

Reservas de carbono azul en sedimentos costeros: implicaciones para la mitigación del cambio climático

Peralta-Barría, Carlos

Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
carlos.peralta2@utp.ac.pa

Vergara-Chen, Carlos

Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
carlos.vergara3@utp.ac.pa

ABSTRACT

Blue carbon, stored in coastal ecosystems such as mangroves, marshes, and estuaries, represents a key strategy to mitigate climate change. These habitats retain organic carbon in their sediments due to anoxic conditions that slow down the decomposition of biomass; however, their degradation can release CO₂ into the atmosphere. This study aims to compile and analyze recent research (2020–2025) on blue carbon stocks in coastal soils at a global scale, highlighting the importance of sediments in non-vegetated habitats, such as estuaries, which have less representation in the scientific literature. A review of scientific literature was conducted in recognized databases, selecting studies with quantitative information on different coastal ecosystems. Variables such as location, type of habitat, sampling depth, and analytical techniques were considered. The results reveal high spatial variability in blue carbon stocks, influenced by environmental and biological factors. The findings confirm the role of these ecosystems as natural carbon sinks and their relevance in climate policies. The urgency of conserving and restoring coastal habitats is emphasized due to their multiple ecosystem services, such as protection against extreme events, biodiversity, and food security. Likewise, the need to expand research on non-vegetated coastal sediments is underlined, integrating them into future assessments and environmental policies to achieve sustainable management in the face of global pressure.

Keywords: Blue carbon, sinks, climate change, mangroves, marshes.

RESUMEN

El carbono azul, almacenado en ecosistemas costeros como manglares, marismas y estuarios, representa una estrategia clave para mitigar el cambio climático. Estos hábitats retienen carbono orgánico en sus sedimentos gracias a condiciones anóxicas que ralentizan la descomposición de la biomasa; sin embargo, su degradación puede liberar CO₂ a la atmósfera. Este estudio tiene como objetivo compilar y analizar investigaciones recientes (2020–2025) sobre reservas de carbono azul en suelos costeros a escala global, resaltando la importancia de los sedimentos en hábitats sin vegetación, como estuarios, que cuentan con menor representación en la literatura científica. Se aplicó una revisión de literatura científica en bases de datos reconocidas, seleccionando estudios con información cuantitativa sobre distintos ecosistemas costeros. Se consideraron variables como ubicación, tipo de hábitat, profundidad de muestreo y técnicas analíticas. Los resultados revelan una alta variabilidad espacial en las reservas de carbono azul, influenciada por factores ambientales y biológicos. Los hallazgos confirman el papel de estos ecosistemas como sumideros naturales de carbono y su relevancia en políticas climáticas. Se enfatiza la urgencia de conservar y restaurar hábitats costeros por sus múltiples servicios ecosistémicos, como protección frente a eventos extremos, biodiversidad y seguridad alimentaria. Asimismo, se subraya la necesidad de ampliar la investigación hacia los sedimentos costeros no vegetados, integrándolos en futuras evaluaciones y políticas ambientales para lograr una gestión sostenible frente a la presión global.

Palabras claves: Carbono azul, sumideros, cambio climático, manglares, marismas.

1. INTRODUCCIÓN

El carbono azul se refiere al carbono orgánico que es capturado y retenido en ecosistemas costeros como los manglares, las marismas y las praderas marinas. Estos son de gran importancia para la mitigación del cambio climático, como sumideros de carbono, suelen presentar una mayor capacidad de almacenamiento y secuestro de carbono por hectárea que los sistemas terrestres [1]. No obstante, estos hábitats están sufriendo transformaciones rápidas y cada vez más aceleradas en su extensión como resultado del cambio climático y las actividades antropogénicas [2]. La significativa pérdida de cobertura conlleva una disminución considerable de los servicios ecosistémicos fundamentales, especialmente en lo que respecta a la mitigación del cambio climático [3]. La conservación y recuperación de los humedales costeros con vegetación continúa siendo una prioridad crucial, y es fundamental que los países intensifiquen de inmediato los esfuerzos en la preservación de estos ecosistemas, incluyendo los sedimentos marinos por sus aportes en la captura de

carbono orgánico [4].

