

Cuantificación del carbono azul en el manglar emplazado en la laguna de Tacarigua, estado Miranda, Venezuela

Quantificação do carbono azul na floresta de mangue localizado na lagoa Tacarigua, estado de Miranda, Venezuela

Quantification of blue carbon in the mangrove forest located in the Tacarigua lagoon, Miranda State, Venezuela

Franklin Nuñez Ravelo y Rossany Calderón Castellanos

Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Pedagógico de Caracas
Centro de Investigaciones "Estudios del Medio Físico Venezolano"
Línea de Investigación "Estudios Ecogeográficos de los Manglares en Venezuela"
Caracas, Venezuela
franklingeove@gmail.com; calderon19@gmail.com

Nuñez: <https://orcid.org/0000-0001-5501-3085>
Calderón: <https://orcid.org/0000-0002-2795-0183>

Resumen

El manglar de la laguna de Tacarigua es el segundos en calidad de conservación de Venezuela; es por ello que se planteó como propósito estimar su reserva de carbono total y CO₂e con base en un estudio de enfoque cuantitativo, ejecutado en 3 fases: (a) campo, permitió coleccionar 79 muestras de suelo superficial y 8 muestras de hojarasca, en 2 parcelas de 20m x 50m, y registrar la altura, diámetro y especie de los manglares; (b) laboratorio, permitió precisar el contenido de CO en el suelo y hojarasca, y (c) oficina, centrada en la estimación del C en la biomasa aérea-subterránea, y CO₂e. Se evidencian diferencias significativas entre las parcelas en estudio. Se estimó que de CT retenido en el manglar es 40,276 MgC/ha⁻¹, correspondiendo a 147 unidades de CO₂ e/ha-1, estimándose para La Boca 35327 Mg de CO₂ y para el Parque Nacional 591254 Mg de CO₂.

PALABRAS CLAVE: carbono total; humedal; carbono orgánico; dióxido de carbono.

Resumo

O manguezal da lagoa de Tacarigua é o segundo em qualidade de conservação da Venezuela, por isso foi proposto o seguinte objetivo: estimar sua reserva total de carbono e CO₂e com base em um estudo de enfoque quantitativo, executado em três fases: (a) campo, permitiu coletar 79 amostras de solo superficial e 8 amostras de folhagem, em duas parcelas de 20m x 50m, e registrar a altura, o diâmetro e a espécie dos manguezais; (b) campo, permitiu precisar o conteúdo de CO no solo e na folhagem, e (c) laboratório, centrado na estimativa do C na biomassa aérea-subterránea e CO₂e. São evidentes diferenças significativas entre as parcelas em estudo. Estima-se que o CT retido no manguezal seja de 40.276 MgC/ha-1, correspondendo a 147 unidades de CO₂ e/ha-1, estimando-se para La Boca 35.327 Mg de CO₂ e para o Parque Nacional 591.254 Mg de CO₂.

PALAVRAS-CHAVE: carbono total; zonas húmidas; carbono orgânico; dióxido de carbono.

Abstract

The mangrove forest in Tacarigua Lagoon is the second best preserved in Venezuela, which is why the following objective was set: to estimate its total carbon and CO₂e reserves based on a quantitative study carried out in three phases: (a) fieldwork, which involved collecting 79 surface soil samples and eight litter samples in two 20m x 50m plots, and to record the height, diameter, and species of the mangroves; (b) laboratory, which allowed the CO content of the soil and leaf litter to be determined; and (c) office, which focused on estimating the C in the above-ground and below-ground biomass and CO₂e. Significant differences were found between the plots under study. It was estimated that the CT retained in the mangrove is 40,276 MgC/ha-1, corresponding to 147 units of CO₂ e/ha-1, with an estimate of 35,327 Mg of CO₂ for La Boca and 591,254 Mg of CO₂ for the National Park.

KEYWORDS: total carbon; wetland; organic carbon; carbon dioxide

1. Introducción

El carbono azul es el dióxido de carbono secuestrado y almacenado como carbono orgánico en los ecosistemas costeros, tales como manglar, praderas de pasto marino, marismas intermareales, entre otros (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales, 2021; Gordillo *et al.*, 2022; Ashford *et al.*, 2023; Choudhary *et al.*, 2024).

