

Revista Cubana de Ciencias Forestales

Volumen 14, 2026, enero-diciembre



***Evaluación del almacenamiento de carbono en un sistema
silvopastoril amazónico tradicional y su contribución en la
mitigación del cambio climático***

*Assessment of carbon storage in a traditional Amazonian silvopastoral system and its
contribution to climate change mitigation*

*Avaliação do armazenamento de carbono em um sistema silvopastoril tradicional da
Amazônia e sua contribuição para a mitigação das mudanças climáticas*

Alex López-Alban¹ , Lisbeth Moreno-López² , Aracelli Medina-Gahona¹ 

Diego Ureta-Leones^{1*} 

¹Universidad Estatal Amazónica. Centro Experimental de Investigación y Producción
Amazónica, Ecuador.

²Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

*Autor para la correspondencia: da.uretal@uea.edu.ec

Recibido: 15/08/2025.

Aprobado: 19/03/2026.



RESUMEN

Los sistemas silvopastoriles (SSP) integran componentes arbóreos, herbáceos y pecuarios en una misma unidad productiva, promoviendo la sostenibilidad ambiental y económica. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el almacenamiento de carbono en un sistema silvopastoril amazónico tradicional y su contribución a la mitigación del cambio climático. La investigación se llevó a cabo en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA), provincia de Napo, Ecuador. Se establecieron tres parcelas de 1 000 m², en las cuales se realizó un inventario florístico de los estratos herbáceo y arbóreo. La biomasa forestal se estimó mediante ecuaciones alométricas, y la biomasa de especies forrajeras se evaluó utilizando el método del marco cuadrado (1 m²). El carbono almacenado se estimó considerando un coeficiente de carbono del 47 % sobre la biomasa seca. Además, se recolectaron muestras de suelo hasta 30 cm de profundidad para determinar el contenido de carbono orgánico edáfico. Se registraron 61 individuos, distribuidos en 14 especies forestales y 9 familias botánicas. La familia Lauraceae presentó el mayor número de especies. La cobertura herbácea estuvo dominada por *Brachiaria decumbens* (65 %) y *B. brizantha* (30 %), con presencia de *Arachis pintoii* (3,5 %) y *Desmodium* spp. (1,5 %). El mayor reservorio de carbono fue el suelo (34,72 t ha⁻¹), seguido del componente forestal (25,15 t ha⁻¹) y herbáceo (6 t ha⁻¹), acumulando un total de 65,87 t ha⁻¹ de carbono. Se concluye que los SSP tradicionales en la Amazonía ecuatoriana poseen alto potencial como sumideros de carbono, contribuyendo significativamente a la mitigación del cambio climático.

Palabras clave: Secuestro de carbono, Agroforestería, Ganadería sostenible, Mitigación climática.

ABSTRACT

Silvopastoral systems (SPS) integrate tree, herbaceous, and livestock components into a single production unit, promoting environmental and economic sustainability. This study aimed to evaluate carbon storage in a traditional Amazonian silvopastoral system and its contribution to climate change mitigation. The research was conducted at the Amazonian Research and Production Experimental Center (CEIPA), Napo Province,



Ecuador. Three 1,000 m² plots were established, in which a floristic inventory of the herbaceous and tree strata was carried out. Forest biomass was estimated using allometric equations, and forage biomass was evaluated using the square frame method (1 m²). Stored carbon was estimated considering a carbon coefficient of 47% of dry biomass. In addition, soil samples were collected to a depth of 30 cm to determine soil organic carbon content. Sixty-one individuals were recorded, distributed among 14 forest species and 9 botanical families. The Lauraceae family had the highest number of species. Herbaceous cover was dominated by *Brachiaria decumbens* (65%) and *B. brizantha* (30%), with the presence of *Arachis pintoii* (3.5%) and *Desmodium* spp. (1.5%). The largest carbon reservoir was the soil (34.72 t ha⁻¹), followed by the forest component (25.15 t ha⁻¹) and herbaceous component (6 t ha⁻¹), accumulating a total of 65.87 t ha⁻¹ of carbon. It is concluded that traditional silvopastoral systems (SPS) in the Ecuadorian Amazon have high potential as carbon sinks, contributing significantly to climate change mitigation.

Keywords: Carbon sequestration, Agroforestry, Sustainable livestock farming, Climate mitigation.

RESUMO

Os sistemas silvipastoris (SSP) integram componentes arbóreos, herbáceos e pecuários em uma única unidade de produção, promovendo a sustentabilidade ambiental e econômica. Este estudo teve como objetivo avaliar o armazenamento de carbono em um sistema silvipastoril tradicional da Amazônia e sua contribuição para a mitigação das mudanças climáticas. A pesquisa foi conduzida no Centro Experimental de Pesquisa e Produção Amazônica (CEIPA), Província de Napo, Equador. Foram estabelecidas três parcelas de 1.000 m², nas quais foi realizado um inventário florístico dos estratos herbáceo e arbóreo. A biomassa florestal foi estimada utilizando equações alométricas e a biomassa forrageira foi avaliada pelo método do quadrado (1 m²). O carbono armazenado foi estimado considerando um coeficiente de carbono de 47% da biomassa seca. Além disso, amostras de solo foram coletadas até 30 cm de profundidade para determinar o teor de carbono orgânico do solo. Sessenta e um indivíduos foram registrados, distribuídos entre 14 espécies florestais e 9 famílias botânicas. A família