Los ecosistemas costeros retienen cerca del 80% del carbono orgánico en sus sedimentos, el cual podría liberarse como resultado de la degradación y la pérdida de cobertura vegetal [5]. Los sedimentos de los humedales costeros almacenan carbono orgánico debido a que parte de su elevada productividad vegetal se acumula en ambientes carentes de oxígeno, generados por la saturación de agua salina. La escasez de oxígeno en estos sedimentos inhibe la actividad microbiana, lo que ralentiza la descomposición de la materia orgánica [6].

En los últimos diez años, estudios han destacado la relevancia cuantitativa de este almacenamiento de carbono orgánico en los manglares para ayudar a mitigar el cambio climático. Esto se ha logrado principalmente mediante la medición de las reservas de carbono y la estimación de las posibles emisiones de CO₂ que podrían generarse debido a la degradación de estos ecosistemas [7]. Se calcula que las reservas globales de carbono en los manglares (5,23–8,63 petagramos de carbono orgánico) representan entre el 15% y el 24% de las existencias del océano costero tropical. El almacenamiento de carbono en los suelos de manglares tiene un promedio de 184 gramos de carbono orgánico por metro cuadrado por año, con estimaciones globales que oscilan entre 9,6 y 15,8 teragramos de carbono orgánico por año, lo que subraya su relevancia en el secuestro de carbono [8].

A nivel global, los bosques de manglares, que almacenan grandes cantidades de carbono, están siendo deforestados y degradados debido a cambios en el uso y la cobertura del suelo. Aunque el impacto de la deforestación de manglares en las emisiones de carbono ha sido documentado a escala global, aún existe incertidumbre a niveles subnacionales debido a la variabilidad geográfica y las limitaciones en los datos obtenidos en campo [9].

En este contexto, resulta indispensable profundizar en el conocimiento de las reservas de carbono azul en sedimentos costeros, no solo para dimensionar su potencial como sumideros naturales, sino también para orientar estrategias de conservación y mitigación climática basadas en evidencia científica. Este estudio busca aportar a este propósito mediante una revisión de investigaciones recientes, con énfasis en la cuantificación del carbono orgánico y sus implicaciones ecológicas y políticas a escala global, resaltando además la importancia de considerar las reservas de carbono azul en sedimentos no vegetados, ya que contienen carbono orgánico y su distribución espacial a gran escala constituye un componente clave para comprender integralmente el papel de los ecosistemas costeros en la dinámica del carbono y en la mitigación del cambio climático.

2. MÉTODO

A. Fuentes de información y criterios de búsqueda

La selección de literatura se llevó a cabo mediante búsquedas en bases de datos académicas

reconocidas, tales como Google Scholar, Frontiers, ResearchGate, Elsevier, SciELO, entre otras fuentes especializadas en ciencias ambientales y marinas. Para garantizar la pertinencia y calidad de los estudios incluidos, se definieron criterios de búsqueda que incorporaron palabras clave en español e inglés, tales como: “carbono azul”, “reservas de carbono en humedales costeros”, “secuestro de carbono en estuarios, manglares y marismas”, “carbono en ecosistemas marino-costeros”, “blue carbon”, “blue carbon stocks” y “coastal wetlands carbon storage”.

B. Periodo de análisis y tipo de estudios seleccionados

La búsqueda se restringió a publicaciones científicas aparecidas entre los años 2020 y 2025, priorizando investigaciones empíricas, revisiones sistemáticas y estudios de caso que presentaran datos cuantitativos sobre el almacenamiento de carbono orgánico en distintos tipos de ecosistemas.

C. Extracción y sistematización de datos

Una vez identificadas las publicaciones relevantes, se procedió a una lectura crítica y analítica de los textos seleccionados. De cada estudio se extrajeron datos clave, incluyendo: ubicación geográfica, tipo de ecosistema evaluado (manglar, marisma, pasto marino, estuario), metodología empleada para la cuantificación del carbono, y estimaciones reportadas de carbono orgánico por unidad de superficie. Estos datos fueron sistematizados para facilitar la comparación entre regiones y tipos de ecosistemas, y para identificar patrones relevantes en la distribución y magnitud de las reservas de carbono azul.