En efecto, de los ecosistemas referidos, los manglares representan alrededor del 0,5% de la superficie costera mundial y el 0,7% de la cubierta forestal tropical mundial (Ahalya y Park, 2019). De acuerdo con Caamal (2012), estos ecosistemas aportan gran cantidad de servicios, siendo los más importantes: (a) contribuyen con la pedogénesis a nivel mundial; (b) constituyen hábitat para la anidación, crianza, alimentación y refugio de una gran variedad de especies; (c) protegen la línea de costa de los procesos de erosión marina, y (d) absorben el carbono atmosférico, producen oxígeno y almacena el CO₂.

El papel de los ecosistemas de manglares en la mitigación del cambio climático es pequeño a escala global, pero más significativo en el océano costero tropical y eficaz a escala nacional y regional, especialmente en áreas con altas tasas de deforestación y destrucción (Alongi, 2020).

Herrera *et al.*, (2016) refieren que los ecosistemas de manglar prestan un servicio ambiental relacionado con los gases de efecto invernadero, ya que absorben el CO₂ mediante la fotosíntesis, fijando el carbono en su estructura, incluyendo el tronco, ramas, raíces y hojas, e incluso en sedimentos. Adicionalmente, liberan el oxígeno a través de un ciclo natural, donde también se benefician otros organismos que digieren los carbohidratos presentes en la hojarasca.

Donato *et al.* (2011) afirman que los manglares son los ecosistemas que poseen mayor potencial de captura de carbono. A su vez, Jianxiang *et al.* (2019) sostienen que, en comparación con las marismas sin vegetación, la colonización de manglares puede aumentar el contenido de CO en un radio de 60cm. A nivel mundial, la tasa de acumulación de CO estimada

en manglares, está correlacionada linealmente con la tasa de acreción (Liu *et al.*, 2020). Kauffman *et al.* (2020) estiman que en estas áreas se almacenan a nivel mundial alrededor de 11,7 Mg C: una reserva de carbono en la biomasa aérea de 1,6 Mg C y una reserva de carbono en el suelo de 10,2 Mg C.

Ariyanto y Pringgenies (2024) refieren que el secuestro de carbono es dos o tres veces más eficiente en manglares naturales que en manglares rehabilitados. Kauffman *et al.* (2013) indican que entre el 80 y hasta el 97% de esta reserva de carbono se encuentra en el suelo, ya que los manglares poseen suelos ricos en materia orgánica, y puede permanecer almacenada durante milenios, a diferencia de otros tipos de bosque que la almacenan solo durante décadas.

Islam *et al.* (2023) señalan que el manglar tiene la capacidad de almacenar carbono durante largos períodos, especialmente en sedimentos densos y ricos en materia orgánica, lo que contribuye significativamente a los esfuerzos de mitigación del cambio climático.

Independientemente de la especie dominante, la riqueza de especies o el tamaño (alto o enano) de los manglares, una cantidad particular de carbono orgánico se captura dentro del suelo del manglar (Hredoy *et al.*, 2024).

Cualquier movimiento de este elemento dentro de estos reservorios, se denomina flujo y las conexiones que se generen entre ellos, formaran un 'ciclo cerrado' que teóricamente debe encontrarse en equilibrio o estar balanceado (Houghthon, citado en Serrato *et al.*, 2014). Sin embargo, estos depósitos en la actualidad son altamente vulnerables a las acciones antropogénicas, así como cambios biofísicos como el aumento del nivel del mar y los ciclones; de allí que se hace necesario realizar estimaciones que permitan conocer las potencialidades de almacenamiento de este gas de efecto invernadero. Friess *et al.*, 2020; Choudhary *et al.*, 2024).

Xiao *et al.* (2024) expresan que las áreas de enfoque clave para futuras investigaciones incluyen la protección de los manglares, la mejora de la resiliencia al cambio climático, el

almacenamiento de carbono y el desarrollo de modelos de estimación del flujo de carbono.

Ahora bien, la laguna de Tacarigua, forma parte de los 391km² del territorio que constituyen el Parque Nacional Laguna de Tacarigua (Decreto N°1607 sobre la declaración del Parque Nacional Laguna de Tacarigua, 1974), creado con el objeto de mitigar las afectaciones antropogénicas, vinculadas con la expansión inmobiliaria que amenazaba con convertir estos espacios en lugares urbanizados, poniendo en peligro el equilibrio ambiental de la zona, y preservar esta región natural, por cuyo valor puede convertirse en área de significación nacional y mundial.

