



EVALUACIÓN DEL CICLO DEL CARBONO A PARTIR DE SU CAPTURA EN BIOMASA, NECROMASA Y SUELO DE BOSQUES DEL CORREDOR XEROFÍTICO EN SAN ANTONIO DEL SUR E IMÍAS

ASSESSMENT OF THE CARBON CYCLE BASED ON ITS CAPTURE IN BIOMASS, NECROMASS, AND SOIL OF FORESTS IN THE XEROPHYTIC CORRIDOR IN SAN ANTONIO DEL SUR AND IMÍAS

ADELA FRÓMETA COBAS^{1*}, ARNALDO FABIÁN ÁLVAREZ BRITO²,
ELIZABETH ISAAC ALEMÁN³, MARTA BONILLA VICHOT⁴

¹Unidad Científico Tecnológica de Base Estación Experimental Agro-Forestal Baracoa, Cuba.

²Instituto de Investigaciones Agroforestales, Cuba.

³Universidad de Oriente, Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Cuba

⁴Universidad de Pinar del Río, Cuba.

*Autor para correspondencia: frometaadela@gmail.com

RESUMEN

Los bosques xerofíticos desempeñan un papel crucial en la mitigación del cambio climático debido a su capacidad para capturar y almacenar carbono atmosférico. El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar el carbono capturado en los depósitos de biomasa, necromasa y suelo en bosques de los municipios San Antonio del Sur e Imías, provincia Guantánamo, como contribución a la reducción del efecto invernadero. Para ello, se caracterizó el patrimonio forestal durante el período 2016-2021 y se utilizó el sistema automatizado SUMFOR versión 4.02 para calcular las existencias de carbono y las remociones anuales. Los principales resultados mostraron que los bosques naturales mantuvieron una superficie constante de 11 020 ha, mientras que los bosques artificiales aumentaron un 9 %. El depósito edáfico constituyó el principal reservorio de carbono, con una tendencia creciente sostenida, lo que supera ampliamente a la biomasa y la necromasa en ambos tipos de bosques. Las existencias totales de carbono en los bosques naturales alcanzaron 2 458 450,93 t en 2021, muy superiores a las de los bosques artificiales. Sin embargo, en 2017 se registró una emisión neta de carbono en los bosques naturales debido al impacto del huracán Matthew, lo que evidenció la vulnerabilidad de estos ecosistemas ante eventos climáticos extremos. Se concluyó que los bosques naturales xerofíticos constituyen el sumidero de carbono más importante de la región y que el suelo es el depósito fundamental en el ciclo del carbono, por lo que se recomienda implementar estrategias de manejo adaptativo que fortalezcan su resiliencia.

Palabras clave: reservorio, secuestro, edáfico, semiárido, perturbación

ABSTRACT

Xerophytic forests play a crucial role in mitigating climate change due to their capacity to capture and store atmospheric carbon. This study was conducted to evaluate the carbon captured in biomass, necromass, and soil deposits in forests of the municipalities of San Antonio del Sur and Imías, Guantánamo province, as a contribution to reducing the greenhouse effect. To this end, the forest heritage was characterized during the period 2016-2021, and the SUMFOR automated system, version 4.02, was used to calculate carbon stocks and annual removals. The main results showed that natural forests maintained a constant area of 11,020 ha, while planted forests increased by 9%. Soil deposits constituted the main carbon reservoir, with a sustained increasing trend, significantly surpassing biomass and necromass in both forest types. Total carbon stocks in natural forests reached 2,458,450.93 t in 2021, significantly higher than those in planted forests. However, in 2017, a net carbon emission was recorded in natural forests due to the impact of Hurricane Matthew, highlighting the vulnerability of these ecosystems to extreme weather events. It was concluded that xerophytic natural forests constitute the most important carbon sink in the region and that soil is the fundamental reservoir in the carbon cycle. Therefore, it is recommended to implement adaptive management strategies that strengthen their resilience.

Keywords: reservoir, sequestration, soil, semi-arid, disturbance

Recibido: 03/1/2026

Aceptado: 11/3/2026

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de intereses.



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 bosques son fundamentales para mitigar el cambio climático, ya que absorben el dióxido de carbono (CO_2) del aire, almacenan más de la mitad de las reservas mundiales de carbono en los suelos y la vegetación y regulan las precipitaciones. Si se gestionan de forma sostenible, estos también son una fuente de materias primas renovables, lo que ayuda a construir una economía que permite que la naturaleza se regenere (FAO 2024). Las dos principales vías para desacelerar el calentamiento del planeta son la disminución de emisiones y el aumento de la fijación de CO_2 . En el caso de los bosques, debido a la gran cantidad de biomasa acumulada, estos constituyen una de las más grandes reservas y sumideros de carbono (Romaniuk et al. 2023).

