

Propuesta metodológica para el estudio del secuestro de carbono en sedimentos de ecosistemas de carbono azul en Cuba utilizando técnicas nucleares e isotópicas

 Liana Beatriz Carballo Rosado¹,  Aniel Guillén Arruebarrena¹,  Alejandro García Moya¹,
 Yusmila Helguera Pedraza¹,  Carlos Manuel Alonso Hernández²

¹ Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). Carretera a Castillo de Jagua, 1,5 km Ciudad Nuclear. CP59350 Cienfuegos, Cuba.

² Marine Environment Laboratories, Department of Nuclear Science and Application, International Atomic Energy Agency. 4 Quai Antoine 1er, 98000 Monaco, Mónaco.

lianacarballo96@gmail.com

Resumen

Los ecosistemas de carbono azul son capaces de almacenar carbono a largo plazo en sus sedimentos. Debido a su inherente variabilidad espacial y temporal, el estudio de este tipo de ecosistemas requiere múltiples enfoques. Es por eso que se han utilizado avances técnicos y herramientas analíticas que mejoran la cuantificación del secuestro de carbono y el seguimiento de sus cambios a lo largo del tiempo, como son el empleo de radionúclidos de vida corta para la determinación de tasas de secuestro, y de isótopos estables para la identificación del origen de la materia orgánica en los sedimentos. Cuba es considerada como uno de los hotspots de Carbono Azul en el mundo con un importante potencial de almacenamiento de carbono. Sin embargo, existen incertidumbres sobre la extensión de estos ecosistemas y una falta de datos sobre el carbono en la literatura científica, por lo que es necesario contar con datos científicos para estimar las existencias de carbono orgánico en estos ecosistemas, su tasa de acumulación de carbono y su origen. En los últimos años han surgido nuevas directrices y metodologías que brindan procedimientos de medición y monitoreo internacionalmente aceptados para la contabilidad del carbono y para las mediciones de analíticas de perfiles de sedimentos como registros ambientales. El objetivo principal de este artículo fue proponer una guía metodológica integradora para el estudio de secuestro de carbono en ecosistemas de carbono azul de Cuba a partir de la literatura disponible, y sobre todo contextualizada a las capacidades analíticas en nuestro país.

Palabras clave: secuestro carbono; sedimentos; isótopos; Cuba; ecosistemas.

Methodological proposal for the study of carbon sequestration in sediments of blue carbon ecosystems in Cuba using nuclear and isotopic techniques

Abstract

Blue carbon ecosystems are capable of long-term carbon storage in their sediments. Due to their inherent spatial and temporal variability, the study of these ecosystems requires multiple approaches. For this reason, technical advances and analytical tools have been used to improve the quantification of carbon sequestration and the monitoring of its changes over time, such as the use of short-lived radionuclides to determine sequestration rates and stable isotopes to identify the origin of organic matter in sediments. Cuba is considered one of the Blue Carbon hotspots in the world with an important potential for carbon storage. However, there are uncertainties about the extent of these ecosystems and a lack of carbon data in the scientific literature, so there is a need for scientific data to estimate the organic carbon stocks in these ecosystems, their rate of carbon accumulation and their origin. In recent years, new guidelines and methodologies have emerged that provide internationally accepted measurement and monitoring procedures for carbon accounting and for sediment profile analytical measurements as environmental records. The main objective of this article was to propose an integrative methodological guide for the study of carbon sequestration in blue carbon ecosystems in Cuba based on the available literature, and above all contextualized to the analytical capabilities in our country.

Key words: carbon sequestration; sediments; isotopes; Cuba; ecosystems.

Introducción

Los efectos de la elevada concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera se han vuelto cada vez más evidentes en las últimas décadas. Las proyecciones proporcionadas por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático sugieren firmemente la importancia de controlar los aumentos de la temperatura global a menos de 1,5 °C. Para alcanzar este objetivo será necesario adoptar una serie de medidas de adaptación y mitigación. En este contexto, están cogiendo impulso como opción las soluciones basadas en la naturaleza [1].