De allí que se reconocen como principales valores, los expuestos por Mitsch y Gosselink, (citados en Suárez, 2016), quienes lo sintetizan en tres dimensiones: (a) en lo poblacional: contribuye al sostenimiento de gran cantidad de animales (peces, mariscos, aves), y de algunas especies en peligro de extinción (anfibios, reptiles), al constituirse en fuente natural del ciclo alimenticio y, a su vez, provee recursos que pueden aprovecharse comercialmente, lo cual permite el desarrollo de actividades pesqueras y de acuicultura; (b) como ecosistema: reducen los peligros de inundaciones, mejoramiento de la calidad del agua, y valor estético y recreativo, y (c) a escala global: contribuyen con la estabilización de los niveles globales de nitrógeno, azufre atmosférico, dióxido de carbono y metano.

Resulta alarmante reconocer que a pesar de que el área en estudio cuenta con la protección que le acredita la declaratoria de parque nacional. EL Instituto Nacional de Parques (INPARQUES, 2011), precisa entre las principales amenazas que afectan el equilibrio ecológico de los ecosistemas en la laguna: (a) la deforestaciones, ampliación de la frontera agrícola y utilización de métodos agropecuarios sin técnicas conservacionistas; (b) incendios; (c) manejo inapropiado de desechos sólidos y aguas servidas que desembocan en la laguna; (d) modificaciones en los drenajes de la laguna (los casos del caño Madre Casaña y la Autopista de Oriente), variaciones en los ciclos hídricos y sedimentación, y (e) la pesca artesanal como modo de vida, el filete como técnica

pesquera no sostenible en el tiempo y el desconocimiento y abuso de los ciclos productivos naturales.

En este sentido, resulta propicio citar a Malaver *et al.* (2014), quienes expresaron que: el crecimiento acelerado y no planificado de las poblaciones aledañas al parque y de su área de influencia, unido a la inexistencia de redes cloacales, falta de plantas de tratamiento de aguas servidas en los complejos turísticos circunvecinos y unidades agropecuarias, la incorporación de desechos sólidos, biológicos y orgánicos, han conllevado al deterioro y rápida contaminación físico, química y biológica de la laguna.

Por su parte, Gilman *et al.* (2008) advierten que, si las zonas de manglar son afectadas producto de las acciones antropogénicas, el CO₂ que se encuentra almacenado, será liberado a la atmósfera, dejando de ser un sumidero para constituirse en una fuente de emisión, lo que justifica la necesidad de manejo de dichos ecosistemas costeros, pues su valor en términos de carbono es cada vez más evidente, por los beneficios ambientales que generan.

De allí que, con base en los preceptos antes formulados, la presente investigación se orientó en resolver la siguiente interrogante: ¿Cuál es la reserva de carbono total secuestrado en el manglar emplazado en el sector la Boca de la laguna de Tacarigua, estado Miranda-Venezuela?

Partiendo de lo anterior, se planteó como objetivo de la investigación: estimar la reserva de carbono total en el manglar emplazado en el sector la Boca de la laguna de Tacarigua, estado Miranda-Venezuela a fin de valorar el servicio de este ecosistema en la captura y almacenamiento de los referidos gases de efecto invernadero.

2. Materiales y métodos

2.1 Fases y procedimientos de la investigación

Durante el proceso de investigación se ejecutaron las siguientes fases: (a) campo; (b) laboratorio; (c) análisis estadístico, y (d) oficina.

2.1.1 Fase de campo

La fase de campo tuvo como propósito recolectar datos de los individuos que constituyen el

manglar, tales como especie y perímetro del tronco a la altura del pecho. Adicionalmente, coleccionar muestras de suelo y hojarasca. Para tal fin, se realizó un trabajo de campo, entre el 01 y 04 de agosto de 2021, durante el período lluvioso, hacia el sector La Boca del cordón litoral que separa a la laguna de Tacarigua del mar Caribe. Se estima que el sector presenta un área de aproximadamente 239 ha, cubiertas por manglar. En el referido sector, se delimitaron dos (2) parcelas de 50m x 20m, lo que equivale a 1.000 m² o 0.1 ha. El tamaño de la parcela, se ajusta al criterio referido por MacDicken (1997), quien precisa para el inventario de carbono en vegetación leñosa áreas de 100m² para coberturas muy densas, hasta 1000m² para coberturas muy esparcidas.