El estudio del ciclo del carbono en las zonas áridas es prioritario para entender las consecuencias del incremento acelerado de la concentración de CO_2 en la atmósfera, así como para diseñar estrategias para reducir sus emisiones y mitigar el cambio climático global. Los bosques de estas zonas cubren cerca del 50 % de áreas de los bosques tropicales y subtropicales y son esenciales para los medios de vida y bienestar de millones de los habitantes más pobres del planeta (Briones, 2017). Los bosques secos a nivel global constituyen una parte importante para el secuestro del carbono. Estos son globalmente extensos; sin embargo, son poco estudiados a pesar de su gran importancia y de los servicios ambientales que proveen, como la captura de carbono y la conservación de biodiversidad (Luna Florín et al. 2021).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2021) informó que las concentraciones de los principales gases de efecto invernadero siguieron aumentando en 2019 y 2020. El promedio mundial de las fracciones molares de dióxido de carbono (CO_2) ya ha superado las 410 partes por millón (ppm), y si se mantiene la tendencia de la concentración de CO_2 de los años anteriores, podría alcanzar o superar las 414 ppm en 2021. El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2021) señala que la desaceleración de la economía redujo temporalmente las nuevas emisiones de gases de efecto invernadero, pero no tuvo impacto tangible en las concentraciones atmosféricas.

El enfrentamiento al cambio climático constituye una alta prioridad para Cuba debido a su gran vulnerabilidad al cambio climático global. Esta vulnerabilidad deriva de su condición de pequeño estado insular en desarrollo situado en la región tropical del planeta (República de Cuba, 2015).

En tal sentido, el Sistema de Medición, Reporte, Monitoreo y Verificación de Carbono (MRMV) Álvarez (2018) constituye una contribución del Grupo Agroforestal al

cumplimiento de las Decisiones de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Son dos las estrategias para afrontar el cambio climático: la mitigación y la adaptación. La primera está relacionada con la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y con la absorción de estos a través de la captura biológica por los llamados sumideros. En este contexto, los bosques desempeñan un papel clave en relación con el CO_2 , Álvarez et al. (2011). En Cuba se presta especial atención al elemento de la mitigación, aunque el país no es un gran contribuyente a las emisiones de GEI a la atmósfera. La identificación de los potenciales de mitigación, así como el diseño y la evaluación de opciones específicas en este campo, constituyen importantes acciones encaminadas al desarrollo socioeconómico del país.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el carbono capturado por depósitos (Biomasa, Necromasa y Suelo) como componentes fundamentales del ciclo de carbono en bosques en condiciones xerofíticas de los municipios San Antonio del Sur e Imías de la provincia Guantánamo. Dicha evaluación se concibe como una contribución de los ecosistemas forestales a la reducción del efecto invernadero y a la estabilización del cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área objeto de estudio

Ubicación geográfica

El área de estudio se ubica en la vertiente sur del territorio guantanamero. Sus límites físico-geográficos son: al norte los municipios Yateras y Baracoa, al sur el municipio Caimanera y el mar Caribe, al este el municipio Maisí y al oeste los municipios Manuel Tames y Yateras (Figura 1).

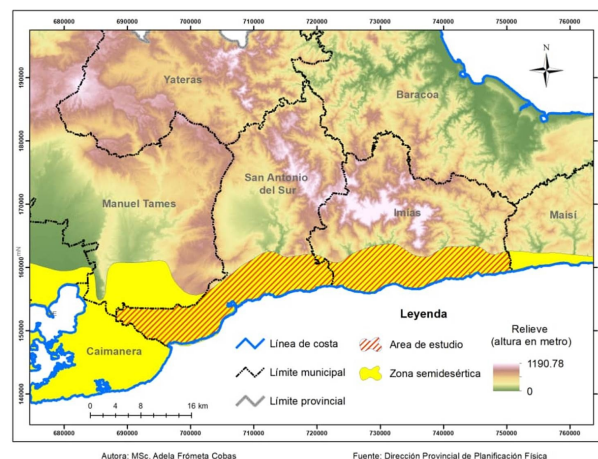


Figura 1. Ubicación geográfica de área objeto de estudio.

Clima, temperatura, precipitación y suelos

Según la clasificación de Koppen, el clima es Tropical de estepas o Semiárido (Bs) y resulta relativamente seco con pocas lluvias. La temperatura media anual fluctúa entre los 22 y los 26 grados Celsius °C. La precipitación anual alcanza los 978,3 mm. Aproximadamente el 30% de estas precipitaciones ocurre en el período invernal y el restante 70% en el verano (INRH, 2021a). Los suelos son mayormente esqueléticos según Hernández et al. (2015) (Figura 2). Existen también, en menor medida, suelos Pardos con carbonatos y Aluviales, entre otros, según el Proyecto de Organización y Desarrollo de la Economía Forestal realizado para el periodo 2008-2018 (Barbón et al., 2008).