Los ecosistemas costeros con vegetación como las praderas marinas, los manglares y las marismas, han sido reconocidos recientemente por su capacidad para almacenar o secuestrar grandes cantidades de carbono orgánico dentro de sus tejidos, suelos y sedimentos, denominado "carbono azul" [2, 3]. En estos ecosistemas se distinguen cuatro sumideros principales de carbono azul: la biomasa aérea viva, la biomasa aérea muerta, la biomasa subterránea viva y el carbono subterráneo en el sedimento. Este último constituye desde el 50 % al 90 % de la reserva total de carbono de un ecosistema de manglar, así como el 98 % del carbono en las marismas costeras y los pastos marinos. Por lo que su medición es indispensable para determinar las dinámicas a largo plazo del cambio climático [4-7].

Las elevadas concentraciones de carbono en los sedimentos se deben a la alta productividad primaria, las altas tasas de sedimentación y la lenta descomposición del carbono orgánico en los suelos anóxicos inundados. En áreas donde la acumulación ocurre sin bioturbación, mezclado físico y/o episodios de erosión, la columna sedimentaria constituye un registro ambiental de las tendencias temporales y los cambios ocurridos en el ecosistema, aportando información histórica sobre las características del ambiente desde su formación y las modificaciones temporales que ha sufrido hasta el momento de su evaluación [8-10].

Para abordar explícitamente el rol de los ecosistemas de carbono azul en la mitigación del cambio climático y el bienestar humano mediante políticas, reglamentos, planes de manejo u otros mecanismos es necesario comprender: (1) la distribución espacial de estos ecosistemas, (2) la cantidad de carbono presente en los distintos sumideros (existencias de carbono), sobre todo en el suelo que es donde se almacenan los mayores valores de carbono, (3) la cantidad de carbono que se emite o se secuestra en los ecosistemas a través del tiempo (tasas de secuestro) y (4) la identificación del origen de la materia orgánica almacenada en ellos.

En vista de la gran cantidad de ecosistemas marino-costeros presentes en Cuba, el país es considerado como uno de los *hotspot* de Carbono Azul en el mundo, con un importante potencial de acumulación y almacenamiento de carbono. Sin embargo, existen incertidumbres sobre la extensión de estos ecosistemas y se carece de datos sobre el carbono almacenado en los mismos. Por ello es necesario realizar investigaciones que proporcionen va-

lores confiables sobre la existencia, la tasa de secuestro y el origen del carbono orgánico [11, 12].

Debido a las dinámicas de intercambio desde y hacia tierra que se producen en las zonas costeras y estuarinas, así como su inherente variabilidad espacial y temporal, el estudio de este tipo de ecosistemas requiere múltiples enfoques. Para ello se han desarrollado e implementado avances técnicos que mejoran la cuantificación del secuestro de carbono azul y el seguimiento de sus cambios a lo largo del tiempo. El empleo de las técnicas nucleares e isotópicas utilizando los sedimentos como registros ambientales, en particular del análisis de ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{13}C y ^{15}N , ofrece una valiosa información sobre la reconstrucción histórica del origen del carbono orgánico secuestrado en sedimento y sus tasas de secuestro, lo cual es fundamental para la toma de decisiones y la apropiada la gestión de los recursos y servicios que ofrecen estos ecosistemas [13-15].

En los últimos años han surgido nuevas directrices y metodologías que brindan procedimientos de medición y monitoreo internacionalmente aceptados para la contabilidad del carbono [2, 3] y para las determinaciones analíticas de perfiles de sedimentos como registros ambientales [16]. Sin embargo, es necesario contar con una guía metodológica integradora que propicie desarrollar el estudio del secuestro de carbono en ecosistemas marino-costeros cubanos, y contextualizarlo a las capacidades tecnológicas del país.