3. RESULTADOS

A. Flujos e inventarios de carbono azul en manglares asociados a una laguna costera antropizada.

Un estudio científico de la Institución de Ciencias del Mar y Limnología de México presentó el inventario de carbono almacenado en los sedimentos de áreas de manglar ubicadas alrededor de la laguna Estero de Urías. Los resultados indican un almacenamiento promedio de 408 ± 3 megagramos de carbono por hectárea. En caso de que ocurra la degradación o pérdida del manglar en la región, esto podría generar una posible emisión de $1,495 \pm 12$ megagramos de CO₂ equivalente por hectárea al año [10].

Tabla 1. Inventarios de carbono en sedimentos de manglar (1 m de profundidad) y CO2 equivalente en la laguna Estero de Urías, México.

Núcleo	Inventarios Corg (Mg ha-1)	CO2 equivalente (Mg CO2 ha-1)
EU-V	416 ± 4	1,524 ± 15
EU-VI	389 ± 5	1,428 ± 17
EU-VII	440 ± 2	1,614 ± 9
EU-VIII	386 ± 2	1,414 ± 7
Promedio	408 ± 3	1,495 ± 12

B. Derivación de factores de emisión para el ecosistema de carbono azul de manglares en Indonesia.

En un estudio realizado en Indonesia [11], se evaluaron los reservorios de carbono azul en manglares bajo distintos tipos de manejo, destacando la capacidad de los ecosistemas no perturbados para almacenar carbono en los sedimentos. Los resultados mostraron que, en manglares conservados, la cantidad de carbono orgánico almacenado en los primeros 100 cm de suelo osciló entre 216 y 296 Mg C/ha⁻¹, mientras que al considerar una profundidad de hasta 300 cm, las reservas aumentaron significativamente, alcanzando entre 562 y 916 Mg C/ha. Este hallazgo subraya el importante papel que juegan los manglares intactos en la mitigación del cambio climático, ya que las reservas profundas de carbono reflejan una acumulación a largo plazo, vinculada tanto a la productividad del ecosistema como a las condiciones anóxicas del suelo que favorecen la preservación de materia orgánica. Además, el estudio evidencia cómo las prácticas de conservación y restauración pueden influir directamente en la capacidad de secuestro de carbono de los ecosistemas costeros tropicales.

C. Reservas de carbono azul, tasas de acumulación y patrones espaciales asociados en suelos de manglares.

En el estudio se estima que la reserva total de carbono orgánico del suelo en los manglares de Brasil alcanza aproximadamente 207 ± 34 t C ha⁻¹, considerando hasta un metro de profundidad. Esta cifra refleja la gran capacidad de almacenamiento de carbono de los manglares brasileños, debido a su amplia cobertura y alta productividad [12].

El artículo destaca que esta reserva no es homogénea, sino que varía según factores locales como la posición intermareal, la salinidad y la estructura del bosque. Por ejemplo, los manglares ubicados en zonas bajas, con mayor inundación y menor salinidad, tienden a acumular más carbono en el suelo. Asimismo, los bosques con mayor densidad de raíces y cobertura vegetal favorecen la retención de sedimentos y la preservación de la materia orgánica, incrementando las reservas de carbono.

Los autores enfatizan que, para una valoración adecuada del carbono azul, especialmente en contextos de conservación o proyectos de carbono, es fundamental considerar estas variaciones ambientales locales.

D. Reservas de carbono azul entre hábitats.

En un estuario de Nueva Zelanda [2], se analizó cómo los flujos de materia orgánica entre hábitats costeros (como manglares, marismas y pastos marinos) e incluso hábitats no vegetados (sedimentos blandos) pueden influir en las estimaciones de carbono azul almacenado. Se cuantificaron las reservas de carbono orgánico en biomasa aérea y sedimentos hasta 100 cm de profundidad, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 2. Resultados de reservas de carbono orgánico entre hábitats costeros.

Tipos de Hábitats	Reserva promedio de carbono orgánico
Marismas	90 t C ha ⁻¹
Manglares	46 t C ha ⁻¹
Praderas Marinas	27 t C ha ⁻¹
Hábitats sin vegetación	26 t C ha ⁻¹

A pesar de presentar la menor densidad de carbono por unidad de superficie, los hábitats no vegetados representaron la mayor proporción de carbono estuarino total, debido a su amplia cobertura espacial: ocupan el 68,4% del área del estuario y contienen el 57% de las reservas de carbono.

