Articulo de investigación

Árboles y carbono en silvopasturas del cantón Archidona, Amazonía ecuatoriana

Trees and carbon in silvopastoral systems of Archidona canton, Ecuadorian Amazon

Edison Samaniego Guzmán[1] https://orcid.org/0000-0003-1232-4611
Cristhian Tipán-Torres[2] https://orcid.org/0009-0002-6619-6213
Aracely Tapia Rojas[3] https://orcid.org/0009-0000-0298-2878
Emely Cedillo Saraguro[1] https://orcid.org/0009-0004-9353-4403
Bolier Torres Navarrete[1] https://orcid.org/0000-0002-9182-419X

[1]Universidad Estatal Amazónica – UEA | Pastaza – Ecuador | CP 160101
[2]Instituto Técnico Superior Ciudad de Valencia | Pueblo Viejo –Ecuador | 120201-Ochroma Consulting & Services | Tena – Ecuador | CP 150150
[3]Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Napo | Tena – Ecuador | CP 150150

esamaniego@uea.edu.ec

https://doi.org/10.26423/rctu.v13i1.1462
Páginas: 10- 18

Resumen

El presente estudio se desarrolló en sistemas ganaderos del cantón Archidona, donde los árboles dispersos en pastizales han sido conservados por decisión local. Estos árboles, relictos o en sucesión natural, fueron evaluados por su capacidad para almacenar carbono en paisajes productivos. El objetivo fue estimar el stock de carbono aéreo, identificar las especies más relevantes y analizar variables estructurales asociadas. Se instalaron siete parcelas circulares de 2.826 m^2 y se aplicaron ecuaciones alométricas para ecosistemas tropicales húmedos. Los árboles dispersos almacenaron en promedio 29,3 Mg de carbono por hectárea, y se encontró que cuatro especies aportaron más del 60 % del total de carbono acumulado. El área basal mostró una fuerte correlación con el contenido de carbono (R^2 = 0,91). Se concluyó que estos sistemas tienen potencial relevante para estrategias de restauración productiva y servicios ecosistémicos, con base en prácticas locales de conservación que pueden ser fortalecidas mediante políticas climáticas territoriales.

Palabras clave: Carbono arbóreo, especies funcionales, manejo silvopastoril, servicios ecosistémicos.

Abstract

This study was conducted in livestock systems in Archidona canton, where scattered trees in pastures have been locally conserved by landowners. These trees, either relics of primary forests or in natural succession, were evaluated for their capacity to store carbon in productive landscapes. The main objective was to estimate aboveground carbon stocks, identify the most relevant species, and analyze associated structural variables. Circular plots of 2,826 m^2 were established, and allometric equations calibrated for humid tropical ecosystems were applied. Scattered trees stored an average of 29.3 Mg of carbon per hectare, and four species contributed more than 60% of the total accumulated carbon. Basal area showed a strong correlation with carbon content (R^2 = 0.91). The findings suggest that these systems hold high potential for productive restoration strategies and ecosystem services, based on local conservation practices that can be enhanced through territorial climate policies.

Keywords: ecosystem services, functional species, silvopastoral management, Tree carbon.

Recepción: 12/12/2025 | Aprobación: 04/06/2026 | Publicación: 30/06/2026

1. Introducción

La transformación de bosques tropicales hacia sistemas ganaderos constituye uno de los principales procesos de cambio de uso del suelo en América Latina, con implicaciones directas sobre la pérdida de biomasa, la reducción de reservas de carbono y la alteración de funciones ecológicas del paisaje [1, 2]. En la Amazonía, la expansión ganadera ha contribuido significativamente a la fragmentación del bosque y a la disminución de la cobertura arbórea, reduciendo la capacidad de los ecosistemas para almacenar carbono y regular procesos climáticos [3]. Frente a este escenario, los sistemas silvopastoriles han sido reconocidos como una alternativa de manejo sostenible que permite integrar la producción pecuaria con funciones ecológicas, mediante la conservación o incorporación de árboles dentro de la matriz ganadera [4, 5].

Dentro de estos sistemas, los árboles dispersos en pastizales desempeñan un papel relevante en la provisión de servicios ecosistémicos, incluyendo el almacenamiento de carbono en biomasa aérea y subterránea [6]. Diversos estudios han demostrado que, aun cuando se presentan en bajas densidades, los árboles en potreros pueden concentrar una proporción importante del carbono del sistema, dependiendo principalmente de su tamaño estructural, densidad de madera y composición funcional de especies [7, 8]. En este sentido, la presencia de individuos de gran diámetro suele explicar una parte significativa del carbono almacenado, lo cual resalta la importancia de la estructura arbórea [5].

La contribución de los sistemas silvopastoriles al almacenamiento de carbono ha sido ampliamente documentada en regiones tropicales durante la última década. En particular, la integración de árboles en pastizales ha demostrado recuperar parcialmente las reservas de biomasa aérea perdidas tras la conversión del bosque [9, 10]. Estudios recientes en la Reserva de Biosfera Sumaco (RBS) evidencian que los sistemas silvopastoriles almacenan cantidades significativamente mayores de carbono en biomasa arbórea y suelo en comparación con pastizales sin árboles, con valores promedio cercanos a 31 Mg ha^{-1} de carbono aéreo arbóreo, destacando el papel de especies dominantes en la acumulación de biomasa [9].

En el contexto de sostenibilidad ganadera, estudios recientes en la Amazonía ecuatoriana muestran que la transición hacia sistemas productivos más sostenibles requiere integrar dimensiones ambientales, sociales y económicas [11], así como la implementación de buenas prácticas bajo enfoque REDD+ como la incorporación de árboles para reducir emisiones, mejorar el carbono del suelo y facilitar procesos de restauración productiva [12].