Metodologías consultadas

La guía metodológica se propuso a partir del análisis y la integración de diferentes manuales y artículos que abordan el tema de carbono azul [1-3], [16, 17] en los que se describe: cómo diseñar y realizar los muestreos de campo; recomendaciones y criterio de expertos sobre la toma, preparación, manipulación y análisis de las muestras; cálculo de las existencias de carbono y las emisiones de CO_2 ; criterio de expertos sobre modelos de fechado más empleados y determinación de las tasas de secuestro y su origen; las capacidades nacionales existentes. En este artículo no está incluida la validación de la misma.

Metodología propuesta

La guía que se propone cuenta con 5 etapas y varias subetapas que se describen a continuación, ver figura 1.

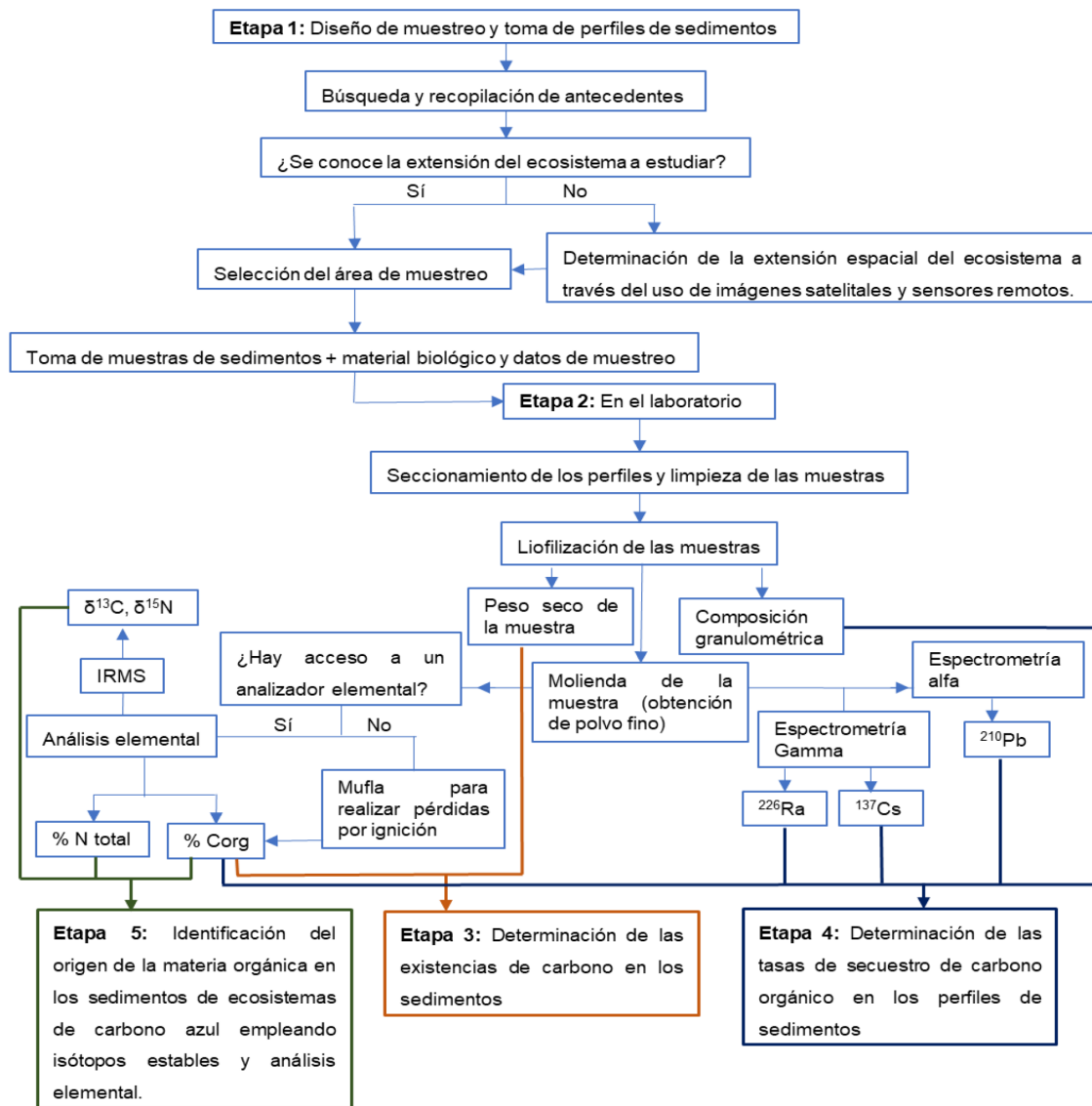


Figura 1. Diagrama de flujo que describe la guía para el estudio de secuestro de carbono en sedimentos de ecosistemas de carbono azul cubanos utilizando técnicas nucleares e isotópicas.

A continuación, se explicará paso a paso cada una de las etapas:

Etap 1: Diseño de muestreo y toma de perfiles de sedimentos

a. Búsqueda y recopilación de información sobre el área

Esta subetapa es de gran importancia porque permite conocer todas las investigaciones previas que pudieran existir sobre el área a estudiar, así como toda la documentación disponible sobre la extensión del ecosistema, vegetación predominante, etc. La existencia o no de información previa, determinará el grado o intensidad que es necesario imprimir al estudio a fin de cumplir con los objetivos del mismo.

b. Selección del área de muestreo, cantidad de perfiles y su ubicación.

Tener información actualizada y georreferenciada sobre la cuantificación en hectáreas de la cobertura vegetal, orografía, geología, suelo, hidrología, clima, rutas