Lauraceae apresentou o maior número de espécies. A cobertura herbácea foi dominada por *Brachiaria decumbens* (65%) e *B. brizantha* (30%), com a presença de *Arachis pintoi* (3,5%) e *Desmodium* spp. (1,5%). O maior reservatório de carbono foi o solo (34,72 t ha⁻¹), seguido pelo componente florestal (25,15 t ha⁻¹) e pelo componente herbáceo (6 t ha⁻¹), acumulando um total de 65,87 t ha⁻¹ de carbono. Conclui-se que os sistemas silvipastoris (SSP) tradicionais na Amazônia equatoriana apresentam alto potencial como sumidouros de carbono, contribuindo significativamente para a mitigação das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Sequestro de carbono, Agrofloresta, Pecuária sustentável, Mitigação climática.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los desafíos globales urgentes del siglo XXI, con implicaciones significativas para los ecosistemas, la biodiversidad y las sociedades humanas (Scheer *et al.*, 2025). La acumulación de gases de efecto invernadero (GEI), particularmente el dióxido de carbono (CO₂), en la atmósfera, ha sido identificada como una de las principales causas del calentamiento global (Yoon *et al.*, 2025). En este contexto, los sistemas naturales y agroforestales han emergido como estrategias clave para la mitigación del cambio climático, gracias a su capacidad para secuestrar y almacenar carbono (Mihrete y Mihretu 2025). Los sistemas silvopastoriles (SSP) han ganado atención por su potencial para integrar la producción ganadera con la conservación ambiental, especialmente en regiones biodiversas como la Amazonía (Baker *et al.*, 2025).

Los sistemas silvopastoriles son modelos de uso del suelo que combinan árboles, pastos y ganado en una misma área, promoviendo la sostenibilidad ambiental y económica (Brunetti *et al.*, 2025). En la región amazónica, estos sistemas no solo contribuyen a la productividad agropecuaria, sino que también desempeñan un papel importante en la conservación de la biodiversidad y la regulación del ciclo del carbono (Tinoco-Jaramillo *et al.*, 2024). Sin embargo, a pesar de su potencial, existe una brecha de conocimiento respecto a la cuantificación precisa del carbono almacenado en estos sistemas y su



contribución real a la mitigación del cambio climático (Torres *et al.*, 2022). Esta información es fundamental para diseñar políticas públicas y prácticas de manejo sostenible que maximicen los beneficios ambientales de los SSP.

La Amazonía, como uno de los biomas más importantes del planeta, alberga una vasta reserva de carbono en su vegetación y suelos (Goodman *et al.*, 2019). No obstante, la deforestación y la degradación de tierras han reducido significativamente su capacidad de almacenamiento de carbono, contribuyendo a las emisiones globales de GEI (Fearnside, Nogueira y Yanai 2018). En este escenario, los SSP representan una alternativa viable para restaurar áreas degradadas y reducir la presión sobre los bosques, al tiempo que generan beneficios económicos para las comunidades locales (Contreras-Santos *et al.*, 2023). Sin embargo, para aprovechar plenamente este potencial, es necesario comprender cómo estos sistemas influyen en el ciclo del carbono y cómo pueden optimizarse para maximizar su capacidad de secuestro.

En este sentido, la presente investigación se enfoca en evaluar el almacenamiento de carbono en un sistema silvopastoril amazónico tradicional y su contribución en la mitigación del cambio climático, como un aporte al diseño de prácticas de manejo sostenible que promuevan la adopción de SSP en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA) de la Universidad Estatal Amazónica. Geográficamente, el CEIPA se localiza en el kilómetro 44 de la vía Puyo-Tena (Figura 1). El centro abarca una extensión total de 2 848 hectáreas, de las cuales aproximadamente 2 000 hectáreas corresponden a bosque nativo. Esta región se distingue por presentar un clima tropical húmedo, con temperaturas medias anuales que fluctúan entre 24 y 25°C. La precipitación media anual registrada es de 4 000 mm, lo que refleja condiciones de alta pluviosidad. En términos de topografía, la altitud varía entre 580 y 990 m.s.n.m.,



mientras que la humedad relativa promedio se mantiene en torno al 80 % (Ureta-Leones *et al.*, 2024).

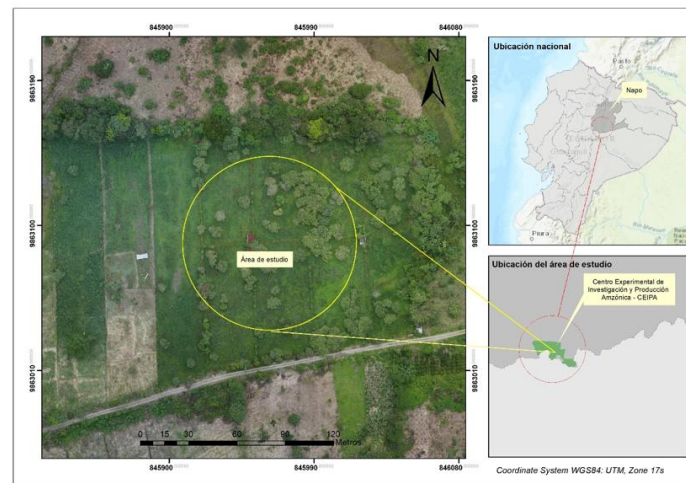


Figura 1. - Ubicación del Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica

Caracterización florística de los arreglos del sistema silvopastoril

Se delimitaron tres parcelas de 25 × 40 m, cada una con un área de 1 000 m², sumando un total de 3 000 m² de área de muestreo para el estudio. Se llevó a cabo un inventario florístico que abarcó los tres estratos de vegetación: herbáceo, arbustivo y arbóreo. Durante el muestreo, se registraron todos los individuos arbustivos y arbóreos presentes en cada parcela con un diámetro a la altura del pecho ($D_{1,30}$) igual o mayor a 10 cm, así como su altura total, siguiendo la metodología descrita por Contreras-Santos *et al.* (2023).