Variables como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y el área basal han demostrado ser predictores robustos de biomasa aérea y carbono en sistemas tropicales [5, 13, 14]. Sin embargo, en la Amazonía ecuatoriana aún existe limitada evidencia empírica sobre el almacenamiento de carbono en árboles dispersos dentro de pastizales [15], especialmente respecto al papel de las especies y atributos estructurales que explican la mayor proporción del carbono almacenado en sistemas ganaderos amazónicos [16]. Esta brecha limita el diseño de estrategias de manejo, restauración productiva y monitoreo del carbono basado en evidencia científica.

Por otra parte, el desarrollo de instrumentos de política climática y programas REDD+ requiere estimaciones verificables del carbono almacenado en sistemas productivos, incluyendo indicadores operativos que puedan ser aplicados en monitoreo técnico y participativo. Sin embargo, pocos estudios han evaluado la relación entre variables estructurales simples —como el diámetro a la altura del pecho y el área basal— y el carbono almacenado en árboles dispersos en pastizales bajo condiciones de manejo extensivo en la Amazonía ecuatoriana [17].

En este contexto, el presente estudio analiza el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de árboles dispersos en sistemas silvopastoriles del cantón Archidona, Amazonía ecuatoriana, donde los árboles han sido conservados como relictos del bosque original o mediante regeneración natural bajo manejo local. Específicamente, se buscó: **(a)** estimar el stock de carbono aéreo; **(b)** identificar las especies con mayor contribución al almacenamiento total de carbono; y **(c)** analizar la relación entre variables estructurales, particularmente el diámetro a la altura del pecho y el área basal, con el carbono almacenado, con el fin de proponer indicadores técnicos aplicables al monitoreo del carbono en sistemas ganaderos amazónicos.

2. Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se desarrolló en el cantón Archidona, ubicado en la provincia de Napo, dentro del área de influencia de la Reserva de Biósfera Sumaco (RBS). Esta zona presenta un rango altitudinal que varía entre 700 y 1 600 (msnm), con un paisaje que combina remanentes de bosque, pastizales y áreas agropecuarias (Figura 1). La actividad ganadera se introdujo principalmente durante la década de 1980, estableciéndose como un sistema de doble propósito (leche y carne), manejado por familias indígenas (kichwa, Quijos) y mestizas. Las razas bovinas predominantes en estos sistemas incluyen Brown Swiss, Brahman, Normande y Criolla, adaptadas a las condiciones húmedas y montañosas de la región. Los pastos dominantes en las áreas productivas son honey grass (*Setaria splendida*) y dallis (*Brachiaria decumbes*), mientras que el pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) tiene menor representación [18].

Las unidades ganaderas investigadas tienen un tamaño promedio de 62 hectáreas, de las cuales aproximadamente el 55 % corresponde a pastizales con árboles dispersos, conformando un sistema silvopastoril tradicional de baja intensidad que aún conserva especies arbóreas del bosque original [15]. Esta configuración productiva, integrada al mosaico del paisaje amazónico, ofrece oportunidades y desafíos importantes para la sostenibilidad, la restauración ecológica y la reconversión productiva.

© 2026 Derechos de autor: Samaniego E. | Tipán C. | Tapia A. | Cedillo E. | Torres B.

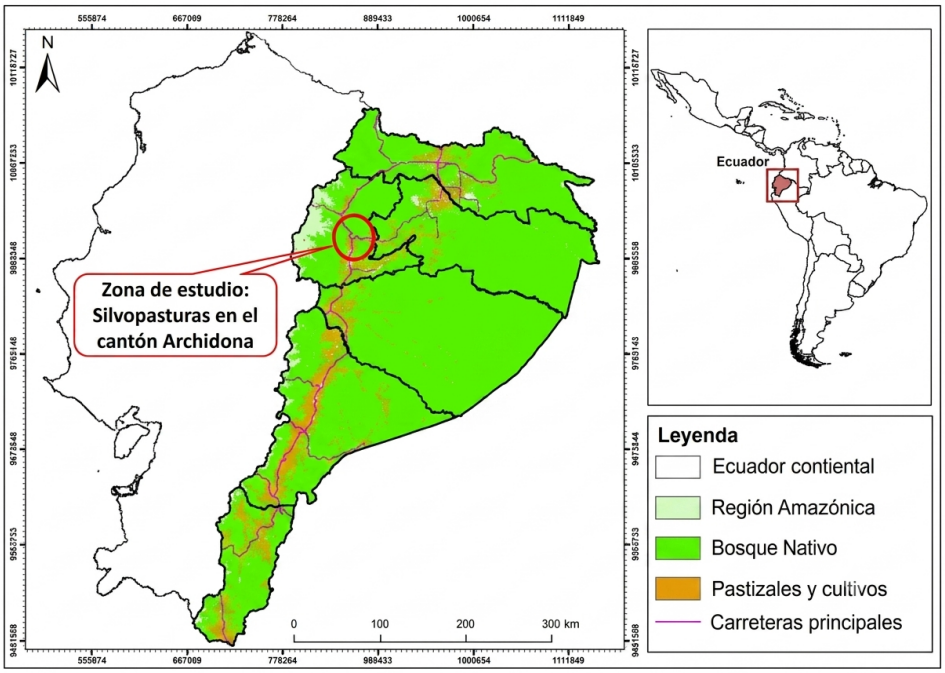

Figura 1: Mapa de la Amazonía ecuatoriana mostrando la zona de estudio

Selección de sitios y diseño del muestreo

La selección de los predios ganaderos se basó en criterios de representatividad y cobertura arbórea, considerando únicamente aquellas fincas con áreas de pastizales mayores o iguales a 0,5 hectáreas y que incluyeran al menos un parche con árboles dispersos con una cobertura de copa igual o superior al 10 %. Bajo estos criterios, se instalaron 7 parcelas temporales circulares de 2 826 m² (equivalente a 30 metros de radio), distribuidas en distintas fincas dentro del cantón Archidona (700–1 600 msnm). Las parcelas fueron establecidas exclusivamente en pastizales con árboles dispersos, con el fin de estimar la biomasa aérea y el carbono en sistemas silvopastoriles tradicionales.