y caminos de acceso, mapas de hábitat del ecosistema en estudio tiene varias ventajas ya que permite la optimización de la campaña de monitoreo mediante la selección de puntos de muestreo representativos. Además, la extensión del área es un dato necesario para el cálculo de las existencias de carbono del ecosistema. Es recomendable la creación o actualización de la información existente a través del uso de imágenes satelitales y sensores remotos.

Para seleccionar la cantidad de puntos de muestreos y su ubicación hay que tener en cuenta los siguientes criterios: paisaje, topografía, accesibilidad al sitio, distribución espacial, cobertura vegetal, espesor de la capa de suelo, régimen hídrico, etc. La cantidad de perfiles dependerá principalmente de la extensión del ecosistema. Se recomienda tomar varios perfiles de sedimentos por área seleccionada que sean representativos de la misma para disminuir las incertidumbres del estudio. La toma pudiera ser al azar, por transectos, por cuadrantes, intencionada por características espe-

cíficas del suelo, la vegetación, la hidrodinámica, etc., en dependencia del objetivo del estudio.

Toma de muestras y datos de muestreo

Para obtener muestras de sedimentos se debe contar con un equipo para el muestreo de suelos que permita extraer una muestra relativamente inalterada con una compactación mínima. Existen gran variedad colectores o nucleadores especializados para la toma de muestras [18], no obstante, se pueden construir nucleadores artesanales a partir de tubos de PVC [1].

Para la toma de muestras de sedimentos, primeramente, se removerá de la superficie los detritos orgánicos que estaban en el sitio de muestreo, se insertará el nucleador verticalmente en el suelo hasta 1 m de profundidad como mínimo ya que esta es la profundidad más vulnerable a alteraciones por uso de la tierra. Una vez llegado a la profundidad deseada, se extraerá el nucleador y los extremos de este se cubrirán con tapones para evitar la pérdida de muestras. Una vez finalizado el muestreo se trasladarán los perfiles de sedimentos de forma vertical al laboratorio.

