Tupaz, 2007) reporta un promedio de 25 $tC.ha^{-1}$ calculados a partir de la biomasa de 35 árboles *Alnus* con edades aproximadas de 30 años. Otra investigación, en un sistema silvopastoril de *Alnus*, ubicado a 2407 m.s.n.m. realizada por Fluker & Sánchez, (2016) utilizando ecuaciones alométricas, encontró un total de 9,45 toneladas de biomasa/ha y 4,72 $tC.ha^{-1}$ en doce ejemplares con DAP promedio de 43,33 cm, aplicando la misma relación 2:1.

Es importante considerar que, de acuerdo a lo propuesto por Brown & Lugo, (1985) la capacidad de almacenamiento de C de los árboles dependerá siempre de la especie, cantidad de biomasa, densidad de la madera y las condiciones edáficas y climáticas de la zona. Fernández, (2006), citado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONACyT, (2015) señala que la implementación de cercas vivas y/o el incremento de árboles en las mismas contribuye a la eliminación de áreas despobladas por los mismos sistemas ganaderos, lo cual incrementa el almacenamiento de C, pudiendo, según la especie arbórea, mejorar la calidad en la dieta de los animales, disminuyendo la liberación de metano (CH_4) al ambiente y el CO_2 atmosférico. De manera general, los sistemas productivos con árboles, presentan una mayor productividad primaria neta y un mejor almacenamiento de C en todos sus componentes (Loyola et al., 2015).

CONCLUSIONES

La proyección de C almacenado en árboles de la especie *A. acuminata* ubicados en los cuatro predios más representativos por grupo permitió obtener datos que posicionan al sistema “Las Mercedes” como el mayor stock de C con valores promedio de 32,2 tC almacenado/ha y 0,8 tCO_2 equivalente por árbol.

Son pocos los estudios reportados en cercas vivas, especialmente de trópico alto, que refieran valores y demuestren el potencial de almacenamiento de C en especies arbóreas tradicionalmente usadas en ganadería colombiana.

Los sistemas ganaderos del municipio de Guatavita (Cundinamarca), tienen la capacidad de almacenar y fijar C, de forma representativa, en la biomasa forestal de *A. acuminata* que compone cada predio. Estas cantidades podrían mejorarse aumentando la densidad de siembra y concientizando a los productores sobre el valioso servicio ecosistémico que representan los árboles para el secuestro de C y la mitigación de cambio climático, la fauna, el suelo y los animales.

Lo anterior, abre una puerta para futuras investigaciones que aporten al conocimiento, al desarrollo de acciones contra el cambio climático y también a promover su importancia como práctica mitigadora de GEI al ambiente.

referencias

Acosta, J., & Tupaz, F. (2007). *Cuantificación de la captura de carbono por la biomasa aérea de Aliso en dos arreglos agroforestales de la granja experimental Botana Universidad de Nariño, municipio de Pasto, departamento de Nariño.* San Juan de Pasto, Nariño: Universidad de Nariño. Recuperado el 12 de Noviembre de 2021, de http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A11212e/A11212e.pdf

Álvarez, E., Duque, A., Saldarriaga, J.Cabrera, K., de las Salas, G., del Valle,I., Lema, A., Moreno, F., Orrego, S., Rodríguez, R. (2012) Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. Forest Ecology and Management, 267 (1) 297-308

Alayón, J., Jiménez, G., Piñeiro, A., Canul, J., Albores, S., Villanueva, G., . . . Ku-Vera, J. (2018). Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería. *Revista Agro-Productividad*, 5. Recuperado el 5 de Marzo de 2022, de https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/112

Alcaldía Municipal de Guatavita. (2019). *Plan de desarrollo 2020 - 2023.* Guatavita, Cundinamarca. Recuperado el 7 de Febrero de 2022, de https://guatavita.101tramites.com/Proyectos/Documentos_Detalles_Proyectos/Plan%20de%20Desarrollo%20Guatavita%202020%20-%202023.pdf

Athanase, R., Shem, K., Athanase , M., & Catherine, W. (2021). Potential of Alnus acuminata based agroforestry for carbon sequestration and other ecosystem services in Rwanda. *Agroforest Syst.*, 5. doi:https://doi.org/10.1007/s10457-021-00619-5

Aulestia-Guerrero, E., Jiménez, L., Quizhpe-Palacios, J., & Capa-Mora, D. (2018). Alnus acuminata kunth: una alternativa de reforestación y fijación de dióxido de carbono. *Bosques Latitud Cero*, 4-6. Recuperado el 21 de Marzo de 2022, de https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/495

Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas - revista científica de ecología y medio ambiente*. Recuperado el 6 de Marzo de 2022, de https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/33