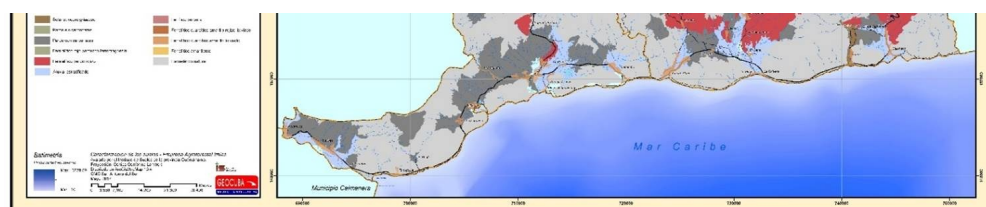


Figura 2. Suelos presentes en el área de estudio. Fuente: GeoCuba Grupo Empresarial. Autor: Adela Frómeta Cobas.

Patrimonio forestal

Los municipios Imías y San Antonio del Sur cuentan con un patrimonio forestal en la zona xerofítica de 8441,9 y 5308,3 ha respectivamente. El área total de este patrimonio alcanza las 13750,2 ha (Servicio Estatal Forestal, 2021). La caracterización del patrimonio forestal de los bosques de esta zona incluyó los bosques naturales, los bosques artificiales o plantados establecidos y los bosques artificiales en desarrollo con el área total en hectárea. Como fuente de información se utilizó la Dinámica Forestal correspondiente a los años evaluados (2016 -2021) (Servicio Estatal Forestal, 2021).

Para el análisis del carbono capturado por los bosques en los depósitos (Biomasa, necromasa y suelo) correspondientes a los años valorados se utilizó la versión 4,02 del sistema automatizado SUMFOR (Álvarez et al., 2019). Este sistema considera el carbono retenido en todos los depósitos y en todos los componentes (bosques naturales, artificiales o plantados, artificiales o plantados en desarrollo, área por reforestar y área inforestal).

Este programa fue elaborado sobre un libro de Excel, aplicación del sistema Office. El programa incluye entre sus objetivos, a partir de un conjunto de datos iniciales, el cálculo de los siguientes parámetros: el rendimiento de madera (m³/ha) y la retención de carbono (tC/ha) durante el año base, correspondiente al patrimonio forestal evaluado.

RESULTADOS

Caracterización del patrimonio forestal zona xerofítica de los municipios San Antonio del Sur e Imías

Se realizó la caracterización del patrimonio forestal en el período 2016-2021 (Tabla 1). Se observó que los bosques naturales mantuvieron su superficie de manera constante, lo cual refleja una estabilidad ecológica atribuible a prácticas de conservación sostenida y a su resiliencia frente a eventos extremos. En contraste, las áreas de bosques artificiales o plantados experimentaron un crecimiento de 171,4 ha, equivalente al 9 % del total de superficie forestal hasta el año 2021. Este incremento fue posible gracias a acciones de

manejo como la recuperación de áreas afectadas, que incluyeron labores de limpia, reconstrucción de bosque y enriquecimiento, tal como señalan Mercadet et al. (2020a). Estos autores afirman que el aumento de la superficie cubierta de bosques está directamente relacionado con una mayor capacidad de remoción de carbono atmosférico. No obstante, los factores que originan estos cambios no son homogéneos, y dependen de la edad del bosque, su estructura y las condiciones climáticas locales (Mercadet et al., 2020b).

En este sentido, Frómeta et al. (2023) destacan que los bosques naturales en condiciones xerofíticas de Guantánamo presentan una mayor retención de carbono (181,53 tC/ha) que los artificiales (179,27 tC/ha). Este resultado refuerza la importancia de conservar estas formaciones estables frente a perturbaciones climáticas. Además, el estudio proyecta que para 2028 los bosques naturales contribuirán con el 69 % del aumento total de carbono retenido. Ello evidencia su papel estratégico en la mitigación del cambio climático.

Por otro lado, las plantaciones menores de tres años (bosques en desarrollo) fueron las más vulnerables a eventos extremos como sequías prolongadas y altas temperaturas. Estas plantaciones mostraron solo un 3 % de incremento en superficie. Las condiciones adversas se reflejan en los datos climáticos del período, con una temperatura promedio de 30.5 °C (Base de Datos Climática, 2025) y precipitaciones anuales de apenas 583,1 mm (INRH, 2021b).