Los estudios sobre el origen de la MO en ecosistemas de carbono azul, deben tener en cuenta que su alta productividad biológica se sustenta en el aporte de recursos autóctonos y recursos alóctonos. Es por ello que en estos ecosistemas existen diversas fuentes potenciales de MO. Debido a la diversidad de interacciones químicas, físicas y biológicas implicadas en su origen, [13]. Para la identificación del origen del carbono orgánico en los sedimentos, es recomendable coleccionar muestras de los miembros terminales (*endmembers*, en inglés) tanto alóctonos como autóctonos, que son la base de la productividad primaria del sistema objeto de estudio. Para ello se recomienda recolectar muestras de la vegetación predominante en el área de estudio y posibles zonas de intercambio como fuentes potenciales de materia orgánica a los sedimentos del ecosistema. Se coleccionarán muestras de hojas, raíces y

tallos de al menos 10 especímenes de cada especie de vegetación dominante identificada en el campo para formar una muestra conjunta de cada *endmembers*. De ser necesario se coleccionarán muestras de la vegetación para hacer herbarios que serán utilizados por expertos para su identificación hasta el nivel taxonómico más bajo posible.

Durante el muestreo de cada perfil de sedimento se tomarán los siguientes datos:

1. Fecha de muestreo
2. Hora en que se realiza
3. Lugar del muestreo
4. Código del perfil de sedimento
5. Coordenadas geográficas del lugar de muestreo
6. Compactación en el campo
7. Diámetro interior del nucleador
8. Vegetación predominante del lugar
9. Código de las muestras de material biológico
10. Observaciones durante el muestreo

Etapa 2: En el Laboratorio

a. Seccionamiento de los perfiles y limpieza de las muestras

Se anotará la longitud total de la muestra y se realizará un registro fotográfico del mismo. Se recomienda fotografiar el perfil con su etiqueta de identificación y la cinta métrica.

Para realizar tasas de secuestro a partir de técnicas nucleares se recomienda seccionar el perfil de sedimento a la mayor resolución posible. [16] Para optimizar el esfuerzo analítico y suponiendo que el perfil es de 1 m de largo, es recomendable realizar el seccionamiento de la siguiente forma: en los primeros 20 cm seccionar cada 1 cm, en los próximos 30 cm seccionar cada 2 cm y luego seccionar cada 5 cm hasta llegar al final del perfil. A cada muestra seccionada se le retirarán las raíces, hojas, madera de gran tamaño y otros cuerpos ajenos al sedimento (conchas, piedras, etc.).

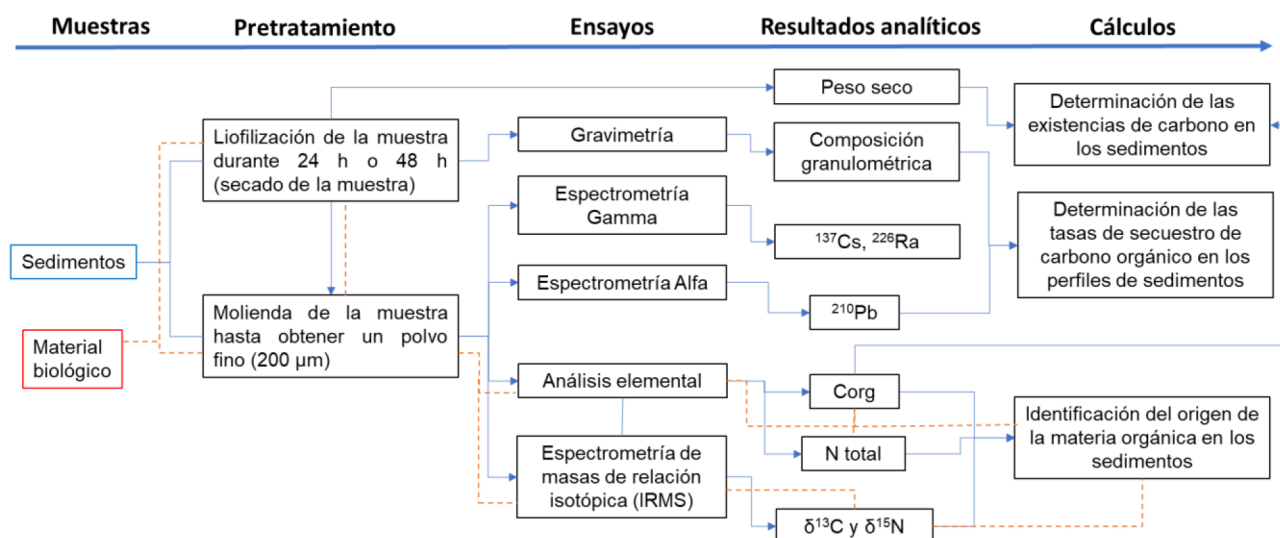


Figura 2. Esquema de los análisis a realizar.

