



## VARIACIÓN DEL CICLO DE CARBONO EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE *THEOBROMA CACAO*

### CARBON CYCLE VARIATION IN *THEOBROMA CACAO* AGROFORESTRY SYSTEMS

✉ MARÍA BEATRIZ AGUIRRE GÓMEZ\*, ✉ ARNALDO F. ÁLVAREZ BRITO, ✉ JOSÉ JESÚS MÁRQUEZ RIVERO, ✉ ALICIA MERCADET PORTILLO, ONIDIA CORREA MERCADET, ÁNGEL LUÍS LABORÍ GARCÍA

Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, La Habana, Cuba.

\*Autor para correspondencia. E-mail: [mariabeatrizaguirregomez@gmail.com](mailto:mariabeatrizaguirregomez@gmail.com)

#### RESUMEN

La evaluación del ciclo de carbono en sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* es crucial para promover estrategias de mitigación del cambio climático y sostenibilidad agrícola. Este estudio tuvo como objetivo analizar cómo la composición arbórea influye en la retención y remoción de carbono en un sistema agroforestal de cacao en Baracoa, Cuba. Se estableció una parcela de 500 m<sup>2</sup> donde se midieron diámetros y alturas de siete especies arbóreas (que incluye *Swietenia macrophylla*, *Cordia gerascanthus* y *Cedrela odorata*), también se calculó su biomasa y carbono almacenado mediante el sistema SUMFOR v-4.01. Los resultados mostraron que en 2018 el sistema retuvo 387.99 tC/ha, con mayores contribuciones de caoba de Honduras (64.52 tC/ha) y baria (58.93 tC/ha). La remoción promedio anual fue de 35.80 tC/ha/año (equivalente a 131.27 t CO<sub>2</sub>), destacándose el roble (*Tabebuia angustata*) con 11.67 tC/ha/año. Se concluyó que la diversidad arbórea incrementa la capacidad de almacenamiento y remoción de carbono, lo que respalda su inclusión en esquemas de pago por servicios ambientales. Estos sistemas agroforestales representan sumideros eficientes para mitigar emisiones y fortalecer la resiliencia climática.

**Palabras clave:** biomasa, mitigación, dosel, sumideros, servicios ecosistémicos

#### ABSTRACT

Carbon cycle assessment in *Theobroma cacao* agroforestry systems is crucial for promoting climate change mitigation strategies and agricultural sustainability. This study aimed to analyze how tree composition influences carbon sequestration and removal in a cacao agroforestry system in Baracoa, Cuba. A 500 m<sup>2</sup> plot was established, where the diameters and heights of seven tree species (including *Swietenia macrophylla*, *Cordia gerascanthus*, and *Cedrela odorata*) were measured, and their biomass and stored carbon were calculated using the SUMFOR v-4.01 system. The results showed that in 2018 the system retained 387.99 tC/ha, with the highest contributions from Honduran mahogany (64.52 tC/ha) and baria (58.93 tC/ha). The average annual removal was 35.80 tC/ha/year (equivalent to 131.27 t CO<sub>2</sub>), with oak (*Tabebuia angustata*) standing out with 11.67 tC/ha/year. It was concluded that tree diversity increases carbon storage and removal capacity, supporting their inclusion in payment for environmental services schemes. These agroforestry systems represent efficient sinks for mitigating emissions and strengthening climate resilience.

**Keywords:** biomass, mitigation, canopy, sinks, ecosystem services

Recibido: 17/8/2025

Aceptado: 10/10/2025

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

**Contribución de los autores:** **Conceptualización:** María Beatriz Aguirre Gómez, Arnaldo F. Álvarez Brito y José Jesús Márquez Rivero.

**Conservación de datos:** María Beatriz Aguirre Gómez y Ángel Luís Laborí García. **Análisis formal:** Arnaldo F. Álvarez Brito.

**Investigación:** María Beatriz Aguirre Gómez, José Jesús Márquez Rivero y Onidia Correa Mercadet. **Metodología:** Alicia Mercadet Portillo y Arnaldo F. Álvarez Brito. **Administración de proyecto:** María Beatriz Aguirre Gómez. **Supervisión:** María Beatriz Aguirre Gómez y José Jesús Márquez Rivero.