Estimación de biomasa aérea y subterránea

La estimación de biomasa se realizó a partir ecuaciones alométricas siguiendo lo establecido por Torres *et al.* (2022) y Chave *et al.* (2005) para el bosque tropical húmedo:

$$AGB = \sum \rho \exp (-1.499 + 2.148 \ln(DAP_{1,30}) + (0.207(\ln DAP_{1,30}))^2 - 0.281(\ln(DAP_{1,30}))^3)$$

Donde AGB representa la biomasa aérea expresada en kilogramos de masa seca, ρ corresponde a la densidad específica de la madera en gramos por centímetro cúbico (g cm⁻³), y $D_{1,30}$ es el diámetro a la altura del pecho medido en centímetros. El cálculo incluye todos los árboles y arbustos con un $D_{1,30} \geq 10$ cm. Los datos de ρ se tomó de la



base de datos mundial sobre la densidad de madera (of Life 2024), en los casos en que no se disponía de valores específicos de ρ , se utilizó el promedio de la ρ del género de acuerdo con lo propuesto por Alvarado-Sarango *et al.* (2025).

La biomasa subterránea, correspondiente a las raíces gruesas, fue estimada de manera indirecta, asumiendo que representa el 30 % de la AGB (Mcgroddy *et al.*, 2015).

La biomasa de las especies forrajeras se estimó mediante el método del marco cuadrado. En cada unidad de muestreo se recolectaron tres muestras, utilizando un área delimitada de 100 × 100 cm. La biomasa fue cortada a nivel del suelo y se registró su peso fresco en campo. Posteriormente, el material fue secado en un horno de circulación de aire forzado a 60 °C durante 48 horas, con el objetivo de determinar el contenido de materia seca (Contreras-Santos *et al.*, 2023). La biomasa de raíces de las especies forrajeras se estimó a una profundidad de 30 cm, con la metodología propuesta por Contreras-Santos *et al.* (2021).

Estimación del contenido de carbono almacenado

El contenido de carbono de la biomasa aérea y subterránea (t ha^{-1}) para los diferentes estratos se estimó multiplicando la biomasa promedio estimada para cada parcela por un valor de carbono de la madera del 47 % (Torres *et al.*, 2022).

El carbono orgánico del suelo se estimó de acuerdo con lo descrito por Contreras-Santos *et al.* (2023), en el cual se emplea la ecuación:

$$COS = C * Da * Prof$$

Donde COS ($\text{t ha}^{-1}\text{C}$) representa el carbono orgánico acumulado en el suelo; C corresponde al contenido total de carbono orgánico del suelo, determinado en laboratorio mediante el método de oxidación de Walkley & Black (1934); Da (g cm^{-3}) es la densidad aparente del suelo, obtenida utilizando el método del cilindro de volumen conocido ($98,17 \text{ cm}^3$); y Prof indica la profundidad de muestreo o intervención (cm). Las muestras de suelo se recolectaron a una profundidad de 30 cm.



Determinación del contenido de carbono del sistema

La cuantificación del carbono almacenado en el sistema (CAS) es un proceso fundamental para evaluar la cantidad total de carbono retenido en los diferentes componentes del sistema silvopastoril, expresado mediante la ecuación:

$$CAS = CBF + COS + CBFo$$

Esta ecuación integra tres componentes principales: el carbono almacenado en la biomasa forestal (CBF), el carbono orgánico presente en el suelo (COS) y el carbono contenido en la biomasa en especies herbáceas (CBFo). De este modo, proporciona una estimación integral del carbono retenido en el sistema, expresada en toneladas de carbono por hectárea ($t\ C\ ha^{-1}$).

Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron procesados mediante análisis estadísticos descriptivos, utilizando el software OriginLab 2024a, lo que permitió organizar, interpretar y representar gráficamente la información.

RESULTADOS

Caracterización florística del sistema silvopastoril

En el sistema silvopastoril evaluado, se registraron un total de 61 individuos, distribuidos en 14 especies pertenecientes a 9 familias botánicas (Figura 1a). La familia Lauraceae presentó el mayor número de especies, incluyendo *Nectandra spp.*, *Laurus nobilis*, *Ocotea cernua* y *Nectandra reticulata*, mientras que la especie con mayor abundancia fue *Psidium guajava*, con un total de 30 individuos (Tabla 1).

La distribución diamétrica de los individuos mostró que la mayor concentración se encuentra en la clase de 10 a 19,99 cm de diámetro con 26 individuos, seguida de la clase de 19 a 20,99 cm con 19 individuos (Figura 1b). En cuanto a la distribución en altura, se registraron 33 individuos con una altura $\leq 4,99\ m$ (Figura 2c).