Cuantificación de la biomasa arbórea y carbono

La biomasa sobre el suelo (BSS) almacenado en los árboles se estimó a partir de mediciones directas en los individuos vivos usando el diámetro a la altura del pecho (DAP ≥10 cm). Para el cálculo de la BSS, se empleó la ecuación alométrica desarrollada por Chave, J. *et al* [19], ajustadas para ecosistemas húmedos tropicales, las cuales han sido validadas en regiones con alta pluviosidad y estructura forestal heterogénea, utilizando la siguiente fórmula:

$$BSS = \sum \rho \exp\left(-1{,}499 + 2{,}148 \ln(DAP) + 0{,}207(\ln DAP)^2 - 0{,}0281(\ln(DAP))^3\right) \quad (1)$$

donde:
BSS es la biomasa sobre el suelo (kg), ρ es la densidad de la madera (g/cm³), DAP es el diámetro a la altura del pecho (cm).

La densidad de la madera (ρ) de cada especie, se obtuvo del Global Wood Density Database [20]. Con estos datos, se procedió al cálculo de la biomasa aérea seca por individuo. Posteriormente, el contenido de carbono fue estimado bajo el supuesto de que el 47 % de la biomasa seca corresponde a carbono orgánico, de acuerdo con las directrices para ecosistemas tropicales húmedos [21].

3. Resultados y Discusión

Estimación del stock de carbono en la biomasa de árboles

Los resultados mostraron diferencias estructurales entre parcelas silvopastoriles del cantón Archidona (Tabla 1). Las parcelas con mayor área basal (>9,7 m²/ha) registraron los mayores valores de biomasa y carbono arbóreo, mientras que aquellas con alta densidad de individuos y menor área basal presentaron menores valores de carbono, asociados principalmente a árboles de bajo diámetro [22]. Estos resultados evidencian que la presencia de árboles de mayor tamaño influye más en el almacenamiento de carbono que el número total de individuos [13, 23].

En promedio, los árboles dispersos en estas pasturas almacenan 29,33 Mg/ha de carbono en biomasa aérea [7], representando un aporte relevante para la mitigación del cambio climático y prestación de servicios ecosistémicos en paisajes ganaderos amazónicos [24, 25]. Los resultados muestran que parcelas con mayor área basal y presencia de árboles de gran diámetro presentan mayores niveles de carbono almacenado. Asimismo, se resalta la importancia de conservar especies arbóreas de rápido crecimiento y alto volumen maderable para incrementar el almacenamiento de carbono en sistemas productivos sin necesidad de modificar el uso del suelo [8].

Tabla 1: Estimación del stock de carbono en la biomasa aérea de árboles dispersos en parcelas silvopastoriles del cantón Archidona

Parcelas	Abundancia arbórea / (ha)	Área basal /(ha)	Biomasa arbórea (Mg/ha)	Carbono arbóreo (Mg/ha)
1	64	9,77	104,03	48,89
2	60	10,32	133,46	62,73
3	64	2,83	27,07	12,72
4	124	1,70	13,34	6,27
5	159	1,65	39,86	18,73
6	53	2,05	60,74	28,55
7	85	1,95	58,33	27,42
Promedio	**86,9**	**4,32**	**62,40**	**29,33**

Contribución del stock de carbono a nivel de especies arbóreas

El análisis revela que unas pocas especies arbóreas concentran la mayor parte del carbono almacenado en los sistemas silvopastoriles de Archidona Tabla 2. *Piptocoma discolor* y *Cordia alliodora* destacan notablemente, con 8,70 y 7,59 Mg/ha de carbono promedio respectivamente, lo que representa en conjunto el 55,51 % del total registrado. Aunque *P. discolor* es una especie pionera de rápido crecimiento y bajo valor comercial, su elevada abundancia promedio (16 individuos/ha) explica su liderazgo como principal sumidero de carbono. Por otro lado, *C. alliodora*, una especie maderable de alto valor, combina abundancia (12 individuos/ha) con elevado contenido de biomasa, lo que la posiciona como un componente estratégico tanto para mitigación climática como para integración productiva [4]. Especies con menor densidad, pero gran tamaño, como *Grias neuberthii*, *Ficus maxima* e *Inga edulis*, también aportan significativamente al carbono total, alcanzando entre 1,57 y 1,97 Mg/ha, a pesar de presentar menos de tres individuos por hectárea.

Esto refuerza la idea de que la composición funcional de las especies (longevidad, tasa de crecimiento, arquitectura de copa) tiene mayor influencia que la simple densidad en la configuración del stock de carbono [26]. En este sentido, la inclusión de especies generalistas como *Inga* spp., *Cedrela odorata* o *Sterculia tessmannii* también aporta a la resiliencia ecológica del sistema, al diversificar los mecanismos de captura de carbono y provisión de sombra, forraje y servicios culturales Tabla 2.