b. Análisis de laboratorio a realizar

Etapas 3: Determinación de las existencias de carbono en los sedimentos

El cálculo está basado en la concentración de carbono orgánico (C_{org}) presente en cada intervalo en que se seccionó el perfil de sedimento, el cual se multiplica por la densidad aparente (masa seca (g) / volumen del intervalo (cm^3)) y por el grosor del intervalo seleccionado (cm). Luego, se realiza la sumatoria de la cantidad de carbono orgánico de los diferentes intervalos para saber la concentración de carbono orgánico total de cada perfil de sedimento, se determina el promedio de cada perfil para el estrato estudiado y se realiza la conversión de g/cm^2 a MgC/ha que es equivalente a toneladas/hectáreas.

Etapas 4: Determinación de las tasas de secuestro de carbono orgánico en los perfiles de sedimentos.

Las capas de sedimentos de los perfiles de sedimentos se datan utilizando radioisótopos. Para los estudios relativos a los últimos 100-150 años del registro sedimentario se han utilizado ampliamente la datación por ^{210}Pb , radionúclido de origen natural perteneciente a la cadena radiactiva del ^{238}U que está presente en los sedimentos debido a la desintegración dentro del propio sedimento (^{210}Pb soportado) y al aporte desde la atmósfera (^{210}Pb en exceso). Es este suministro de ^{210}Pb en exceso el que puede utilizarse para la datación de sedimentos tanto en entornos terrestres como estuarinos y marinos [13], [16].

Existen varios modelos de datación, a partir de los cuales se estima la tasa de acumulación másica (MAR, en sus siglas en inglés) y la tasa de acumulación sedimentaria de cada núcleo [16].

La tasa de secuestro de carbono orgánico se calcula multiplicando la MAR ($gcm^{-2}año^{-1}$) por la cantidad de carbono orgánico de cada perfil (%).

Etapas 5: Identificación del origen de la materia orgánica (MO) en los sedimentos de ecosistemas de carbono azul empleando isótopos estables y análisis elemental.

En zonas costeras, las técnicas isotópicas y elementales son buenas herramientas de investigación para distinguir entre fuentes de MO autóctonas o alóctonas, siempre y cuando se tengan en cuenta los siguientes supuestos: 1) las fuentes de MO en el ecosistema tienen señales isotópicas diferentes y fácilmente identificables 2) esta señal se conserva prácticamente invariable durante la incorporación de la MO en los sedimentos y 3) que la distribución natural de dicha señal en los sedimentos es consecuencia de la mezcla del material producido por estas fuentes [19].

Los isótopos de mayor interés en este tipo de estudio son los isótopos estables de carbono ($^{13}C/^{12}C$), junto con las proporciones de carbono orgánico y nitrógeno total de la materia orgánica sedimentaria (relación C_{org}/N_{total}). En Meyers, P. A. (1994) y Lamb, et. al. (2006) [19],

[20] se propone un esquema integrador que representa en diferentes grupos, toda la mezcla de posibles fuentes de MO en ecosistemas acuáticos, sin embargo, los autores recomiendan, de ser posible, la utilización de datos propios para cada escenario. Por lo tanto, para la identificación del origen de la MO en los sedimentos a estudiar, primeramente, se caracteriza elemental e isotópicamente las posibles fuentes de MO del ecosistema y se plotean estos resultados creando un esquema integrador de las posibles fuentes. Luego se plotean a este esquema los resultados isotópicos ($\delta^{13}C$) y elementales (C_{org}/N_{total}) obtenidos en los sedimentos de cada una de las secciones del perfil. De acuerdo la distribución espacial que tomaron dichas muestras en el esquema se identifican las posibles fuentes de MO. Sin embargo, las conclusiones extraídas de estas evaluaciones suelen ser cualitativas, por lo que también se emplean modelos de balance de masas y mezcla isotópica para cuantificar las contribuciones de las distintas fuentes de MO identificadas [17].