Banco Interamericano de Desarrollo. (2014). *Oficina de Evaluación y Supervisión OVE.* Recuperado el 6 de Marzo de 2022, de https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/El-cambio-clim%C3%A1tico-y-el-BID-Creaci%C3%B3n-de-resiliencia-y-reducci%C3%B3n-de-emisiones.pdf

Barrios, C., & Gómez, J. (2009). *Diseños de rutas para el municipio de Guatavita.* Bogotá D.C.: Universidad de los Andes. Recuperado el 7 de febrero de 2022, de https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/16272/u686349.pdf?sequence=1

Battle, M., Bender, M., Tans, P., White, J., Ellis, J., Conway, T., & Francey, R. (2000). Global Carbon Sinks and Their Variability Inferred from Atmospheric O2 and δ13C. *Science*, 6. doi:10.1126/science.287.5462.2467

Bolaños, Y., Bolaños, M., Paz, F., & Ponce, J. (2016). Estimación de carbono almacenado en bosques de oyamel y ciprés en Texcoco, Estado de México. 7. Recuperado el 12 de Febrero de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792017000100073&script=sci_abstract

Brown, S. (1997). *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer.* Illinois, USA: University of Illinois; FAO. Recuperado el 6 de Marzo de 2022, de https://www.fao.org/3/w4095e/w4095e00.htm

Brown, S., & Lugo, A. (1985). Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. *Canadian Journal and Torestry*. Recuperado el 18 de Marzo de 2022, de https://www.researchgate.net/profile/Sandra-Brown-17/publication/237868445_Biomass_of_tropical_tree_plantations_and_its_implications_for_the_global_carbon_budget/links/53d8dfe40cf2a19eee838cd1/Biomass-of-tropical-tree-plantations-and-its-implications-for-

Cancino, J. (2012). *Dendrometría básica.* Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente. Recuperado el 6 de Marzo de 2022, de http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/407/2/Dendrometria_Basica.pdf

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONACyT. (2015). *Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería bovina tropical.* México D.F.: REDGATRO - CONACyT. Recuperado el 26 de Marzo de 2022, de http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/11_11_43_Libro_Arte_Ganad_DP_Mexico.pdf

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. (2013). *Guía para la cuantificación de la biomasa y el carbono forestal, generación de modelos y uso de herramientas para su estimación.* Recuperado el 6 de Marzo de 2022, de https://www.car.gov.co/uploads/files/5ade19e5bcb8e.pdf

De Jong, B., Masera, O., & Hernández-Tejeda, T. (2004). *Opciones de captura de carbono en el sector forestal.* México: Instituto Nacional de Ecología. Recuperado el 6 de Marzo de 2022

Díaz, R. (2021). Impacto del cambio climático en la ganadería: implicaciones fisiológicas y ambientales. *Revista científica ecuatoriana*, 1. doi: https://doi.org/10.36331/revista.v8i1.136

Fluker, R., & Sánchez, V. (2016). *Captura de carbono en un sistema silvopastoril con Aliso (Alnus acuminata), en el distrito de Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas.* Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Recuperado el 8 de Marzo de 2022, de http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1221/REBECA%20STACY%20FLUKER%20PUSCAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fonseca, W., Ruíz, L., Rojas, M., & Alice, F. (2013). Modelos alométricos para la

estimación de biomasa y carbono en Alnus acuminata. *Revista de ciencias ambientales*, 8. doi:http://dx.doi.org/10.15359/rca.46-2.4

Hassán, J., Espinosa-Tasón, J., & Ríos, L. (2017). Fijación de carbono en cercas vivas de fincas ganaderas de la cuenca del río La Villa. *Ciencia Agropecuaria*, 3-9. Recuperado el 26 de Marzo de 2022, de https://www.researchgate.net/publication/281315440_Fijacion_de_carbono_en_biomasa_de_cercas_vivas_de_fincas_ganaderas_del_rio_la_villa

Ibrahim, M., Chacón, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Ponce, G., Vega, P., . . . 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*, 4. Recuperado el 10 de Febrero de 2022, de https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7934/Almacenamiento_de_carbono_en_el_suelo.pdf?sequence=2&isAllowed=y

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001). *Climate Change 2001 - Synthesis Report.* WMO - UNEP . Recuperado el 6 de Marzo de 2022, de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_TAR_full_report.pdf

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Cambio Climático: Impacto, adaptación y vulnerabilidad.* Recuperado el 6 de Marzo de 2022, de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wg2-sum-vol-sp.pdf

Jaurena, G., Juliarena , P., & Errecart, P. (2019). Causas y determinantes de las emisiones de gases de efecto invernadero en ganadería. *Revista argentina de producción animal*. Recuperado el 6 de Marzo de 2022, de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/119864/CONICET_Digital_Nro.a1f3fbd0-e8f6-44f5-942a-b6ad3cc46118_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Jumbo, C., Arévalo, C., & Ramírez-Cando, L. (2018). Medición de carbono del estrato arbóreo del bosque natural Tinajillas-Limón Indanza, Ecuador. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*. doi:https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.04