Tabla 1. Composición del patrimonio forestal xerofítico del sur municipio San Antonio del Sur e Imías por años (2016-2021) en (ha)

Área	Superficie por años (ha)					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Bosque Natural	11020,00	11020,00	11020,00	11020,00	11020,00	11020,00
Bosque Artificial o Plantado	1679,00	1732,00	1773,00	1780,00	1830,40	1850,40
Bosque en Desarrollo	200,40	209,50	255,20	204,40	201,50	197,00
Por Reforestar	197,10	135,00	90,70	134,50	87,00	71,50
Inforestal	653,70	653,70	611,30	611,30	611,30	611,30
Total	13750,20	13750,20	13750,20	13750,20	13750,20	13750,20

Esa situación limita el crecimiento y establecimiento de nuevas coberturas forestales. [Figueredo et al. \(2022\)](#) también subrayan que el éxito de las estrategias de reforestación depende de la articulación entre actores locales, políticas de extensión forestal y adaptación al contexto climático específico.

Variación anual del carbono en Bosques naturales y artificiales o plantados por depósitos y remociones en (t C)

En la [tabla 2](#) se muestran los resultados de la captura de carbono por depósitos y años en t (biomasa, necromasa y suelo) en bosques naturales y artificiales o plantados, así como la remoción de carbono en ambos tipos de bosques.

Se observa que en los bosques naturales de este ecosistema xerofítico la variación de carbono en seis años consecutivos mostró secuestro de CO₂ totales de 1.913.353,80 t en el año 2016 con un total de 2 458.450,93 t en el año 2021.

Estos valores resultaron superiores a los alcanzados por [Alberto y Elvir \(2008\)](#), quienes refieren que los bosques tienen gran capacidad de almacenamiento de carbono como resultado de su estudio en bosques naturales de Honduras, donde se informó un secuestro anual de CO₂ de 105.989,86 t. [Maldonado y Aparicio \(2021\)](#) plantean que estos no son los únicos ecosistemas que proveen ese servicio. En el presente estudio se muestra que las mayores capturas de carbono estuvieron en el suelo en ambos tipos de bosques ([Figuras 3 y 4](#)), lo que se mantuvo creciente en todos los años evaluados. El resto de los depósitos (biomasa y necromasa) en el año 2017 tuvieron un descenso, con un crecimiento a partir del 2018.

La ligera tendencia de aumento en los depósitos de carbono en la biomasa observada en este estudio se encuentra respaldada por diversos trabajos recientes que destacan el papel del crecimiento arbóreo como principal motor de acumulación de carbono en ecosistemas forestales.

Tabla 2. Variación anual del carbono Bosques naturales y artificiales o plantados por depósito y remociones en (t C)

Depósitos	Años	Remoción de C*	C Biomasa	C Necromasa	C Suelo	Total
BOSQUES NATURALES	2016		462692,80	93040,99	1357620,00	1913353,80
	2017	-38552,05	424140,75	84740,44	1404140,50	1913021,68
	2018	125599,88	549740,63	93070,73	1493031,21	2135842,57
	2019	9115,81	558856,44	9357,81	1581936,79	2233951,05
	2020	20711,65	579568,09	93242,60	1675051,06	2347861,76
	2021	17301,88	596869,97	93329,69	1768251,27	2458450,93
BOSQUES ARTIFICIALES O PLANTADOS	2016		74601,43	14160,51	207693,00	296454,94
	2017	883,74	75485,17	14985,73	221853,51	312324,41
	2018	2151,15	77636,32	15012,76	236426,63	329075,71
	2019	3746,94	81383,26	15078,37	251425,87	347887,50
	2020	8086,96	89470,21	15600,43	266471,44	371542,08
	2021	-24416,23	65053,98	10 993,57	281810,84	357858,39

*La remoción es la diferencia de las existencias de carbono en la biomasa entre años consecutivos.

Kubota et al. (2021) informaron un incremento promedio de $0,82 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ de biomasa durante un periodo de 21 años en un bosque Atlántico del Alto Paraná (Paraguay). Dicho incremento fue atribuido al crecimiento sostenido de árboles en clases diamétricas bajas y medias.

De forma similar, Ríos-Camey et al. (2021) proyectaron aumentos de hasta $3,64 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ en bosques de Pinus en México. Ello evidencia que, incluso en sistemas manejados, el crecimiento natural contribuye significativamente a la captura de carbono. Estos resultados coinciden con lo planteado por Álvarez-Dávila et al. (2017), quienes observaron aumentos netos de biomasa en bosques tropicales andinos. Dicho aumento fue producto del crecimiento de árboles sobrevivientes y del reclutamiento de nuevos individuos. En conjunto, estos estudios refuerzan la idea de que, en ausencia de perturbaciones severas, los bosques secos y tropicales pueden mantener una dinámica positiva de acumulación de carbono. No obstante, esa dinámica presenta variaciones según la especie, el clima y el manejo.