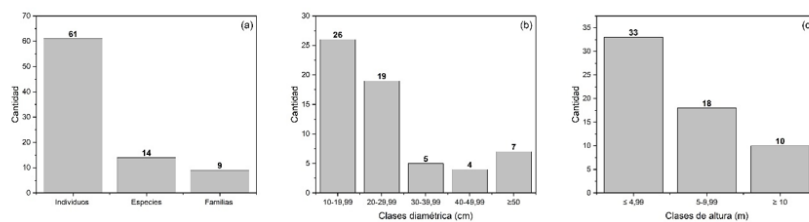


Figura 2. - Composición florística y estructura del sistema silvopastoril: a: Composición florística; b: Distribución de clases diamétricas; c: Distribución de clases de altura

La caracterización florística del sistema silvopastoril varió entre las parcelas evaluadas, reflejando diferencias en la estructura y diversidad. En la parcela uno se registraron cuatro especies con un total de 37 individuos, lo que indica menor diversidad específica, pero una mayor densidad poblacional. La parcela dos presentó mayor riqueza florística, con nueve especies y diez individuos, indicando una distribución más equitativa de las especies. La parcela tres incluyó seis especies y 14 individuos, evidenciando una composición intermedia (Tabla 1).

Tabla 1. - Caracterización de especies forestales del sistema silvopastoril

Familia	Especie	Nombre común	Individuos	Parcela
Lauraceae	<i>Nectandra</i> spp.	canelo	2	1
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	guayaba	26	1
Melastomataceae	<i>Miconia</i> spp.	mortino	2	1
Asteraceae	<i>Piptocoma discolor</i> (Kunth) Pruski.	pigue	7	1
Annonaceae	<i>Annona</i> spp.	anona de monte	1	2
Lauraceae	<i>Nectandra</i> spp.	canelo	1	2
Meliaceae	<i>Guarea</i> spp.	cedrillo	1	2
Melastomataceae	<i>Bellucia pentamera</i> Naudin.	colca	1	2
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	guayaba	1	2
Lauraceae	<i>Laurus nobilis</i> L.	laurel	1	2
Lauraceae	<i>Ocotea cernua</i> (Nees) Mez.	moena	1	2
Melastomataceae	<i>Miconia</i> spp.	mortino de monte	2	2



Sapotaceae	<i>Pouteria</i> spp.	sapotillo	1	2
Myrtaceae	<i>Myrcia fallax</i> (Rich.) DC.	achotillo	1	3
Myristicaceae	<i>Pycnanthus angolensis</i> (Welw.) Warb.	calabó	1	3
Lauraceae	<i>Nectandra reticulata</i> (Ruiz & Pav.) Mez	canelo bobo	1	3
Melastomataceae	<i>Bellucia pentamera</i> Naudin.	colca	7	3
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	guayaba	3	3
Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	laurel costeño	1	3

La cobertura de especies herbáceas-forrajeras en el sistema silvopastoril evaluado estuvo dominada por *Brachiaria decumbens* (pasto dallis), con una cobertura promedio del 65 %, seguida por *Brachiaria brizantha* (pasto marandú), con un 30 %, ambas pertenecientes a la familia Poaceae. Complementariamente, se registró la presencia de *Arachis pintoi* (maní forrajero) con un 3,5 % de cobertura y *Desmodium* spp. con un 1,5 %, ambas de la familia Fabaceae.

Biomasa aérea y subterránea

La cuantificación de biomasa en el sistema silvopastoril evaluado permitió determinar la contribución de los componentes forestal y de especies forrajeras al almacenamiento de materia orgánica y, por ende, al potencial de secuestro de carbono. Los resultados muestran una marcada dominancia del componente forestal en términos de acumulación de biomasa, tanto aérea como subterránea. Específicamente, la biomasa aérea promedio del componente arbóreo alcanzó 41,16 t ha⁻¹, mientras que la biomasa subterránea promedio fue de 12,35 t ha⁻¹, sumando un total de 53,51 t ha⁻¹. El componente de especies forrajeras presentó una biomasa aérea promedio de 12,40 t ha⁻¹ y una biomasa subterránea promedio de 0,37 t ha⁻¹, alcanzando una biomasa total de 12,77 t ha⁻¹ (Tabla 2).



Tabla 2. - Biomasa acumulada en el sistema silvopastoril

	Componente Forestal	Componente Pastura
Biomasa Área ($t\ ha^{-1}$)	41,16	12,40
Biomasa Subterránea ($t\ ha^{-1}$)	12,35	0,37
Biomasa Total ($t\ ha^{-1}$)	53,51	12,77

Carbono almacenado en el sistema

La estimación del carbono almacenado en los distintos componentes del sistema silvopastoril permitió cuantificar la capacidad de este tipo de uso de suelo para actuar como sumidero de carbono. En la Figura 3, se evidencia que, en términos absolutos, el mayor reservorio de carbono se encontró en el componente edáfico, con $34,72\ t\ ha^{-1}$ de carbono, representando aproximadamente el 47,8 % del carbono total del sistema. Este resultado reafirma la importancia del suelo como almacén de carbono de largo plazo en ecosistemas agroforestales. El componente Forestal contribuyó con $25,15\ t\ ha^{-1}$ (34,6 % del total). En contraste, el componente herbáceo o pastura almacenó $6\ t\ ha^{-1}$, correspondiente al 8,3 % del total. La sumatoria de todos los componentes indica que el sistema almacena un total de $65,87\ t\ ha^{-1}$ de carbono.