Conclusiones

La guía propuesta integra en un solo documento la diversa información localizada en diferentes metodologías. Es aplicable a cualquier ecosistema de carbono azul (mangle, pasto marino, marisma) y brinda una visión general sobre los pasos a seguir para realizar estudios sobre el secuestro de carbono en los ecosistemas de carbono azul de Cuba.

Referencias bibliográficas

- [1]. Centro de Cooperación del Mediterráneo (UICN). Manual para la creación de proyectos de carbono azul en Europa y el Mediterráneo. Málaga: Centro de Cooperación del Mediterráneo, 2021.
- [2]. KAUFFMAN JB, DONATO D, & ADAME MF. Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Documento de Trabajo 117. Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia: CIFOR, 2013. Disponible en: https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf_files/WPapers/WP117Kauffman.pdf
- [3]. HOWARD J, HOYT S, ISENSEE K, et. al. Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows. Arlington, Virginia, USA: Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature, 2014. Available in: <https://www.unep.org/resources/publication/coastal-blue-carbon-methods-assessing-carbon-stocks-and-emissions-factors>.
- [4]. BENNETT M, MARCH A, RAGUAIN J & FAILLER P. Blueprint for blue carbon: lessons from Seychelles for small island states. *Oceans*. 2024; 5(1): 81-108. doi: 10.3390/oceans5010006.
- [5]. CHASTAIN SG, KOHFELD KE, PELLATT MG, et. al. Quantification of blue carbon in salt marshes of the Pacific coast of Canada. *Biogeosciences*. 2022; 19: 5751-5777, doi: 10.5194/bg-19-5751-2022.
- [6]. SUN Y, ZHANG H, LIN Q, et. al. Exploring the international research landscape of blue carbon : Based on scientometrics analysis. *Ocean Coast. Manag.* 2024; 252: 107106. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2024.107106.
- [7]. MORRISSETTE HK, BAEZ SK, BEERS L, et. al. Belize blue carbon: establishing a national carbon stock estimate for mangrove ecosystems. *Sci. Total Environ.* 2023; 870: 161829. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.161829.
- [8]. ARIAS ORTIZ A, MASQUÉ P, GARCIA ORELLANA J, et. al. Reviews and syntheses : 210 Pb-derived sediment and carbon