**Visualización:** María Beatriz Aguirre Gómez. **Redacción - revisión y edición:** María Beatriz Aguirre Gómez, José Jesús Márquez Rivero.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



## INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales son fundamentales para promover una producción agrícola sostenible, ya que combinan el cultivo de árboles con actividades agrícolas y pecuarias en un mismo espacio. Esta integración no solo optimiza el uso del suelo, sino que también mejora la fertilidad mediante la fijación de nitrógeno, el reciclaje de nutrientes y la reducción de la erosión. Además, los árboles proporcionan sombra y regulan el microclima, protegiendo los cultivos de condiciones climáticas extremas. Como resultado, los sistemas agroforestales incrementan la productividad a largo plazo y reducen la dependencia de insumos externos, como fertilizantes químicos, lo que los convierte en una alternativa clave para la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático (Tovar Zerpa & Rojas López, 2023).

Los sistemas agroforestales desempeñan un papel crucial en la conservación de la biodiversidad al imitar la estructura de los ecosistemas naturales. Al integrar árboles nativos, arbustos y cultivos, crean hábitats para una gran variedad de especies, desde polinizadores hasta aves y mamíferos. Esta diversidad biológica no solo fortalece la resiliencia de los agroecosistemas, sino que también contribuye al control natural de plagas y a la polinización de cultivos. Además, al reducir la necesidad de deforestar nuevas áreas para agricultura, estos sistemas ayudan a preservar los bosques y corredores ecológicos, por lo que mantiene servicios ambientales esenciales como la captura de carbono y la protección de cuencas hidrográficas. De esta manera, los sistemas agroforestales representan un modelo equilibrado entre producción y conservación, que beneficia tanto a las comunidades rurales como al medio ambiente (González et al., 2024).

El cambio climático constituye uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad en la actualidad (Arias Ortega & Rosales Romero, 2019). Se trata de un fenómeno global y creciente cuyos impactos negativos afectan tanto la salud pública como la disponibilidad de recursos hídricos y la productividad agroindustrial (Arteaga & Burbano, 2018). Su principal causa radica en el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (Kuosmanen et al., 2020; López-Santiago et al., 2019).

Los sistemas agroforestales (SAF) pueden contribuir a la mitigación del cambio climático a través de la remoción y el almacenamiento de carbono (Albrecht & Kandji, 2003). Estos sistemas representan una de las formas más importantes de producción alimentaria sostenible, ya que combinan árboles con otros cultivos (Villa et al., 2020). Su diversificación genera beneficios significativos en los ámbitos social, económico y ambiental (Asase & Tetteh, 2016).

En Cuba, los sistemas agroforestales (SAF) de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo sombra arbórea funcionan como sumideros de carbono. Sin embargo, no se han incluido en esquemas de pago por servicios ambientales debido, entre otros factores, a la escasa información cuantificada sobre su capacidad de almacenamiento y remoción de carbono.

Por ello, esta investigación tuvo como objetivo evaluar cómo la composición arbórea de un SAF de *Theobroma cacao* L. en Baracoa, provincia de Guantánamo, influye en la remoción de CO<sub>2</sub> y en la cantidad de carbono retenido.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se basó en mediciones de diámetro a 1,30 m del suelo y altura total de siete especies, evaluadas en una finca agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.). Esta finca pertenece a la UBPC Manuel Velázquez, ubicada en la zona de Paso de Cuba del Consejo Popular Sabanilla, municipio Baracoa, provincia Guantánamo. Las evaluaciones se realizaron entre los años 2017 y 2018, en coordenadas 20°14'44"N y 74°27'29"O (Figura 1).

Para el muestreo, se estableció una parcela temporal de 500 m<sup>2</sup> (20 × 25 m), donde se realizó un inventario de todas las especies arbóreas presentes. Cada árbol fue contado, marcado e identificado, y se recolectaron muestras de hojas, flores y madera. La identificación taxonómica se verificó mediante el *Catálogo de la Vida* (*The Catalogue of Life*, s. f.) y el herbario del Instituto de Investigaciones Agroforestales. Las especies evaluadas incluyeron cacao (*Theobroma cacao* L.; 824 plantas), baria (*Cordia gerascanthus* L.; 26 plantas), caoba de Honduras (*Swietenia macrophylla* King; 29 plantas), cedro (*Cedrela odorata* L.; 26 plantas), najesi (*Carapa guianensis* Aubl; 29 plantas), piñón florido (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth; 68 plantas) y roble (*Tabebuia angustata* Britton; 29 plantas).