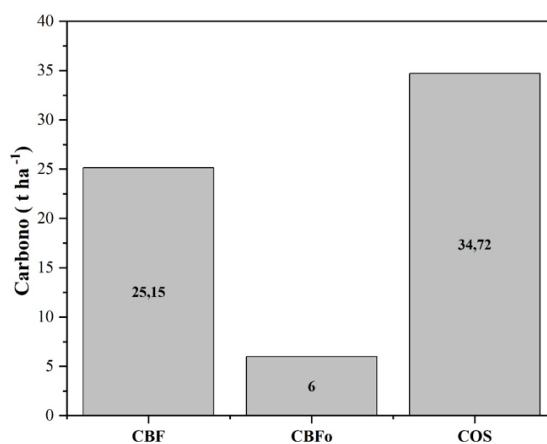


Figura 3. - Contenido de carbono almacenado en el sistema silvopastoril

Leyenda: CBF: Carbono almacenado en la biomasa forestal; CBFo: Carbono almacenado en biomasa de especies forrajeras; COS: Carbono orgánico presente en el suelo



DISCUSIÓN

Composición florística y estructural de un SSP

La integración de árboles, pasturas y animales en una unidad productiva representa una estrategia prometedora para el desarrollo ganadero sostenible en zonas tropicales, debido a su potencial para incrementar la productividad forrajera, mejorar las condiciones microclimáticas y actuar como sumidero de carbono atmosférico. (Díaz *et al.*, 2025; Torres *et al.*, 2022)

El sistema evaluado albergó un total de 61 individuos arbóreos pertenecientes a 14 especies distribuidas en 9 familias botánicas, siendo Lauraceae la familia dominante, con representantes como *Nectandra* spp., *Ocotea cernua* y *Laurus nobilis*. Particular relevancia tuvo *Psidium guajava*, que presentó una abundancia significativa con 30 individuos. Esta Murgueitio *et al.* (2015) alta representación concuerda con lo reportado por Chará-Serna & Chará (2020) y quienes destacan que *Psidium guajava* se adapta eficientemente a los sistemas silvopastoriles, debido a su rápido crecimiento, notable capacidad de rebrote y tolerancia a suelos de baja fertilidad.

La distribución diamétrica mostró que el 42,6 % de los individuos se ubicaron en la clase de 10 a 19,99 cm de $D_{1,30}$, lo que indica una comunidad dominada por árboles jóvenes o semimaduros, lo que se corresponde con lo reportado por (Contreras-Santos *et al.*, 2021). El 54 % de los individuos no superaron los 5 m de altura, reforzando la interpretación de un dosel arbóreo bajo y parcialmente desarrollado. Varios autores han reportado que un dosel bajo puede ser favorable en sistemas silvopastoriles jóvenes o en regeneración, al equilibrar productividad forrajera y regeneración arbórea (Murgueitio *et al.*, 2010; Jarquín Díaz y Aguilar 2025); sin embargo, otros autores sugieren que, para alcanzar mayor sostenibilidad y provisión de servicios ecosistémicos, se requiere fomentar la sucesión hacia estratos más altos y estructuralmente complejos (Montagnini y Nair 2004; José 2009). En términos de diversidad florística, se evidenció una variabilidad importante entre parcelas que podrían explicarse por el historial de manejo diferenciado y las etapas sucesionales de cada parcela, factores que influyen en la diversidad florística en SSP heterogéneos (Oliva-Cruz *et al.*, 2025; Torres *et al.*, 2022). Otros autores señalan que los sistemas más jóvenes suelen presentar menor diversidad y mayor dominancia



de unas pocas especies, mientras que en sistemas maduros se incrementa la equidad florística (Jarquín Díaz y Aguilar 2025).

El estrato herbáceo estuvo compuesto principalmente por *B. decumbens* y *B. brizantha* (Poaceae) y leguminosas como *Arachis pintoi* y *Desmodium* spp. Esta combinación es característica de SSP tropicales debido a la alta productividad y adaptabilidad de *Brachiaria* en suelos ácidos o pobres, así como a la capacidad de las leguminosas para fijar nitrógeno y mejorar la fertilidad edáfica (Jarquín Díaz y Aguilar 2025; Torres *et al.*, 2022). En particular, *Arachis pintoi* ha sido ampliamente promovido como una leguminosa eficaz para cubrir el suelo y aumentar la disponibilidad de nitrógeno, mientras que *Desmodium* spp. contribuye al mejoramiento del contenido de materia orgánica y la estructura del suelo (Litardo *et al.*, 2020).

Cuantificación de carbono en el SSP

La evaluación de la biomasa evidenció una marcada superioridad del estrato arbóreo frente al herbáceo. El componente forestal, tanto en su fracción aérea como subterránea, concentró la mayor parte de la acumulación, reflejando su papel dominante en la estructura y funcionamiento del sistema. En contraste, las gramíneas y leguminosas aportaron una proporción considerablemente menor, con reducida presencia en el subsuelo, lo que confirma su contribución secundaria en términos de almacenamiento de biomasa. Esta diferencia resalta la importancia del componente leñoso como principal reservorio de carbono y soporte ecológico, mientras que el herbáceo cumple funciones complementarias más asociadas a la cobertura y la dinámica superficial. Además, esta relación de aproximadamente 4:1 entre biomasa arbórea y herbácea es consistente con lo reportado en otros sistemas silvopastoriles tropicales, como los evaluados por Torres *et al.* (2022) en la región de Sumaco, donde se encontraron valores máximos de hasta 41 t ha⁻¹ de biomasa arbórea en zonas con alta densidad de árboles dispersos.