- accumulation rates in vegetated coastal ecosystems – setting the record straight. *Biogeosciences*. 2018; 15: 6791-6818. doi: 10.5194/bg-15-6791-2018.
- [9]. LOVELOCK CE, ATWOOD T, BALDOCK J, DUARTE C, *et. al.* Assessing the risk of carbon dioxide emissions from blue carbon ecosystems. *Front. Ecol. Environ.* 2017; 15(5): 257-265. doi: 10.1002/fee.1491.
- [10]. HATJE V, COPERTINO M, PATIRE VF, OVANDO X, *et. al.* Vegetated coastal ecosystems in the Southwestern Atlantic Ocean are an unexploited opportunity for climate change mitigation. *Commun. Earth Environ.* 2023; 4. doi: 10.1038/s43247-023-00828-z.
- [11]. CHATTING M, AL-MASLAMANI I, WALTON M, SKOV MW, *et. al.* Future mangrove carbon storage under climate change and deforestation. *Front. Mar. Sci.* 2022; 9: 781876. doi: 10.3389/fmars.2022.781876.
- [12]. CRUZ PORTORREAL Y, REYES DOMINGUEZ OJ, MILANES CB, MESTANZA RAMÓN C, *et. al.* Environmental policy and regulatory framework for managing mangroves as a carbon sink in Cuba. *Water*. 2022; 14: 3903. doi: 10.3390/w14233903.
- [13]. WECKSTRÖM K, SAUNDERS KM, GELL PA, & SKILBECK GC. *Applications of Paleoenvironmental Techniques in Estuarine Studies*. Springer Dordrecht, 2017. doi: 10.1007/978-94-024-0990-1.
- [14]. NOVAK AB, PELLETIER M, COLARUSSO P, SIMPSON J, *et. al.* Factors influencing carbon stocks and accumulation rates in eelgrass meadows across New England, USA. *Estuaries and Coasts*. 2020; 43(8): 2076-2091. doi: 10.1007/s12237-020-00754-9.
- [15]. BREITHAUPT JL., SMOAK JM, BIANCHI TS S, VAUGHN DR, *et. al.* Increasing rates of carbon burial in Southwest Florida coastal wetlands. *JGR Biogeosciences*. 2020; 125(2): e2019JG005349. doi: <https://doi.org/10.1029/2019JG005349>
- [16]. SANCHEZ CABEZA JA, DÍAZ ASECIO M, & RUIZ FERNÁNDEZ AC. *Radiocronología de sedimentos costeros utilizando 210 Pb: Modelos, Validación y Aplicaciones*. Viena: OIEA, 2012.
- [17]. International Atomic Energy Agency (IAEA). *Manual for the use of stable isotopes in wetland science*. Vienna: IAEA, 2024. [Online]. Available in: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TCS-84web.pdf>
- [18]. HOWARD J, HOYT S, ISENSEE K, TELSZEWSKI M. *et. al.* Coastal blue carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. Arlington, Virginia, USA.: Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature, 2014.
- [19]. LAMB AL., WILSON GP Y LENG MJ. A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}C$ and C / N ratios in organic material. *Earth Sci. Rev.* 2006; 75: (1-4): 29-57. doi: 10.1016/j.earscirev.2005.10.003.
- [20]. MEYERS P. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chem. Geol.* 1994; 114: 289-302.

Recibido: 18 de septiembre de 2024

Aceptado: 31 de octubre de 2024

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en la realización, ni la comunicación del presente trabajo.

Credit/Conceptualización: Liana Beatriz Carballo Rosado, Aniel Guillén Arruebarrena, Alejandro García Moya, Yusmila Helguera Pedraza, Carlos Manuel Alonso Hernández. **Fuentes:** Liana Beatriz Carballo Rosado, Aniel Guillén Arruebarrena, Alejandro García Moya, Yusmila Helguera Pedraza, Carlos Manuel Alonso Hernández. **Análisis formal:** Liana Beatriz Carballo Rosado, Aniel Guillén Arruebarrena, Alejandro García Moya, Yusmila Helguera Pedraza, Carlos Manuel Alonso Hernández. **Adquisición de fondos:** Yusmila Helguera Pedraza, Carlos Manuel Alonso Hernández. **Validación:** Liana Beatriz Carballo Rosado, Aniel Guillén Arruebarrena Alejandro García Moya, Yusmila Helguera Pedraza, Carlos Manuel Alonso Hernández. **Investigación:** Liana Beatriz Carballo Rosado, Aniel Guillén Arruebarrena Alejandro García Moya, Yusmila Helguera Pedraza, Carlos Manuel Alonso Hernández. **Visualización:** Liana Beatriz Carballo Rosado, Aniel Guillén Arruebarrena, Alejandro García Moya, Yusmila Helguera Pedraza, Carlos Manuel Alonso Hernández. **Metodología:** Liana Beatriz Carballo Rosado, Aniel Guillén Arruebarrena, Alejandro García Moya, Yusmila Helguera Pedraza, Carlos Manuel Alonso Hernández. **Escritura – borrador original:** Liana Beatriz Carballo Rosado, Alejandro García Moya, Aniel Guillén Arruebarrena. **Redacción, revisión y edición:** Liana Beatriz Carballo Rosado, Aniel Guillén Arruebarrena, Alejandro García Moya, Yusmila Helguera Pedraza, Carlos Manuel Alonso Hernández.