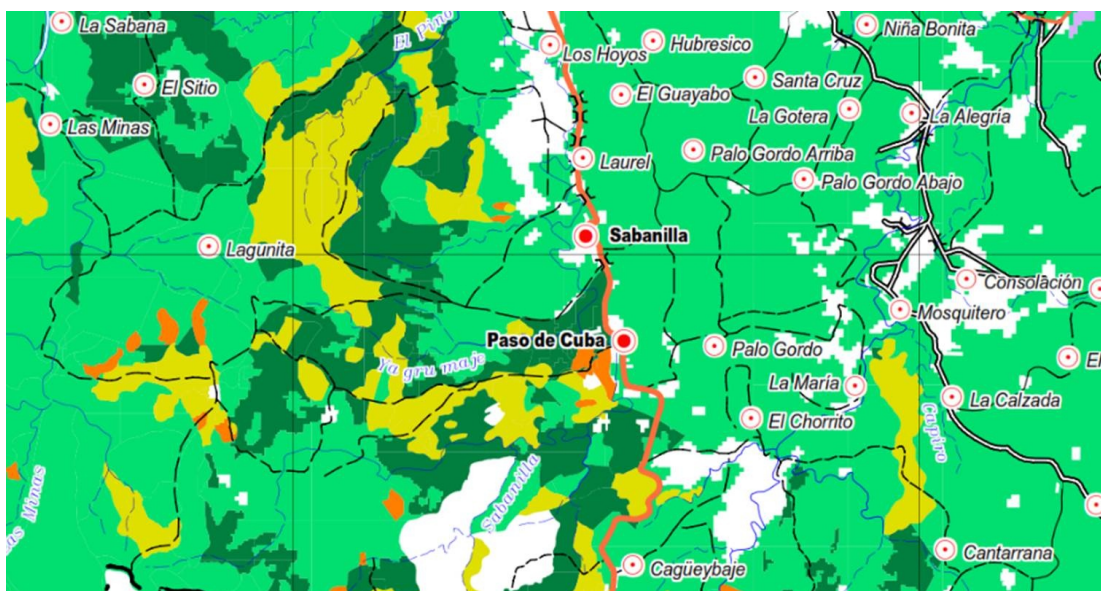
En este trabajo se utilizaron los datos de las evaluaciones realizadas durante los años 2017 y 2018. La información recopilada se transfirió al sistema LPT (Libro de Parcelas del Tenente), basado en Excel y ajustado a la Norma Ramal 595 (MINAGRI, 1982). Este sistema selecciona automáticamente el coeficiente de forma y el modelo para calcular el volumen total (m<sup>3</sup>) y el rendimiento de madera (m<sup>3</sup>/ha) en el área de estudio.

Con el volumen y la superficie por especie, el sistema SUMFOR v-4.01 calcula la biomasa seca de fuste, la biomasa aérea y la biomasa total. Además, mediante el coeficiente de carbono, determina la existencia de carbono (tC) por especie y el total de la parcela. También estima la retención relativa (tC/ha) y la retención relativa por depósito (biomasa, necromasa y suelo) como porcentajes del total (Mercadet et al., 2020).

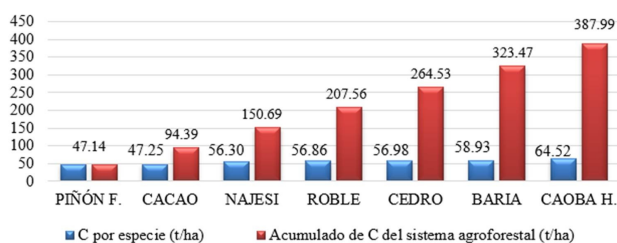
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Carbono retenido

El sistema agroforestal con cacao en el segundo año de evaluación (2018) retuvo un total de 387.99 tC/ha. Las especies que más contribuyeron fueron caoba de Honduras, baria, cedro y roble, con retenciones de 64.52, 58.93, 56.98 y 56.86 tC/ha, respectivamente (Figura 2).