En cuanto al contenido de carbono, se determinó que el principal reservorio se encuentra en el suelo (0–30 cm de profundidad), representó el 47,8 % del total del sistema. El componente arbóreo almacenó 34,6 %, mientras que el herbáceo contribuyó con el 8,3 %. Estos resultados refuerzan la evidencia acumulada que sitúa al suelo como el principal sumidero de carbono en SSP tropicales, incluso por encima de la biomasa aérea.



Investigaciones previas, como las de Torres *et al.* (2022) y Oliva-Cruz *et al.* (2025), han encontrado que entre el 50 % y 74 % del carbono en SSP se encuentra en el suelo, especialmente en sistemas con cobertura arbórea importante.

El total de carbono almacenado en el sistema alcanzó 65,87 t ha⁻¹, cifra que posiciona al sistema evaluado dentro del rango promedio reportado para SSP tropicales. Litardo *et al.*, (2020) señalan que estos sistemas pueden almacenar entre 12 y 228 t ha⁻¹, dependiendo de variables como edad del dosel, tipo de manejo y densidad arbórea. En comparación, los valores observados en este estudio son ligeramente inferiores a los reportados por Torres *et al.* (2022), quienes documentaron hasta 113 t ha⁻¹ en SSP maduros de la Amazonía ecuatoriana. Esta diferencia podría explicarse por el estado sucesional más temprano del sistema estudiado.

Desde una perspectiva funcional, estos resultados respaldan el uso de SSP como estrategias eficaces para la mitigación del cambio climático, al combinar productividad ganadera con servicios ecosistémicos como el secuestro de carbono, la mejora de la fertilidad del suelo y la conservación de biodiversidad. La inclusión de árboles leñosos en paisajes ganaderos tropicales permite reducir la presión sobre los bosques primarios, al tiempo que mejora la resiliencia del sistema frente a eventos climáticos extremos. Este enfoque integral de producción sostenible es coherente con los principios de la ganadería climáticamente inteligente promovida por La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y otros organismos internacionales.

Finalmente, cabe destacar que la juventud del sistema y su composición florística indican un potencial aún no completamente explotado en términos de captura de carbono y complejidad estructural. Mediante un manejo adecuado, que incluya el enriquecimiento con especies nativas de valor ecológico y productivo, se podría incrementar aún más la capacidad del sistema para actuar como sumidero de carbono y proveedor de bienes y servicios ecosistémicos. En suma, este estudio aporta evidencia empírica que refuerza el papel de los sistemas silvopastoriles como herramientas clave para avanzar hacia una ganadería más sostenible (Rivera *et al.*, 2025), resiliente y compatible con los objetivos de conservación en la región amazónica.



Estos resultados destacan la relevancia de promover prácticas de manejo sostenible que conserven y potencien la diversidad vegetal en paisajes productivos, favoreciendo la productividad ganadera y los servicios ecosistémicos.

CONCLUSIONES

El sistema silvopastoril evaluado en el Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica posee un notable potencial para el almacenamiento de carbono, contribuyendo de manera importante a la mitigación del cambio climático.

La alta diversidad estructural y florística, evidenciada por la presencia de 14 especies arbóreas y una cobertura herbácea complementaria, permite una distribución funcional del carbono entre los componentes arbóreo, herbáceo y edáfico.

El sistema evaluado alcanzó un total de 65,87 t ha⁻¹ de carbono almacenado, con el suelo como principal reservorio (47,8 %) y el componente arbóreo (34,6 %).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO-SARANGO, B., URETA-LEONES, D., VEINTINILLA-RAMOS, D. y JARAMILLO-DÍAZ, N., 2025. Estructura, diversidad florística y almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de un bosque siempreverde piemontano en la Cordillera del Cóndor-Kutukú. Revista Cubana de Ciencias Forestales [en línea], vol. 13, no. 1, [consulta: 10 marzo 2026]. ISSN 2310-3469. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692025000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- BAKER, T.P., ENGLAND, J.R., BROOKS, S.T., STEWART, S.B. y MENDHAM, D., 2025. Effect of silvopasture, paddock trees and linear agroforestry systems on agricultural productivity: A global quantitative analysis. Agricultural Systems, vol. 224, pp. 104240. ISSN 0308-521X. DOI 10.1016/J.AGSY.2024.104240.



BRUNETTI, H.B., OLIVEIRA, P.P.A., PEZZOPANE, J.R.M., BERNARDI, A.C. de C., GARCIA, A.R., BERNDT, A., PEDROSO, A. de F., LELIS, A.L.J. y MEDEIROS, S.R., 2025. Silvopastoral system as a climate-smart alternative for beef production: Enteric methane emission neutralization and animal thermal comfort increase. *Agricultural Systems*, vol. 225, pp. 104277. ISSN 0308-521X. DOI 10.1016/J.AGSY.2025.104277.