La selección de la superficie de muestreo obedeció a ciertos criterios: (a) accesibilidad al área, garantizando que el recorrido pudiese desarrollarse caminando; (b) capacidad de la indumentaria para el muestreo, a fin de resguardar la seguridad y salud de los miembros del equipo de campo; (c) muestrear en un área de menor intervención antropogénica, y (d) procurar el resguardo de los equipos de campo.

En cada parcela, se procedió a la identificación de los individuos por especie de manglar: la parcela 1, se constituye en un bosque mixto, dominado en su 90% por individuos de la especie *Avicennia germinans*, con individuos aislados de *Rhizophora mangle*, y *Laguncularia racemosa*. Mientras que la parcela 2 se evidenció un bosque monoespecífico, dominado por individuos de la especie de *Conocarpus erectus*.

Además de identificar la especie para cada individuo, se procedió a la medición del perímetro a la altura del pecho, así como la recolección de las muestras de suelo a una profundidad de 0 a 20cm, en la base de cada individuo. Adicionalmente, cada parcela se dividió en cuatro cuadrantes, a fin de recolectar la hojarasca expuesta en superficie.

La colecta del suelo a nivel superficial, obedece al criterio propuesto por Ferreira *et al.* (2006), Kauffman *et al.* (2013), Matsui *et al.* (2015), quienes coinciden en expresar que es en los

primero 10cm de profundidad donde se concentra mayor contenido de carbono.

De acuerdo con Kauffman *et al.* (2013), en el reconocimiento de campo, los componentes deberán ser incluido y medido si este: (a) es considerablemente grande; (b) es afectado por el uso del suelo; (c) el futuro uso del suelo es incierto; y/o (d) el tamaño del componente es incierto. Los componentes de carbono pequeños o aquellos susceptibles a ser afectados por cambios de uso del suelo pueden excluirse o muestrearse con menor frecuencia.

Con base en este criterio, se excluyó de la recolección de datos de: (a) la necromasa, ya que solo se evidenció un árbol muerto en pie, y (b) los individuos aislados de *Rhizophora mangle* y *Conocarpus erectus*.

Este procedimiento permitió coleccionar: (a) 79 muestras de suelo superficial, de las cuales 37 corresponde a la parcela 1, y, 42 a la parcela 2. Capturadas en cilindros de polietileno de 5cm de diámetro, las cuales fueron introducidas en bolsas herméticas, y transportadas al laboratorio, refrigeradas en cava; (b) 79 registros de perímetro del tronco a la altura del pecho, con la misma distribución que se presentó para las muestras de suelo, y (c) 391 g de hojarasca, correspondientes a 124 g en la primera parcela, y 267 g en la segunda. Estas fueron resguardadas en bolsas herméticas, y transportadas al laboratorio refrigeradas en cava.

2.1.2 Fase del laboratorio

Se ejecutó con el propósito de cuantificar el contenido de carbono orgánico presente en el suelo y la hojarasca recolectadas durante la fase anterior, y atendiendo al protocolo establecido por Walkley y Black (1934), mediante el cual se promueve la oxidación de la muestra por dicromato de potasio al 8%, en presencia de ácido sulfúrico al 96%.

2.1.3 Fase de oficina

En esta fase se estimó: (a) el contenido de carbono en la biomasa aérea; (b) el contenido de carbono en la biomasa subterránea, y (c) el carbono total. Para el contenido de la biomasa aérea, se aplicó la ecuación propuesta por

Komiyama *et al.* (2005), para especies de manglar. Una vez conocida la biomasa total, se procedió a estimar el carbono presente en la biomasa aérea, para ello se empleó el factor de conversión de 0,50 (Yepes *et al.*, 2016). El promedio obtenido del cálculo del contenido de carbono en la biomasa por individuo para el área delimitada, se expresa en Mg/ha^{-1} (Komiyama *et al.*, 2005).