**Figura 1.** Ubicación de la Zona de Paso de Cuba del Consejo Popular Sabanilla, en el municipio Baracoa, provincia de Guantánamo, donde se realizaron las evaluaciones.



**Figura 2.** Acumulado de carbono por especie y del sistema agroforestal.

La acumulación de carbono en el sistema agroforestal depende en gran medida de la estructura arbórea y la composición florística (Asase & Tetteh, 2015; Andrade-Castañeda et al., 2017; Paipa & Triana, 2021). La composición del dosel en estos sistemas está influenciada por la necesidad de sombra para los árboles de cacao (Villa et al., 2020). Según Vaast & Somarriba (2014) y Jiménez Ruiz et al. (2019), un dosel diverso y ecológicamente complejo favorece la captura y el almacenamiento de carbono.

Los resultados de este estudio contrastan con los de Salvador-Morales et al. (2019), quienes informaron que las especies de sombra en cacao acumularon entre 25 y 30 tC/ha. Esta diferencia puede atribuirse a factores como la composición de especies y las condiciones ambientales.

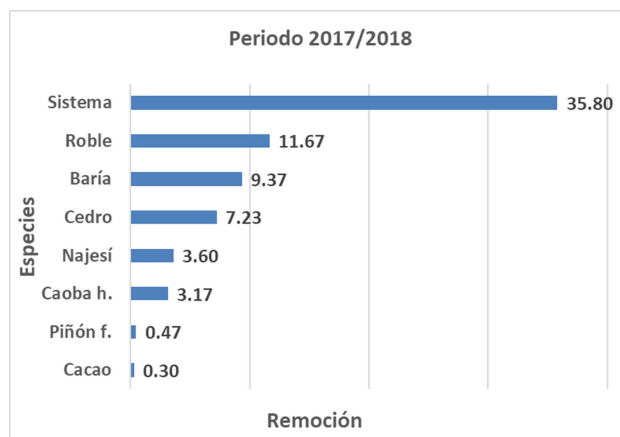
### Remoción de carbono

El sistema agroforestal removió un promedio de 35.80 tC/ha/año durante los dos años evaluados, lo que equivale a 131.27 t de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Las especies con mayor eficiencia en remoción fueron roble, baria, cedro y najesí, con tasas de 11.67, 9.37, 7.23 y 3.60 tC/ha/año, respectivamente (Figura 3).

Todas las especies evaluadas funcionan como almacenes de carbono, lo que las convierte en una estrategia clave para la conservación y la reducción de CO<sub>2</sub>. De acuerdo con Nowak et al. (1998), los árboles proporcionan un doble beneficio: almacenan carbono directamente y compensan las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el uso de combustibles fósiles.

Estos resultados respaldan la idea ampliamente aceptada de que los bosques actúan como sumideros naturales de carbono (Brown, 2002). Así, se confirma la relevancia de las especies forestales por su capacidad para remover y retener carbono de manera efectiva.