Tabla 2: Contribución del stock de carbono, promedio (ha) por especie arbórea en sistemas silvopastoriles del cantón Archidona

Nombre científico	Abundancia arbórea promedio (ha)	Carbono arbóreo (Mg/ha)	Biomasa arbórea (Mg/ha)	% Carbono arbóreo
Piptocoma discolor	16	8,70	18,50	29,65
Cordia alliodora	12	7,59	16,14	25,86
Grias neuberthii	2	1,97	4,20	6,73
Inga edulis	3	1,66	3,54	5,67
Ficus maxima	1	1,57	3,34	5,35
Inga spp.	5	1,50	3,19	5,12
Cedrela odorata	15	0,95	2,03	3,25
Sterculia tessmannii	1	0,90	1,92	3,08
Psidium guajava	10	0,76	1,61	2,58
Pouteria caimito	1	0,73	1,54	2,47
Protium nodulosum	1	0,59	1,25	2,00
Jacaranda copaia	2	0,58	1,23	1,97
Pourouma cecropiifolia	1	0,49	1,03	1,66
Cecropia membranacea	2	0,45	0,95	1,53
Nectandra spp.	5	0,44	0,93	1,50
Sapium glandulosum	2	0,22	0,47	0,76
Calophyllum brasiliense	1	0,08	0,18	0,28
Annona papilionella	1	0,04	0,07	0,12
Sloanea spp.	2	0,03	0,07	0,11
Wettinia maynensis	1	0,03	0,06	0,10
Nephelium lappaceum	2	0,02	0,05	0,08
Ocotea spp.	2	0,02	0,04	0,06
Iriartea deltoidea	1	0,01	0,03	0,05
Miconia spp.	1	0,01	0,02	0,03

© 2026 Derechos de autor: Samaniego E. | Tipán C. | Tapia A. | Cedillo E. | Torres B.

Los resultados demuestran un patrón típico de distribución tipo "cola larga", en donde pocas especies explican la mayor parte del carbono acumulado, mientras que la mayoría tiene contribuciones marginales (<2 Mg/ha). Este hallazgo es consistente con estudios realizados en otros paisajes amazónicos intervenidos [27], y tiene importantes implicaciones para la gestión. En primer lugar, se recomienda priorizar la conservación y el enriquecimiento de las especies con alto valor funcional y carbono acumulado. En segundo lugar, este patrón puede ser utilizado para diseñar estrategias de pagos por servicios ecosistémicos basados en el valor relativo de las especies, combinando criterios de carbono, biodiversidad y potencial socioeconómico. Finalmente, la presencia significativa de especies pioneras como *P. discolor* invita a revalorar su rol en paisajes ganaderos resilientes y productivos.

También se analizó la distribución entre el DAP y el carbono almacenado por árbol en las principales especies arbóreas de silvopasturas en Archidona. La Figura 2 ilustra la relación entre el diámetro a la altura del pecho (DAP) y el carbono promedio acumulado por árbol (Mg/árbol) en las especies más representativas de los sistemas silvopastoriles evaluados. Se observa que individuos de *C. alliodora* presenta los valores más altos tanto en DAP (hasta 105 cm) como en stock de carbono por árbol (6,07 Mg), seguida por *F. máxima* y *G. neuberthii*, lo que confirma su rol dominante en la provisión de servicios ecosistémicos relacionados con la captura de carbono. Aunque otras especies como *I. edulis* y *S. tessmannii* muestran DAP relativamente altos, su carbono promedio es menor, lo cual puede estar relacionado con diferencias en densidad de madera [28], forma del fuste o arquitectura del árbol.

La disminución del carbono almacenado a medida que disminuye el DAP refleja una relación estructural entre tamaño del árbol y su capacidad de acumulación de biomasa, aunque no necesariamente lineal. Algunas especies como *P. cecropiifolia* y *J. copaia* presentan valores intermedios de DAP pero bajo rendimiento en carbono, lo que resalta la importancia de considerar no solo el tamaño, sino también características anatómicas y ecológicas específicas de cada especie. Estos resultados refuerzan la necesidad de integrar criterios morfofuncionales en la selección de especies para estrategias de manejo silvopastoril [6], restauración productiva o compensación por servicios ambientales [8], priorizando aquellas que, además de adaptarse bien al sistema, maximicen la acumulación de carbono por individuo.

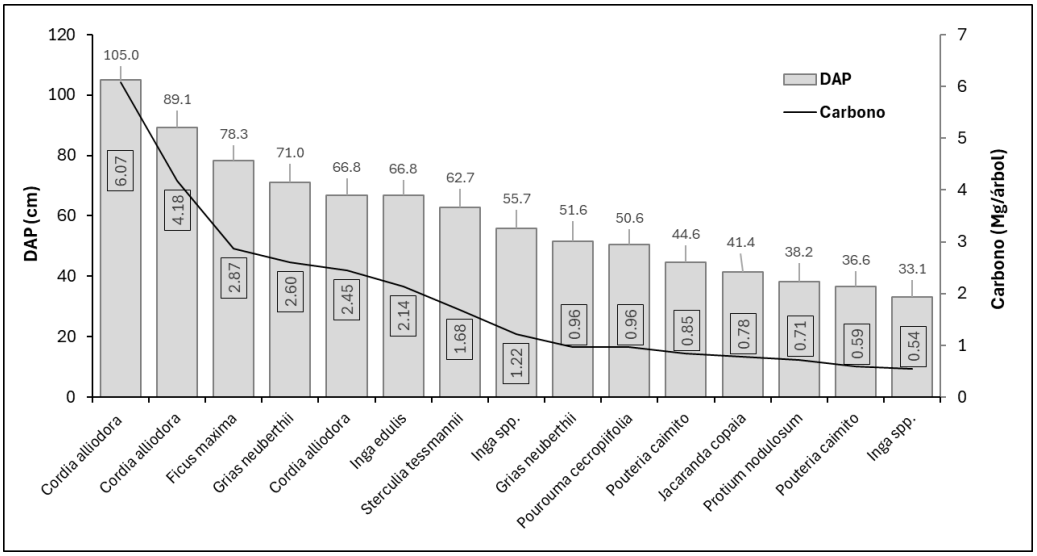

Figura 2: Relación entre el diámetro (DAP) y el carbono almacenado por árbol en las principales especies arbóreas de silvopasturas en Archidona