Lal, R. (2014). Abating Climate Change and Feeding the World Through Soil Carbon Sequestration. In: Dent, D. (eds) Soil as World Heritage. *Springer, Dordrecht*, 443-457. doi:https://doi.org/10.1007/978-94-007-6187-2_47

Loyola, O., Valido, A., Triana, D., Pérez, I., Yero, I., & Gonzáles, D. (2015). Evaluación de la retención de carbono y la fauna edáfica en asocio con Moringa oleifera Lam. en cercas vivas. *Centro Agrícola*, 3-5. Recuperado el 26 de Marzo de 2022, de https://biblat.unam.mx/es/revista/centro-agricola/articulo/evaluacion-de-la-retencion-de-carbono-y-la-fauna-edafica-en-asocio-con-moringa-oleifera-lam-en-cercas-vivas

Mahecha , L., Gallego, L., & Peláez, F. (2002). Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Recuperado el 6 de Marzo de 2022, de https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/323816/20781002

Melo, C., Chamorro, N., & León, J. (2008). Potencial de carbono de Morella pubescens Humb.& Bonpl, Alnus jorullensis H.B.K., Y Acacia decurrens Willd, como cercas vivas en el coregimiento de Cabrera, municipio de Pasto. *Artículo presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Forestal*, 8-18. Recuperado el 26 de Marzo de 2022, de https://sired.udenar.edu.co/5521/1/77095.pdf

MinAgricultura. (2020). *Inventario Pecuario.* Bogotá. Recuperado el 7 de Febrero de 2022, de https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=65

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*, 6. Recuperado el 26 de Marzo de 2022, de https://www.redalyc.org/pdf/2691/269119701007.pdf

Murgueitio, E., Cuartas, C., & Naranjo, J. (2008). *Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo.* Cali, Colombia. Recuperado el 6 de Marzo de 2022, de https://www.yumpu.com/es/document/read/5200493/ganaderia-del-futuro-investigacion-para-el-fundacion-cipav

Osinaga, O., Baez, S., Cuesta , F., Malizia, A., Carrilla, J., Aguirre, N., & Malizia, L. (2014). *Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en bosques andinos - protocolo extendido versión 1.* Quito, Ecuador: CONDESAN/IER-UNT/COSUDE. Recuperado el 22 de Marzo de 2022, de https://www.researchgate.net/profile/Julieta-Carilla/publication/263426343_Monitoreo_de_diversidad_vegetal_y_carbono_en_bosques_andinos-Protocolo_extendido_Protocolo_2_-_Version_1/links/0046353acd5127e19c000000/Monitoreo-de-diversidad-vegetal-y-carbono-en

Rattan, L. (2008). Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. doi:10.1098/rstb.2007.2185

Salinas, Z., & Hernández, P. (2008). *Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía.* Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE. Recuperado el 22 de Marzo de 2022, de https://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2259/Guia_para_el_diseno_de_proyectos_MDL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sánchez, N., Irías, N., Calero, C., & Alonzo, E. (2020). Biomasa forestal, carbono fijado y almacenado en sistema bosque y sistema silvopastoril en siete fincas del municipio de Mulukukú, RACN, 2018. *Revista científica La Calera*. doi:https://doi.org/10.5377/calera.v20i34.9745

Sepúlveda, X. (2018). *Estimación del carbono almacenado en la biomasa de dos sistemas silvopastoriles con Aliso (Alnus acuminata) y Acacia (Acacia melanoxylon R. Br.); y en un pastizal convencional con Kikuyo (Pennisetum clandestinum) y Trébol Blanco (Trifolium repens), en la* . Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Tulcán, Ecuador. Recuperado el 22 de Febrero de 2022, de http://repositorio.upec.edu.ec/handle/123456789/674

Solano, D., Vega, C., Eras, V., & Cueva, K. (2014). Generación de modelos alométricos

para determinar biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluviestacional del Ecuador. *Revista CEDAMAZ*, 2. Recuperado el 6 de Marzo de 2022, de https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/227

Toensmeier, E. (2015). *Prácticas agrícolas que secuestran carbono: fortaleciendo los suelos y estabilizando el clima.* ECHO Notas de Desarrollo N° 128. Recuperado el 11 de Abril de 2022, de https://assets-global.echocommunity.org/pdf/b16275bf-693c-44d6-b0d1-f0dabb2c8fa9/es/practicas-agricolas-o-el-clima.pdf?v=17b5ffb79efb4d10cc70c28cdc6fe33a

Torres, J., Espinoza, W., Laskmi, R., & Vázquez, A. (2011). Secuestro de carbono en potreros arbolados, potreros sin árboles y bosque caducifolio de Huatusco, Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 3. Recuperado el 6 de Marzo de 2022, de https://www.redalyc.org/pdf/939/93920942033.pdf