4. CONCLUSIONES

El carbono azul constituye un componente esencial en la mitigación del cambio climático, al encontrarse almacenado en los sedimentos de ecosistemas costeros y contribuir de manera significativa a la captura de carbono orgánico. La evidencia científica ha demostrado la relevancia de manglares, marismas y praderas marinas como sumideros naturales, pero también su vulnerabilidad frente a la degradación y pérdida de cobertura vegetal. En este escenario, resulta prioritario ampliar la mirada hacia los sedimentos de hábitats costeros no vegetados, que, aunque presentan una densidad inferior de carbono por unidad de área, abarcan extensiones considerables y contienen menor representación en la literatura científica.

En particular, los sedimentos sin vegetación en estuarios y zonas intermareales fangosas constituyen depósitos relevantes de carbono orgánico, cuya cuantificación y caracterización aún requieren mayor atención científica. Estos ambientes, al recibir aportes de materia orgánica desde hábitats vegetados cercanos y mantener condiciones anóxicas favorables

para la acumulación de carbono, pueden desempeñar un papel estratégico en el balance regional de carbono azul. Incorporarlos en las evaluaciones y estrategias de conservación permitirá avanzar hacia una gestión más integral de los ecosistemas costeros y fortalecer su contribución a las políticas climáticas nacionales e internacionales.

REFERENCIAS

- [1] S. Kaur, V. Kaushik y S. Sharma, «Blue carbon ecosystem: a review,» *International journal of advanced scientific and technical research*, 2025.
- [2] R. Bulmer, F. Stephenson, H. Jones, M. Townsend, J. Hillman, L. Schewendenmann y C. Lundquist, «Blue Carbon Stocks and Cross-Habitat Subsidies,» *Frontiers in Marine Science*, 2020.
- [3] D. Geveña, L. Camacho y J. Pulhin, «Conserving Mangroves for Their Blue Carbon: Insights and Prospects for Community-Based Mangrove Management in Southeast Asia,» de *Threats to Mangrove Forests*, 2018.
- [4] J. Howard, A. Stutton-Grier, L. Smart, C. Lopes, J. Hamilton, J. Kleypas, S. Simpson, J. McGowan, A. Pessarrodona, H. Alleway y E. Landis, «Blue carbon pathways for climate mitigation: Known, emerging and unlikely,» *Marine Policy*, 2023.
- [5] K. Analuddin, S. Sharma, L. O. Kadidae, L. O. Muhammad, A. Septiana, S. Rahim, L. O. Fajar, R. Mackenzie y K. Nadaoka, «Blue carbon stock in sediments of mangroves and seagrass ecosystems at Southeast Sulawesi, Indonesia,» *Ecological Research*, 2022.
- [6] C. Lovelock y R. Reef, «Variable Impacts of Climate Change on Blue Carbon,» *One Earth*, 2020.
- [7] T. Jennerjahn, «Relevance and magnitude of ‘Blue Carbon’ storage in mangrove sediments: Carbon accumulation rates vs. stocks, sources vs. sinks,» *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2020.
- [8] D. Alongi, «Impacts of Climate Change on Blue Carbon Stocks and Fluxes in Mangrove Forests,» *Forests*, 2022.
- [9] S. Sasmito, M. Sillanpää, M. Hayes y D. Murdiyarto, «Mangrove blue carbon stocks and dynamics are controlled by hydrogeomorphic settings and land-use change,» *Global Change Biology*, 2020.
- [10] G. Aldana, A. Ruiz, L. Pérez, T. Martínez y J. Sánchez, «Flujos e inventarios de carbono azul en manglares asociados a una laguna costera antropizada. Blue carbon fluxes and inventories in mangroves associated with an anthropized coastal lagoon.,» *Geofísica Internacional*, 2021.
- [11] D. Murdiyarto, H. Krisnawati, W. Adinugroho y S. Sasmito, «Deriving emission factors for mangrove blue carbon ecosystem in Indonesia,» *Carbon Balance and Management*, 2023.
- [12] V. Hatje, P. Masqué, V. Patire, A. Dórea y F. Barros, «Blue carbon stocks, accumulation rates, and associated spatial variability in Brazilian mangroves,» *Limnology and Oceanography*, 2020.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.