CHARÁ-SERNA, A.M. y CHARÁ, J., 2020. Efecto de los sistemas silvopastoriles sobre la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos en agropaisajes tropicales. *Livestock Research for Rural Development*, vol. 32, no. 11, pp. 184.

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. y YAMAKURA, T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, vol. 145, no. 1, pp. 87-99. ISSN 00298549. DOI 10.1007/S00442-005-0100-X.

CONTRERAS-SANTOS, J.L., MARTINEZ-ATENCIA, J., RAGHAVAN, B., LOPEZ-REBOLLEDO, L. y GARRIDO-PINEDA, J., 2021. Silvopastoral systems: Mitigation of greenhouse gases in the Tropical Dry Forest - Colombia. *Agronomía Mesoamericana* [en línea], vol. 32, no. 3, pp. 901-919. [consulta: 20 febrero 2025]. ISSN 2215-3608. DOI 10.15517/AM.V32I3.43313. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/43313/47831>.

DÍAZ, M., ALEGRE, J., GÓMEZ, C., GARCÍA, C. y ARÉVALO-HERNÁNDEZ, C., 2025. Effect of Light on Yield, Nutritive Value of *Brachiaria decumbens*, and Soil Properties in Silvopastoral Systems, Peruvian Amazon. *Grasses* 2025, Vol. 4, Page 18 [en línea], vol. 4, no. 2, pp. 18. [consulta: 3 agosto 2025]. ISSN 2813-3463. DOI 10.3390/GRASSES4020018. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2813-3463/4/2/18/htm>.



- FEARNSIDE, P.M., NOGUEIRA, E.M. y YANAI, A.M., 2018. Maintaining carbon stocks in extractive reserves in Brazilian Amazonia. *Desenvolvimento e Meio Ambiente* [en línea], vol. 48, pp. 446-476. [consulta: 20 febrero 2025]. ISSN 2176-9109. DOI 10.5380/DMA.V48I0.58780. Disponible en: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/58780>.
- GOODMAN, R.C., HARMAN ARAMBURU, M., GOPALAKRISHNA, T., PUTZ, F.E., GUTIÉRREZ, N., MENA ALVAREZ, J.L., AGUILAR-AMUCHASTEGUI, N. y ELLIS, P.W., 2019. Carbon emissions and potential emissions reductions from low-intensity selective logging in southwestern Amazonia. *Forest Ecology and Management*, vol. 439, pp. 18-27. ISSN 0378-1127. DOI 10.1016/J.FORECO.2019.02.037.
- JARQUÍN DÍAZ, J.R. y AGUILAR, A., 2025. Uso de pastos mejorados para pastoreo directo o para corte en sistemas silvopastoriles. [en línea], [consulta: 3 agosto 2025]. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/13326>.
- JOSE, S., 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems* [en línea], vol. 76, no. 1, pp. 1-10. [consulta: 3 agosto 2025]. ISSN 0167-4366. DOI 10.1007/S10457-009-9229-7/METRICS. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-009-9229-7>.
- LITARDO, R.M., MORA, F.C., GARCIA, E.L. y MORAN, E.H., 2020. Evaluación de un sistema silvopastoril para la gestión sostenible de los recursos naturales de la Hacienda Aurora, Guayas – Ecuador. *Journal of Science and Research* [en línea], vol. 5, no. CININGEC, pp. 79-95. [consulta: 4 agosto 2025]. ISSN 0377-9424. Disponible en: <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/999>.
- CONTRERAS-SANTOS, J.L., FALLA-GUZMÁN, C.K., LUIS RODRÍGUEZ, J., FERNANDO-GARRIDO, J., MARTÍNEZ-ATENCIA, J. y AGUAYO-ULLOA, L., 2023. Reserva de carbono en sistemas silvopastoriles: Un estudio en el Medio Sinú, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, [en línea], vol. 34, no. 1, [consulta: 20 febrero 2025]. DOI 10.15517/am.v34i1.49138. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/49138>.



- MCGRODDY, M.E., LERNER, A.M., BURBANO, D.V., SCHNEIDER, L.C. y RUDEL, T.K., 2015. Carbon Stocks in Silvopastoral Systems: A Study from Four Communities in Southeastern Ecuador. *Biotropica* [en línea], vol. 47, no. 4, pp. 407-415. [consulta: 23 marzo 2026]. ISSN 1744-7429. DOI 10.1111/btp.12225. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/btp.12225>.
- MIHRETE, T.B. y MIHRETU, F.B., 2025. Crop Diversification for Ensuring Sustainable Agriculture, Risk Management and Food Security. *Global Challenges* [en línea], vol. 9, no. 2, pp. 2400267. [consulta: 20 febrero 2025]. ISSN 2056-6646. DOI 10.1002/GCH2.202400267. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/gch2.202400267>.
- MONTAGNINI, F. y NAIR, P.K.R., 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* [en línea], vol. 61-62, no. 1-3, pp. 281-295. [consulta: 3 agosto 2025]. ISSN 0167-4366. DOI 10.1023/B:AGFO.0000029005.92691.79/METRICS. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1023/B:AGFO.0000029005.92691.79>.
- MURGUEITIO, E., BARAHONA, R., FLORES, M.X., MAURICIO, R.M. y MOLINA, J.J., 2015. The intensive silvopastoral systems in Latin America sustainable alternative to face climatic change in animal husbandry Los Sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina alternativa sostenible para enfrentar el cambio climático en la ganadería. *Cuban Journal of Agricultural Science*, vol. 49, no. 4,
- MURGUEITIO, E., CALLE, Z., URIBE, F., CALLE, A. y SOLORIO, B., 2010. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. ElsevierE Murgueitio, Z Calle, F Uribe, A Calle, B SolorioForest Ecology and Management, 2011•Elsevier [en línea], [consulta: 3 agosto 2025]. DOI 10.1016/j.foreco.2010.09.027. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112710005591>.