El resultado en cuanto a la remoción de carbono en los bosques naturales fue negativo en el 2017 (Figura 5). Ese dato indica que no hubo remoción por parte de la biomasa, sino emisión, condicionada por el evento climático (huracán Matthew) que azotó la zona a fines del año 2016. Luna Florín et al. (2021) coinciden en plantear que, al existir cambios bruscos en el ecosistema de los bosques secos tropicales, disminuye la captura de carbono o se producen emisiones de CO_2 . Por lo tanto, el mantenimiento de la cobertura forestal en estos bosques es clave para estabilizar el equilibrio. Por otra parte, las absorciones de carbono por la biomasa tuvieron un aumento continuo desde 2018 hasta 2021.

Luna Florín et al. (2021) refieren además que la cantidad de carbono almacenado en los bosques tropicales está determinada por las retroalimentaciones entre la producción primaria neta de plantas (NPP), la fertilidad del suelo y el clima. En el intercambio de CO_2 entre la vegetación y la atmósfera ocurren cambios en los balances netos entre el secuestro -mejor llamado almacenamiento o fijación- y la liberación en diferentes periodos de tiempo y en las etapas del ciclo de vida de la vegetación o del sistema de uso de la tierra (Burbano-Orjuela, 2018).

Los valores de carbono en la necromasa, en ambos tipos de bosques (Figura 3 y 4), se mantienen casi constantes e inferiores a los de la biomasa. Por el contrario, los valores del suelo presentan un aumento marcado y sostenido, debido a que todos los años incorporan el carbono aportado por la necromasa. Burbano (2018) sostuvo criterios similares al plantear que el carbono del suelo está muy relacionado con el proceso de descomposición de la biomasa por acción microbiana. Una parte del carbono del suelo vuelve a la atmósfera mediante la mineralización del carbono orgánico, y otra parte es conducida por las corrientes de los ríos hasta llegar al mar, donde se deposita en forma de carbonatos. Este último proceso es incentivado por la acción humana.

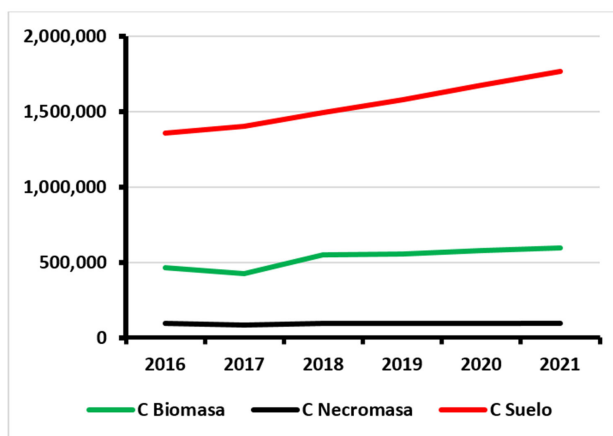


Figura 3. Bosques naturales variación anual de las existencias de carbono por depósitos (tC)

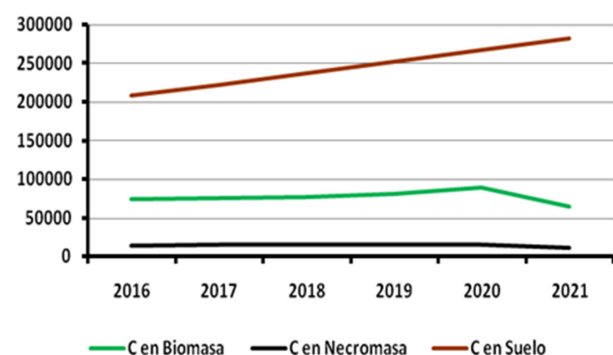


Figura 4. Bosques artificiales o plantados variación anual de las existencias de carbono por depósito (tC)

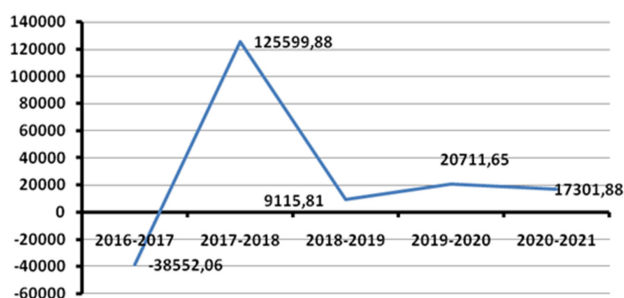


Figura 5. Bosques naturales variación anual de absorción de carbono atmosférico (tC)