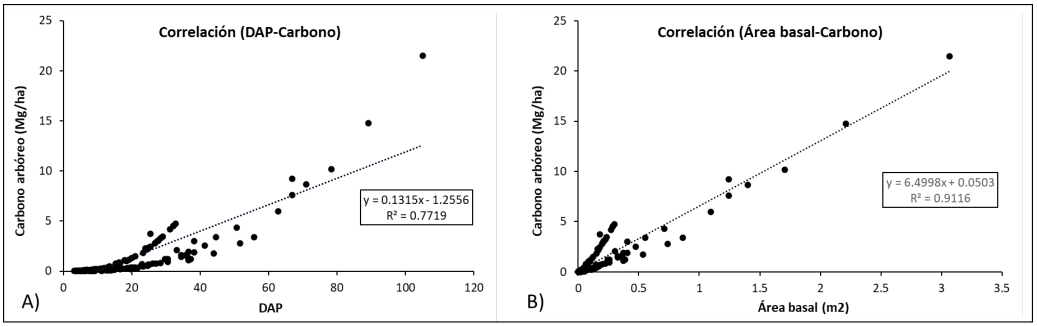

Figura 3: A) Relación entre el diámetro a la altura del pecho (DAP) y el carbono arbóreo (Mg/ha). B) Relación entre el área basal (m²) y el carbono arbóreo (Mg/ha)

Correlación del DAP y área basal con el carbono arbóreo en silvopasturas

Los resultados de la Figura 3 confirman que tanto el DAP como el área basal son variables estructurales significativamente correlacionadas con el carbono almacenado en árboles dispersos en sistemas silvopastoriles del cantón Archidona. En particular, el área basal mostró un coeficiente de determinación más alto ($R^2 = 0.9116$) que el DAP ($R^2 = 0.7719$), lo que sugiere que este parámetro es un predictor más robusto del contenido de carbono por unidad de superficie. Esta relación se alinea con lo reportado en ecosistemas tropicales de Latinoamérica [29], donde el área basal ha sido ampliamente utilizada como un indicador de biomasa aérea en inventarios forestales rápidos y monitoreo de carbono [6].

Desde una perspectiva funcional, la fuerte correlación entre estas variables refleja que los árboles de mayor tamaño [5], tanto en diámetro como en área basal, concentran la mayor parte del carbono en los paisajes ganaderos intervenidos, lo que sugiere un patrón de distribución desigual del carbono [1], lo cual tiene implicaciones directas para estrategias de conservación selectiva o enriquecimiento en sistemas productivos. Específicamente, mantener o fomentar la presencia de especies con alta acumulación de carbono, como *C. alliodora*, *F. máxima* o *G. neuberthii*, podría aumentar significativamente el potencial de mitigación climática de las pasturas sin comprometer su funcionalidad productiva.

Estos hallazgos son particularmente relevantes en el contexto de iniciativas de compensación por servicios ecosistémicos o programas REDD+, en los que se requiere establecer metodologías costo-efectivas para la estimación del carbono, especialmente en territorios donde los recursos técnicos y financieros son limitados. Además, el enfoque puede integrarse en esquemas de certificación ambiental, sistemas de trazabilidad o planes de manejo silvopastoril sostenible que reconozcan la importancia ecológica de los árboles dispersos dentro de la matriz ganadera amazónica.

4. Conclusiones

Los árboles dispersos en pastizales del cantón Archidona almacenaron en promedio 29,33 Mg/ha de carbono en biomasa aérea, evidenciando su importancia como componentes funcionales para la captura y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles amazónicos de baja intensidad.

Un número reducido de especies, principalmente *P. discolor* y *C. alliodora*, concentró más del 50 % del carbono total almacenado, lo que demuestra la relevancia de la composición y dominancia funcional de especies en la dinámica de carbono de estos sistemas.

Las variables estructurales, especialmente el DAP y el área basal, mostraron una alta relación con el carbono almacenado, constituyendo indicadores técnicos útiles para el monitoreo y estimación rápida de carbono en paisajes ganaderos amazónicos, con potencial aplicación en estrategias de restauración productiva y programas climáticos territoriales.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses financiero, institucional, profesional o personal que pudiera haber influido en los resultados o interpretaciones presentadas en este estudio.

Financiamiento

La presente investigación se desarrolló con recursos propios de los autores y en el marco de las actividades académicas y de investigación de la Universidad Estatal Amazónica (UEA), Ecuador. No se recibió financiamiento específico de agencias públicas, comerciales o entidades sin fines de lucro para la ejecución de este estudio.

Declaración sobre uso de inteligencia artificial generativa

Los autores declaran que las herramientas de inteligencia artificial generativa fueron utilizadas únicamente como apoyo para la revisión lingüística, corrección de estilo y mejora de la redacción del manuscrito. La conceptualización del estudio, recopilación y análisis de datos, interpretación de resultados, elaboración de figuras y conclusiones fueron realizadas íntegramente por los autores, quienes asumen plena responsabilidad sobre el contenido científico del artículo.

Declaración de disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los resultados de este estudio no se encuentran disponibles públicamente debido a acuerdos de confidencialidad con los propietarios de las fincas evaluadas. Sin embargo, podrán ser solicitados al autor de correspondencia mediante petición razonable y con fines exclusivamente académicos o científicos.