OF LIFE, E., 2024. Global Wood Density Database [en línea]. agosto 2024. S.l.: Zenodo.
Disponibile en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13322441>.

OLIVA-CRUZ, M., LEIVA-TAFUR, D., JUAREZ-CONTRERAS, L., MAICELO
QUINTANA, J.L., PARIENTE, E. y CULQUI, L., 2025. Evaluation of tree diversity
of native species in silvopastoral systems in the northwestern Amazon region.
Trees, Forests and People [en línea], vol. 20, pp. 100821. [consulta: 3 agosto 2025].
ISSN 2666-7193. DOI 10.1016/J.TFP.2025.100821. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666719325000470>.

RIVERA, S.A.G., ORTIZ, M.G.A., SANGACHE, V.L.C., ANDRADE, J.A.C., TERAN,
J.E.L., LARA, J.C.B., BLACIO, M.V.F. y TOULKERIDIS, T., 2025. Silvopastoral
Systems: a Sustainable Livestock Farming Strategy for the Ecuadorian Amazon.
Journal of Lifestyle and SDGs Review, vol. 5, no. 3, pp. e04928. DOI
10.47172/2965-730x.sdgsreview.v5.n03.pe04928.

SCHEER, D., VENGHAUS, S., SARDO, S., STARK, S., KUPPLER, S., SCHMIDT, M.W. y
HOYER-KLICK, C., 2025. No easy way out: towards a framework concept of
long-term governance. Energy, Sustainability and Society [en línea], vol. 15, no.
1, pp. 1-22. [consulta: 20 febrero 2025]. ISSN 21920567. DOI 10.1186/S13705-025-
00513-3/FIGURES/2. Disponible en:
<https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-025-00513-3>.

TINOCO-JARAMILLO, L., VARGAS-TIERRAS, Y., PAREDES-ARCOS, F., VIERA, W.,
SUÁREZ-TAPIA, A., VARGAS-TIERRAS, T., SUÁREZ-CEDILLO, S.,
MORALES-LEÓN, V. y VÁSQUEZ-CASTILLO, W., 2024. Nutrient Contribution
and Carbon Sequestration of an Agroforestry System of Coffea canephora
Cultivated by Conventional and Organic Management in the Ecuadorian
Amazon. Forests [en línea], vol. 15, no. 5, pp. 807. [consulta: 20 febrero 2025].
ISSN 1999-4907. DOI 10.3390/F15050807. Disponible en:
<https://www.mdpi.com/1999-4907/15/5/807/htm>.



TORRES, B., BRAVO, C., TORRES, A., TIPÁN-TORRES, C., VARGAS, J.C., HERRERA-FEIJOO, R.J., HEREDIA-R, M., BARBA, C. y GARCÍA, A., 2022. Carbon Stock Assessment in Silvopastoral Systems along an Elevational Gradient: A Study from Cattle Producers in the Sumaco Biosphere Reserve, Ecuadorian Amazon. Sustainability [en línea], vol. 15, no. 1, pp. 449. [consulta: 20 febrero 2025]. ISSN 2071-1050. DOI 10.3390/SU15010449. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/1/449/htm>.

URETA-LEONES, D., ARTEGA-CRESPO, Y., GARCÍA-QUINTANA, Y. y ARELLANO-REINOSO, K., 2024. Respuesta fotosintética de *Guadua angustifolia* Kunth y *Bambusa vulgaris* Schrad. ex JC Wendl. a diferentes intensidades de luz. Revista Cubana de Ciencias Forestales, vol. 12, no. 3, pp. e869-e869. ISSN 2310-3469.

WALKLEY, A. y BLACK, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. [journals.lww.com](https://journals.lww.com/soilsci/citation/1934/01000/AN_EXAMINATION_OF_THE_DEGTJAREFF_METHOD_FOR.3.aspx) A Walkley, IA Black Soil science, 1934 • [journals.lww.com](https://journals.lww.com/soilsci/citation/1934/01000/AN_EXAMINATION_OF_THE_DEGTJAREFF_METHOD_FOR.3.aspx) [en línea], vol. 37, no. 1, pp. 29-38. [consulta: 4 agosto 2025]. ISSN 15389243. DOI 10.1097/00010694-193401000-00003. Disponible en: https://journals.lww.com/soilsci/citation/1934/01000/AN_EXAMINATION_OF_THE_DEGTJAREFF_METHOD_FOR.3.aspx.

YOON, H.J., ATSBHA, T.A., YOON, T., SHIN, D., AN, J., ZAREI, M., CHERIF, A., SUH, S. y LEE, C.J., 2025. Sustainable and feasible carbon capture and utilization pathways towards net-zero. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 211, pp. 115331. ISSN 1364-0321. DOI 10.1016/J.RSER.2025.115331.

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.





Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial
4.0 Internacional.