Diversos estudios recientes confirman que el suelo constituye el principal reservorio de carbono en los ecosistemas forestales, y supera ampliamente a la biomasa aérea y subterránea. Morales-Inocente et al. (2020), en bosques de El Salto (Durango, México), reportaron valores de carbono en el suelo de hasta $187,06 \text{ Mg C/ha}$, frente a $66,42 \text{ Mg C/ha}$ en la biomasa aérea, lo que evidencia que el suelo almacena casi tres veces más carbono. De manera similar, Gómez et al. (2021) demostraron que, en bosques

de encino en Morelos, México, el Carbono Orgánico del Suelo (COS) presenta concentraciones significativamente superiores a las de la biomasa radical, especialmente en los primeros 30 cm de profundidad. Estos hallazgos coinciden con estimaciones regionales como las de Álvarez-Dávila et al. (2017), quienes señalan que entre el 50% y el 70% del carbono total en bosques tropicales andinos se encuentra en el suelo. En conjunto, estas evidencias refuerzan el criterio de que el suelo desempeña un papel dominante en el ciclo del carbono forestal, y ese papel resulta clave para la estabilidad climática y la resiliencia ecológica.

En los bosques naturales de la zona objeto de estudio, con respecto al año 2016, en el 2017 hubo una disminución de las existencias de carbono en la biomasa, según se muestra en la figura 3. Esa disminución originó que se produjera una emisión de carbono en lugar de una absorción (Figura 5). En los bosques artificiales o plantados, en cambio, la figura 6 evidencia que la variación temporal de los depósitos mostró que las existencias de carbono en la biomasa presentan una ligera tendencia al aumento debido al crecimiento de los árboles. Esa tendencia se mantuvo desde 2016 hasta 2020, pero del último año (2020) a 2021 hubo una disminución del carbono en la biomasa y, por lo tanto, una emisión. En ambos casos incidieron las ocurrencias de eventos climatológicos extremos. El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático informó que el ciclo de carbono incluye cambios en las existencias de carbono debidos a procesos continuos (por ejemplo, crecimiento, desgaste) y a eventos diferenciados (perturbaciones como cosechas, incendios, ataques de insectos, cambios en el uso de la tierra y otros) (INECC, 2022). Los procesos continuos pueden afectar las existencias de carbono de todas las áreas año tras año, mientras que los eventos diferenciados (las perturbaciones) producen emisiones y redistribuyen el carbono del ecosistema en áreas específicas (donde ocurre la perturbación) y en el año en que se produce el evento.

Romaniuk et al. (2023) refieren que una de las principales estrategias para la mitigación del cambio climático se basa en el fomento de las prácticas de forestación y reforestación. Dichas prácticas se justifican por el potencial que estos sistemas presentan para el secuestro de carbono en el suelo y en la vegetación. Este secuestro produce un efecto paliativo sobre el incremento del CO₂ atmosférico.

Frómata et al. (2023), en estudios realizados, afirman que, en condiciones xerofíticas, las características de las especies presentes en estos bosques son caducifolias, lo que influye en el carbono contenido en el suelo. Estas especies ocupan más del 60 % del área, y *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit., *Lysiloma latisiliqua* (L.) Benth y *Caesalpinia violacea* (Mill.) son las más representadas. Este resultado coincide con lo planteado por Retana et al. (2019), quienes refieren que sus resultados pudieron estar asociados a que el sitio tiene una diversidad de especies similar a la de los bosques secos.

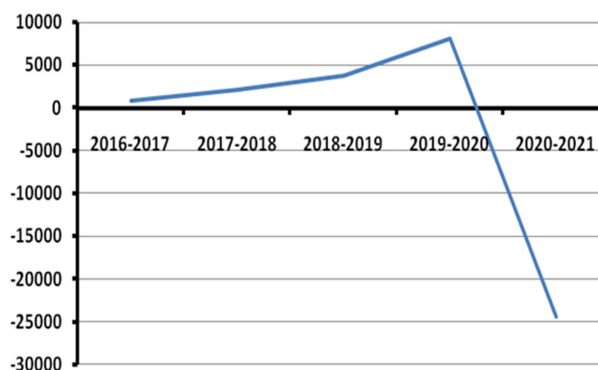


Figura 6. Bosques artificiales o plantados variación anual de absorción de carbono atmosférico (tC)

Esa diversidad permitió una mayor acumulación de hojas en el suelo, por las características deciduas de algunas de ellas. Briones (2017) y Frómata et al. (2023) coinciden en plantear, con relación al suelo, que este es el principal almacén de carbono en los bosques.