Contribuciones de los autores (Taxonomía CRediT)

Edison Samaniego (50 %) contribuyó en conceptualización, metodología, conducción de la investigación, análisis formal, visualización, redacción del borrador original, validación, revisión y edición del manuscrito. Cristhian Tipán-Torres (10 %) contribuyó con el trabajo de campo, curación de datos, validación de resultados, metodología, investigación de campo, recopilación de datos, curación de datos, revisión técnica y edición del manuscrito. Aracely Tapia (10 %) contribuyó trabajo con el trabajo de campo, curación de datos, validación de resultados, interpretación de la información, revisión crítica del manuscrito y aportes conceptuales relacionados con cambio climático y gestión ambiental. Emely Cedillo Saraguro (10 %) contribuyó en recopilación y organización de datos, apoyo en trabajo de campo, elaboración de figuras y tablas, revisión bibliográfica y revisión del manuscrito. Bolier Torres (20 %) contribuyó en conceptualización, metodología, supervisión, administración del proyecto, análisis de datos, validación de resultados, revisión crítica del manuscrito, edición científica y versión final del artículo.

5. Referencias

1. MALHI, Y.; CARAGÃO, L.; METCALFE, D.; PAIVA, R.; QUESADA, C.; ALMEIDA, S.; ANDERSON, L.; BRANDO, P.; CHAMBERS, J.; DA COSTA, A.; HUTYRA, L.; OLIVEIRA, P.; PATIÑO, S.; PYLE, E.; ROBERTSON, A. y TEIXEIRA, L. Comprehensive assessment

of carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. *Global Change Biology*. 2009, vol. 15, n.º 5, págs. 1255-1274. Disp. desde DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01780.x.

2. QUESADA, C.; PHILLIPS, O.; SCHWARZ, M.; CZIMCZIK, C.; BAKER, T.; PATIÑO, S.; FYLLAS, N.; HODNETT, M.; HERRERA, R.; ALMEIDA, S.; ALVAREZ, E.; ARNETH, A.; ARROYO, L.; CHAO, K.; DEZZEO, N.; ERWIN, T.; DI FIORE, A.; HIGUCHI, N.; HONORIO, E.; JIMENEZ, E.; KILLEEN, T.; LEZAMA, A.; LLOYD, G.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, G.; LUIZÃO, F.; MALHI, Y.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D.; NÚÑEZ, P.; PAIVA, R.; PEACOCK, J.; PEÑUELA, M.; PEÑA, A.; PITMAN, N.; PRIANTE, N.; PRIETO, A.; RAMÍREZ, H.; RUDAS, A.; SALOMÃO, R.; SANTOS, A.; SCHMERLER, J.; SILVA, N.; SILVEIRA, M.; VÁSQUEZ, R.; VIEIRA, I.; TERBORGH, J. y LLOYD, J. Basin-wide variations in Amazon forest structure and function are mediated by both soils and climate. *Biogeosciences* [online]. 2012, vol. 9, n.º 6, págs. 2203-2246 [Consulta: 18 abr. 2026]. Disp. desde DOI: 10.5194/bg-9-2203-2012.

3. ROJAS-DOWNING, M.; NEJADHASHEMI, A.; HARRIGAN, T. y WOZNICKI, S. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management* [online]. 2017, vol. 16, págs. 145-163 [Consulta: 27 oct. 2025]. Disp. desde DOI: 10.1016/j.crm.2017.02.001.

4. CHACÓN-LEÓN, M. y HARVEY, C. Reservas de biomasa de árboles dispersos en potreros y mitigación al cambio climático. *Agronomía Mesoamericana* [online]. 2020, vol. 24, n.º 1, págs. 17-26 [Consulta: 12 mayo 2026]. ISSN 2215-3608. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212013000100002.

5. POORTER, L. Y BONGERS, F. Y AIDE, T. Y ALMEYDA, A. Y BALVANERA, P. Y BECKNELL, J. Y BOUKILI, V. Y BRANCALION, P. Y BROADBENT, E. Y CHAZDON, R. Y CRAVEN, D. Y DE ALMEIDA-CORTEZ, J. Y CABRAL, G. Y DE JONG, B. Y DENSLOW, J. Y DENT, D. Y DEWALT, S. Y DUPUY, J. Y DURÁN, S. Y ESPÍRITO-SANTO, M. Y FANDINO, M. Y CÉSAR, R. Y HALL, J. Y HERNANDEZ-STEFANONI, J. Y JAKOVAC, C. Y JUNQUEIRA, A. Y KENNARD, D. Y LETCHER, S. Y LICONA, J. Y LOHBECK, M. Y MARÍN-SPIOTTA, E. Y MARTÍNEZ-RAMOS, M. Y MASSOCA, P. Y MEAVE, J. Y MESQUITA, R. Y MORA, F. Y MUÑOZ, R. Y MUSCARELLA, R. Y NUNES, Y. Y OCHOA-GAONA, S. Y DE OLIVEIRA, A. Y ORIHUELA-BELMONTE, E. Y PEÑA-CLAROS, M. Y PÉREZ-GARCÍA, E. Y PIOTTO, D. Y POWERS, J. Y RODRÍGUEZ-VELÁZQUEZ, J. Y ROMERO-PÉREZ, E. Y RUÍZ, J. Y SALDARRIAGA, J. Y SANCHEZ-AZOFEIFA, A. Y SCHWARTZ, N. Y STEININGER, M. Y SWENSON, N. Y TOLEDO, M. Y URIARTE, M. Y VAN BREUGEL, M. Y VAN DER WAL, H. Y VELOSO, M. Y VESTER, H. Y VICENTINI, A. Y VIEIRA, I. Y BENTOS, T. Y WILLIAMSON, G. Y ROZENDAAL, D. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature* [online]. 2016, vol. 530, n.º 7589, págs. 211-214 [Consulta: 18 abr. 2026]. Disp. desde DOI: 10.1038/nature16512.

6. FALLA-GUZMÁN, C. Y RODRÍGUEZ, J. Y FERNANDO-GARRIDO, J. Y MARTÍNEZ-ATENCIA, J. Y AGUAYO-ULLOA, L., Contreras-Santos, J. y. Reserva de carbono en sistemas silvopastoriles: Un estudio en el Medio Sinú, Colombia. *Agronomía Mesoamericana* [online]. 2023, vol. 34, n.º 1 [Consulta: 27 oct. 2026]. ISSN 1659-1321. Disp. desde DOI: 10.15517/am.v34i1.49138.