**Figura 3.** Remoción por especie y total del sistema (tC/ha/a).

## CONCLUSIONES

1. El sistema agroforestal remueve 35.80 tC/ha/año (131.27 t CO<sub>2</sub>), donde el roble, la baria y el cedro las especies más eficientes. Los árboles no solo almacenan carbono, sino que mitigan emisiones de combustibles fósiles, reforzando su papel como sumideros naturales clave en estrategias de conservación climática.
2. El enriquecimiento de la composición de especies arbóreas de los sistemas agroforestales de cacao influye positivamente sobre la cantidad retenida de carbono y la remoción de CO<sub>2</sub>, lo que constituye una oportunidad a futuro para el pago del servicio ambiental y la emisión de créditos de carbono.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albrecht, A., & Kandji, S. T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99(1), 15-27. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00138-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00138-5)
- Andrade-Castañeda, H. J., Segura-Madrigal, M. A., Canal-Daza, D. S., Huertas-Gonzales, A., & Mosos-Torres, C. A. (2017). Composición florística y reservas de carbono en bosques ribereños en paisajes agropecuarios de la zona seca del Tolima, Colombia. *Rev. biol. trop.*, 65(4), 1245-1260.
- Arias Ortega, M. Á., & Rosales Romero, S. (2019). Educación ambiental y comunicación del cambio climático. Una perspectiva desde el análisis del discurso. *Revista mexicana de investigación educativa*, 24(80), 247-269.
- Arteaga, L. E., & Burbano, J. E. (2018). Efectos del cambio climático: Una mirada al Campo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 79-91.
- Asase, A., & Tetteh, D. (2015). Tree Diversity, Carbon Stocks, and Soil Nutrients in Cocoa-Dominated and Mixed Food Crops Agroforestry Systems Compared to Natural Forest in Southeast Ghana. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1110223>
- Asase, A., & Tetteh, D. A. (2016). Tree diversity, carbon stocks, and soil nutrients in cocoa-dominated and mixed food crops agroforestry systems compared to natural forest in southeast Ghana. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(1), 96-113. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1110223>
- Brown, S. (2002). Measuring carbon in forests: Current status and future challenges. *Environmental pollution*, 116(3), 363-372.
- González, C. E. V., Lojka, B., & Cardona, C. E. A. (2024). Agroforestería para la conservación de la biodiversidad en América Latina.: Una revisión sistemática. *Revista de Investigación y Proyección Eutopía*, 1, 1-25.
- Jiménez Ruiz, E. R., Fonseca González, W., & Pazmiño Pesantez, L. (2019). Sistemas Silvopastoriles y Cambio climático: Estimación y predicción de Biomasa Arbórea. *La Granja*, 29(1), 44-55. <https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.04>
- Kuosmanen, T., Zhou, X., & Dai, S. (2020). How much climate policy has cost for OECD countries? *World Development*, 125, 104681. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104681>
- López-Santiago, J. G., Casanova-Lugo, F., Villanueva-López, G., Díaz-Echeverría, V. F., Solorio-Sánchez, F. J., Martínez-Zurimendi, P., Aryal, D. R., & Chay-Canul, A. J. (2019). Carbon storage in a silvopastoral system compared to that in a deciduous dry forest in Michoacán, Mexico. *Agroforestry Systems*, 93(1), 199-211. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0259-x>
- Mercadet, A., Álvarez, A. F., & Ajete, A. (2020). La mitigación del cambio climático y el sector forestal cubano. *Instituto de investigaciones agroforestales*.
- MINAGRI. (1982). *Norma Ramal Agrícola NRAG 595. Tratamientos Silviculturales*.
- Nowak, D. J., McHale, P. J., Ibarra, M., Crane, D., Stevens, J. C., & Luley, C. J. (1998). Modeling the Effects of Urban Vegetation on Air Pollution. En S.-E. Gryning & N. Chaumerliac (Eds.), *Air Pollution Modeling and Its Application XII* (pp. 399-407). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9128-0\\_41](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9128-0_41)
- Paipa, N. A. P., & Triana, M. A. T. (2021). *Estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea de un bosque húmedo tropical en Paimadó, Chocó*. Revista Ingenierías USBMed. <https://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/3180>
- Salvador-Morales, P., Cámara-Cabrales, L. del C., Martínez-Sánchez, J. L., Sánchez-Hernandez, R., Valdés-Velarde, E., Salvador-Morales, P., Cámara-Cabrales, L. del C., Martínez-Sánchez, J. L., Sánchez-Hernandez, R., & Valdés-Velarde, E. (2019). Diversidad, estructura y carbono de la vegetación arbórea en sistemas agroforestales de cacao. *Madera y bosques*, 25(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511638>
- The Catalogue of Life version 2022*. (s. f.). [www.catalogueoflife.org](http://www.catalogueoflife.org). Recuperado 11 de marzo de 2025, de <https://www.catalogueoflife.org/>
- Tovar Zerpa, F. G., & Rojas López, J. J. (2023). La trilogía “sistemas agroforestales-agroecología-agricultura familiar”: Una referencia válida para la transformación de los sistemas alimentarios agroindustriales. *Agroalimentaria Journal-Revista Agroalimentaria*, 28(55), 231-242.
- Vaast, P., & Somarriba, E. (2014). Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: The role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agroforestry Systems*, 88(6), 947-956. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9762-x>
- Villa, P. M., Martins, S. V., de Oliveira Neto, S. N., Rodrigues, A. C., Hernández, E. P., & Kim, D.-G. (2020). Policy forum: Shifting cultivation and agroforestry in the Amazon: Premises for REDD+. *Forest Policy and Economics*, 118, 102217.