CONCLUSIONES

- Los bosques naturales xerofíticos de Guantánamo constituyen el principal sumidero de carbono, con existencias totales que superan las 2,45 millones de toneladas de carbono en 2021. Este depósito supera ampliamente a los bosques artificiales y evidencia su papel estratégico en la mitigación del cambio climático, especialmente ante la creciente concentración atmosférica de CO₂.
- El suelo representa el depósito dominante de carbono en ambos tipos de bosques, con una tendencia creciente sostenida durante todo el periodo evaluado. Esta acumulación supera significativamente a la biomasa y necromasa, lo que confirma que el componente edáfico es fundamental en el ciclo del carbono y en la estabilidad ecológica de estos ecosistemas semiáridos.
- Los eventos climáticos extremos, como el huracán Matthew, afectan negativamente la capacidad de remoción de carbono y llegan a convertir temporalmente a los bosques naturales en fuentes de emisión. Esta vulnerabilidad resalta la necesidad de implementar estrategias de manejo adaptativo que fortalezcan la resiliencia de los bosques xerofíticos ante perturbaciones.
- La expansión de los bosques artificiales o plantados, con un incremento del 9 % en superficie, contribuye positivamente al secuestro de carbono, aunque su capacidad de almacenamiento es menor que la de los bosques naturales. El éxito de estas plantaciones depende críticamente de las condiciones climáticas y del manejo forestal aplicado.

BIBLIOGRAFÍA

- Alberto DM, Elvir JA. 2008. Acumulación y fijación de carbono en biomasa aérea de Pinus o carpa en bosques naturales en Honduras. *Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales* 17: 67-78.
- Álvarez, A. 2018. El sistema MRMV del GAF. Presentación p12.
- Álvarez, A., Alicia Mercadet y col. 2011. El sector Forestal Cubano y el Cambio Climático. Inst. de Investigaciones. Agro-forestales, Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba pp 248.
- Álvarez, A., Alicia Mercadet y Peña, Y. 2019. Sistema Automatizado SUMFOR Versión 4.00 cálculo del año base de carbono evaluación del indicador 3.5 de manejo sostenible cálculo de la línea base de carbono simulación de alternativas de mitigación pp 4.
- Álvarez-Dávila, E. 2017. Forest biomass density across large climate gradients in northern South America is related to water availability but not with temperature. *Global Ecology and Biogeography*, 26(7), 754-766. <https://doi.org/10.1111/geb.12586>
- Barbón, M.I., Ferrer, E., Cardosa, O. y Moreira, W., 2008. Proyecto de Organización y Desarrollo de la Economía Forestal para la Empresa Agroforestal Imías 2008-2017. S.l.: Ministerio de la Agricultura. Grupo Agroforestal. pp 200.
- Base de Datos Climática. 2025. Resumen climático nacional 2025.
- Borges EO., Baisre JCP, Limeres JT, Sanloys D, Cintra AM 2000. Caracterización de la Zona Semiárida de Guantánamo y Propuesta de Ordenamiento Agroecológico de la Región, informe final proyecto 013-05-001 del PNCT «Los cambios globales y el medio ambiente cubano». Cuba. 83p.
- Briones, O, 2017. El ciclo del carbono en las zonas áridas mexicanas Instituto de Ecología AC (Inecol) pp 1-3.
- Burbano-Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Rev. Cienc. Agr.* 35(1): 82-96. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.85>.
- Duval, Valeria Soledad y Cámara-Artigas, Rafael (2021). Diversidad y captura de carbono en un bosque secundario de caldén (*Prosopis caldenia*) en La Pampa, Argentina. *Estudios Geográficos*, 82 (291), e073. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.202184.084>.
- FAO, 2024. El estado de los bosques del mundo pp1-4.
- Figueredo, A. L., Guerra Sánchez, D., & Pérez Rosabal, R. (2022). El extensionismo forestal en Cuba: Reflexiones desde su desarrollo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 10(1). Disponible en SciELO.
- Frómata A, Romero E, Moreira, W. Retención de carbono por los bosques en condiciones xerofítica. Guantánamo, Cuba Carbon retention by forests under xerophytic conditions. Guantánamo, ISSN: 1996-2452 RNPS: 2148 Revista CFOREs, enero-abril 2023; 11(1): e792.
- Gómez, J. D., Etchevers, J. D., Monterroso, A. I., et al. (2021). Carbono orgánico del suelo y su relación con la biomasa radical de *Quercus* sp. *Madera y Bosques*, 27(spe). Consulta en SciELO México.
- Hernández Jiménez A. 1999. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana, Cuba: Instituto de Suelos, Ministerio de la Agricultura; 1999.
- Hernández Jiménez A., Pérez J, M., Bosch D., Castro N. 2015. Clasificación de los suelos en Cuba: énfasis en la versión de 2015. Instituto Nacional de Ciencias Agrícola (INCA), Carretera San José- Tapaste, km 31/2 gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700, 2. Instituto de Suelos. Autopista Costa-Costa apdo 8022. Capdevila, Boyero, La Habana, Cuba.
- Honorio Eurídice. N; Baker. Timothy. R. 2010. Manual para monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana / Universidad de Leeds. Lima, p 54.
- II Boletín Centroamericano 2020. Clima y Agricultura: agosto, septiembre, octubre 2020. Boletín N°2. Emitido: 07 de agosto de. Validez: agosto, septiembre y octubre 2020 Realizado por: el CRRH-SICA y el CAC-SICA Con el apoyo de CIAT pp 6-14.
- INECC. 2022. Metodología para el cálculo de la captura de carbono en Áreas Naturales Protegidas. pp1-23.
- INRH. 2021a. Informe anual de precipitaciones.
- INRH. 2021b. Informe de Impactos de la sequía hídrica en la provincia Guantánamo. Estrategia de enfrentamiento 2014 - 2016. Delegación Provincial de Recursos Hídricos Guantánamo. Archivo central de la Delegación Provincial de Recursos Hídricos Guantánamo 5 - 25 p.
- Kubota, V. R., Caballero-González, R. D., & Fernández-Lomaquíz, A. E. (2021). Variación de biomasa en un periodo de 21 años en un Bosque Atlántico del Alto Paraná (Paraguay). *Colombia Forestal*, 24(1), 60-70. <https://doi.org/10.14483/2256201x.163132>
- Luna Florin, A. D., Sánchez Asanza, A. W., Maza, J. E., Castillo Figueroa, J. E. 2021. Biomasa forestal y captura de carbono en el bosque seco de la Reserva Ecológica Arenillas. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), pp140- 146.
- Maldonado Jiménez I, Aparicio-Saavedra ME (2021) Estimación del almacenamiento de carbono en la biomasa de macrófitas en la Bahía interior de Puno, lago Titicaca. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8(2): e2848. DOI: <https://doi.org/10.19136/era. a8n2.2848>
- Mercadet, A., A, F, Álvarez y A, Ajete. 2020a. La Mitigación al Cambio Climático y el Sector Forestal Cubano. Inst. de Investigaciones. Agro-forestales, Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba pp187.