7. GAMARRA, C.; DÍAZ LEZCANO, M.; VERA DE ORTÍZ, M.; GALEANO, M. y CABRERA CARDÚS, A. Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* [online]. 2018, vol. 9, n.º 46 [Consulta: 27 oct. 2025]. Disp. desde DOI: 10.29298/rmcf.v9i46.134.

8. DÍAZ PABLO, M.; ALEGRE ORIHUELA, J.; GÓMEZ BRAVO, C.; MENDOZA, P. y ARÉVALO-HERNÁNDEZ, C. Reservas de carbono en tres sistemas silvopastoriles de la Amazonía peruana. *Manglar* [online]. 2024, vol. 21, n.º 3, págs. 305-311 [Consulta: 27 oct. 2025]. ISSN 2414-1046. Disp. desde DOI: 10.57188/manglar.2024.033.

9. TORRES, B.; BRAVO, C.; TORRES, A.; TIPÁN-TORRES, C.; VARGAS, J.; HERRERA-FEIJOO, R.; C.; BARBA, C. y GARCÍA, A. Carbon Stock Assessment in Silvopastoral Systems along an Elevational Gradient: A Study from Cattle Producers in the Sumaco Biosphere Reserve, Ecuadorian Amazon. *Sustainability* [online]. 2022, vol. 15, n.º 1, pág. 449 [Consulta: 18 abr. 2026]. ISSN 2071-1050. Disp. desde DOI: 10.3390/su15010449.

10. TORRES, B.; HERRERA-FEIJOO, R.; TORRES-NAVARRETE, A.; BRAVO, C. y GARCÍA, A. Tree Diversity and Its Ecological Importance Value in Silvopastoral Systems: A Study along Elevational Gradients in the Sumaco Biosphere Reserve, Ecuadorian Amazon. *Land*. 2024, vol. 13, n.º 3, pág. 281. Disp. desde DOI: 10.3390/land13030281.

11. MUÑOZ-RENGIFO, J.; POZO, J.; CHUMPI, P.; TORRES, A. y TORRES, B. Evaluación de la Sostenibilidad ganadera en la amazonia ecuatoriana: Casos, El Triunfo y Pablo Sexto. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*. 2025, vol. 12, n.º 1, págs. 34-44. Disp. desde DOI: 10.26423/rctu.v12i1.888.

12. JIMÉNEZ-TORRES, A. La diversidad mejora el almacenamiento de carbono en los bosques tropicales. *RECIMUNDO*. 2021, vol. 5, n.º 3, págs. 316-323. Disp. desde DOI: 10.26820/recimundo/5.(3).sep.2021.316-323.

13. CHAZDON, R.; LINDENMAYER, D.; GUARIGUATA, M.; CROUZEILLES, R.; REY, J. y LAZOS, E. Corrigendum: Fostering natural forest regeneration on former agricultural land through economic and policy interventions (2020 Environ. Res. Lett. 15 043002). *Environmental Research Letters* [online]. 2020, vol. 15, n.º 9, pág. 099501 [Consulta: 19 abr. 2026]. Disp. desde DOI: 10.1088/1748-9326/ab97cc.

14. BASTIN, J.; FINEGOLD, Y.; GARCIA, C.; MOLLICONE, D.; REZENDE, M.; ROUTH, D.; ZOHNER, C. y CROWTHER, T. The global tree restoration potential. *Science* [online]. 2019, vol. 365, n.º 6448, págs. 76-79 [Consulta: 19 abr. 2026]. ISSN 1095-9203. Disp. desde DOI: 10.1126/science.aax0848.

15. TORRES, B.; ESPINOZA, I.; TORRES, A.; HERRERA-FEIJOO, R.; LUNA, M. y GARCÍA, A. Livelihood Capitals and Opportunity Cost for Grazing Areas' Restoration: A Sustainable Intensification Strategy in the Ecuadorian Amazon. *Animals* [online]. 2023, vol. 13, n.º 4, pág. 714 [Consulta: 27 oct. 2025]. Disp. desde DOI: 10.3390/ani13040714.

16. TORRES, B.; HERRERA-FEIJOO, R.; TORRES-NAVARRETE, A.; BRAVO, C. y GARCÍA, A. Tree Diversity and Its Ecological Importance Value in Silvopastoral Systems: A Study along Elevational Gradients in the Sumaco Biosphere Reserve, Ecuadorian Amazon. *Land* [online]. 2024, vol. 13, n.º 3, pág. 281 [Consulta: 18 abr. 2026]. ISSN 2073-445X. Disp. desde DOI: 10.3390/land13030281.

17. TORRES, B.; ECHE, D.; TORRES, Y.; BRAVO, C.; VELASCO, C. y GARCÍA, A. Identification and Assessment of Livestock Best Management Practices (BMPs) Using the REDD+ Approach in the Ecuadorian Amazon. *Agronomy*. 2021, vol. 11, n.º 7, pág. 1336. Disp. desde DOI: 10.3390/agronomy11071336.

18. TORRES, B.; ANDRADE, A.; HEREDIA-R, M.; TOULKERIDIS, T.; ESTUPIÑÁN, K.; LUNA, M.; BRAVO, C. y GARCÍA, A. Productive Livestock Characterization and Recommendations for Good Practices Focused on the Achievement of the SDGs in the Ecuadorian Amazon. *Sustainability* [online]. 2022, vol. 14, n.º 17, pág. 10738 [Consulta: 27 oct. 2025]. ISSN 2071–1050. Disp. desde DOI: 10.3390/su141710738.

19. CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M. A.; CHAMBERS, J. Q.; EAMUS, D.; FÖLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J.; NELSON, B.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B. y YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* [online]. 2005, vol. 145, n.º 1, págs. 87-99 [Consulta: 8 sep. 2026]. ISSN 0029-8549. Disp. desde DOI: 10.1007/s00442-005-0100-x.

20. ZANNE, A.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; COOMES, D.; ILIC, J.; JANSEN, S.; LEWIS, S.; MILLER, R.; SWENSON, N.; WIEMANN, M. y CHAVE, J. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*. 2009, vol. 12, n.º 4, págs. 351-366. Disp. desde DOI: 10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x.

21. MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PORTNER, H.; ROBERTS, D.; SKEA, J.; SHUKLA, P.; PIRANI, A.; MOUFOUMA-OKIA, W.; PÉAN, C.; PIDCOCK, R.; CONNORS, S.; ROBIN, J.; FUNCIONARIO, Y.; ZHOU, X.; MAYCOCK EDITOR, T.; TIGNOR, M. y WATERFIELD, T. *Calentamiento global de 1,5°C. Informe especial del IPCC* [online]. Ginebra, Suiza: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019 [Consulta: 27 oct. 2025]. ISBN 978-92-9169-353-5.

22. JIMÉNEZ-TORRES, A. La diversidad mejora el almacenamiento de carbono en los bosques tropicales. *RECIMUNDO* [online]. 2021, vol. 5, n.º 3, págs. 316-323 [Consulta: 28 ago. 2024]. Disp. desde DOI: 10.26820/recimundo/5.(3).sep.2021.316-323.

23. CONTRERAS SANTOS, J.; MARTÍNEZ ATENCIA, J.; CADENA TORRES, J. y FALLAS GUZMÁN, C. Evaluación del carbono acumulado en suelo en sistemas

silvopastoriles del Caribe Colombiano. *Agronomía Costarricense* [online]. 2020, vol. 44, n.º 1, págs. 29-41 [Consulta: 27 oct. 2024]. ISSN 0377-9424. Disp. desde DOI: 10.15517/rac.v44i1.39999.

24. FELDPAUSCH, T. R. L.; BANIN, L.; PHILLIPS, O. L.; BAKER, T. R.; LEWIS, S. L.; QUESADA, C. A.; AFFUM-BAFFOE, K.; ARETS, E. J. M. M.; BERRY, N. J.; BIRD, M.; BRONDIZIO, E. S.; DE CAMARGO, P.; CHAVE, J.; DJAGBLETEY, G.; DOMINGUES, T. F.; DRESCHER, M.; FEARNSIDE, P. M.; FRANÇA, M. B.; FYLLAS, N. M.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; HLADIK, A.; HIGUCHI, N.; HUNTER, M. O.; IIDA, Y.; SALIM, K. A.; KASSIM, A. R.; KELLER, M.; KEMP, J.; KING, D. A.; LOVETT, J. C.; MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; LENZA, E.; MARSHALL, A. R.; METCALFE, D. J.; MITCHARD, E. T. A.; MORAN, E. F.; NELSON, B. W.; NILUS, R.; NOGUEIRA, E. M.; PALACE, M.; PATIÑO, S.; PEH, K. S.-H.; RAVENTOS, M. T.; REITSMA, J. M.; SAIZ, G.; SCHRODT, F.; SONKÉ, B.; TAEDOUMG, H. E.; TAN, S.; WHITE, L.; WÖLL, H. y LLOYD, J. Height-diameter allometry of tropical forest trees. *Biogeosciences* [online]. 2011, vol. 8, n.º 5, págs. 1081-1106 [Consulta: 19 abr. 2026]. ISSN 1726-4170. Disp. desde DOI: 10.5194/bg-8-1081-2011.

25. AVELLÁN, A.; BARRETO, E. y PERALTA, J. Carbono en biomasa aérea, sistema agroforestal de Theobroma cacao L. laboratorio natural, los laureles 2018. *Revista Universitaria del Caribe* [online]. 2020, vol. 24, n.º 1, págs. 98-106 [Consulta: 28 ago. 2024]. ISSN 2311-5807. Disp. desde DOI: 10.5377/ruc.v24i01.9914.

26. JOSE, S. y DOLLINGER, J. Silvopasture: a sustainable livestock production system. *Agroforestry Systems*. 2019, vol. 93, n.º 1, págs. 1-9. Disp. desde DOI: 10.1007/s10457-019-00366-8.

27. CASTAÑO, N.; CARDENAS, D. y OTAVO, E. *Ecología, aprovechamiento y manejo sostenible de nueve especies de plantas del departamento del Amazonas, generadoras de productos maderables y no maderables.* [online]. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "SINCHI", 2007 [Consulta: 27 oct. 2025]. Disponible en: www.sinchi.org.co.

28. MONTAGNINI, F.; NAIR, P. y MURGUEITIO, E. Carbon sequestration in silvopastoral systems and climate change mitigation. *Agroforestry Systems*. 2022, págs. 1285-1301. Disp. desde DOI: 10.1007/s10457-022-00723-0.

29. MUÑOZ, D.; NAVIA, J. y SOLARTE, J. *El conocimiento local en los sistemas Silvopastoriles tradicionales: Experiencias de investigación en la región andina* [online]. 2018. [Consulta: 27 oct. 2025]. Disp. desde DOI: 10.22267/lib.udn.003.

Artículo de **libre acceso** bajo los términos de una ***Licencia Creative Commons Reconocimiento – NoComercial – CompartirIgual 4.0 Internacional.*** Se permite que otros remezclen, adapten y construyan a partir de su obra sin fines comerciales, siempre y cuando se otorgue la oportuna autoría y además licencien sus nuevas creaciones bajo los mismos términos.