- Mercadet, A., A, F, Álvarez y A, Ajete. 2020b. Estudios sobre dinámica forestal y captura de carbono en ecosistemas cubanos. [Referencia interna del proyecto forestal nacional].
- Morales-Inocente, M. Á., Nájera-Luna, J. A., Escobedo-Bretado, M. Á., et al. (2020). Carbono retenido en biomasa y suelo en bosques de El Salto, Durango, México. *Investigación y Ciencia*, 28(80), 5-13. Disponible en Redalyc.
- OMM. (2021). Los indicadores empeoraron y los impactos del cambio climático se agravaron en 2020. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/losindicadores-empeoraron-y-los-impactos-del-cambio-climatico-se>. Fecha de consulta: 20 de abril 2024.
- Pacheco Gutiérrez, C. A. 2020. Estimación del almacenamiento y retención de Dióxido de carbono en el arbolado urbano público de la zona de Achumani de la ciudad de La Paz a través de una aplicación móvil. *Fides et Ratio - Revista de difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 19(19), pp153-174.
- República de Cuba. 2015. Contribución Nacionalmente Determinada. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 5 p.
- Ríos-Camey, J. M., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Jiménez-Pérez, J., Alanís-Rodríguez, E., & de los Santos-Posadas, H. M. (2021). Crecimiento e incremento en biomasa y carbono de *Pinus teocote* Schltdl. et Cham. y *Pinus oocarpa* Schiede., Guerrero, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(67), 81-103. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i67.997>
- Romaniuk R, Cosentino V, Costantini A, Taboada M, Lupi A. 2023. emisiones de Gases de Efecto Invernadero Desde el Sector Forestal. *Ciencia e Investigación* -tomo 68 N° 5 - 2018 pp 55-61
- Servicio Estatal Forestal. 2021. Dinámica Forestal documento estadístico de los municipios San Antonio del Sur e Imías.
- Retana-Chinchilla, I., Méndez-Cartín, A.L., Sánchez-Toruño, H., Montero-Flores, W., Barquero-Elizondo, A.I., Hernández Sánchez, L.G 2019. Estimación de la biomasa y carbono almacenado en un bosque primario intervenido de la zona protectora " El Rodeo", Costa Rica. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* [en línea], vol. 7, no. 3, pp. 341-353. [Consulta: 10 marzo 2023]. ISSN 2310-3469. Disponible en: <http://scielo.sld.cu>.