En cuanto al contenido de la biomasa subterránea, Meng *et al.* (2021), refieren que existen relaciones positivas entre las reservas de carbono sobre y bajo el suelo en bosques de manglares con diferentes propiedades y en diferentes escalas espaciales, lo que sugiere que las reservas de carbono subterráneas y totales de manglares pueden estimarse con base a las reservas de carbono sobre el suelo. Para su determinación, se empleó la ecuación propuesta por Komiyama *et al.* (citado en Kauffman *et al.*, 2013). Para la conversión en carbono, se multiplicó el promedio de cada parcela, por la concentración de carbono en el suelo estimado para una ha, expresado en Mg/ha^{-1} (Kauffman *et al.*, 2013).

La estimación del Carbono Total, es producto de la totalización del contenido de carbono presente en cada componente: suelo, biomasa aérea, biomasa subterránea y hojarasca.

3. Resultados

3.1 Carbono orgánico en el suelo

Los datos correspondientes a las muestras de la parcela 1, presentan una distribución homogénea con varianza 0,019 y un coeficiente de variación de 20,58%, por lo que se asume que se trata de una muestra muy compacta. Al contrastar con la distribución de los datos en la parcela 2, se puede afirmar que aun cuando esta última también es homogénea, al presentar varianza de 0,001, el coeficiente de variación es de 29,14%, lo que resulta superior al de la parcela 1, indicando que existe una mayor dispersión relativa en los datos correspondientes a esta parcela. En síntesis, se asume que ambos grupos muestrales presentan diferentes varianzas o variabilidad de los datos con relación a sus respectivas media.

Ahora bien, para la parcela 1, se estimó un contenido de COs, entre 0,46 y 1,02% por cada

gramo de suelo, para un promedio de 0,69%, mientras que para la parcela 2, este contenido varía entre 0,05 y 0,21% por cada gramo de suelo, para una media de 0,12%.

La prueba *t* para dos conjuntos de muestras con varianzas desiguales, muestra que el estadístico *t* (7,94) es superior que el valor crítico de *t* de dos colas ($6 \cdot 10^{-10}$), por lo que se acepta que existe diferencia estadísticamente significativa al contrastar la media aritmética de las parcelas en estudio.

Lo anterior permite afirmar que en la parcela 1, se evidencia un mayor aporte de Cos que el registrado en la parcela 2. Con base en los resultados obtenidos, se estima que la parcela 1 contiene $35,39 \text{ Mg/ha}^{-1}$, mientras que la parcela 2 presenta $6,83 \text{ Mg/ha}^{-1}$, lo que permite establecer una media de $21,11 \text{ Mg/ha}^{-1}$ (TABLA 1).

TABLA 1. Carbono total en el suelo (Cts).

Fuente: elaboración propia

Parcela	%CO	Cts (Mg/ha^{-1})
1	0,69	35,39
2	0,12	6,83
Promedio	0,40	21,11

Nota: Mg = Megagramos = 1 tonelada = 1000 kg

3.2 Carbono en la biomasa aérea

La parcela 1, dominada por individuos de *Avicennia germinans* se estima entre 0,43 y $64,23 \text{ Mg/ha}^{-1}$ para una media de $19,14 \text{ Mg/ha}^{-1}$, en contraste con los valores obtenidos para la parcela 2, dominada por *Conocarpus erectus*, en la que se registran entre 0,03 y $39,71 \text{ Mg/ha}^{-1}$, con un promedio de $4,66 \text{ Mg/ha}^{-1}$.

La prueba U de Mann-Whitney, para distribuciones no normales de muestras independientes, permite evidenciar que existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos conjuntos de muestras: el valor de Z es superior al valor crítico estimado, por lo que se rechaza la hipótesis de igualdad de medias.

En general, se estima que el manglar en estudio contiene $11,90 \text{ Mg/ha}^{-1}$ de carbono orgánico en la biomasa aérea (TABLA 2).

TABLA 2. Carbono total en la biomasa aérea.

Fuente: elaboración propia

Parcela	C (Mg/ha ⁻¹)
1	19,14
2	4,66
Promedio	11,90

Nota: Mg = Megagramos = 1 tonelada = 1000 kg

3.3 Carbono en la biomasa subterránea

Los datos correspondientes al C en la biomasa subterránea, presentan una distribución heterogénea, con varianzas distintas, Esto permite suponer que, si bien ambas parcelas presentan una alta dispersión al comparar el conjunto de datos y con su respectiva media, tal variación es mayor en la parcela 2 (230% CV) que en la 1 (89,15% CV).

En la parcela 1, se estimó el contenido de carbono orgánico en biomasa subterránea entre 0,468 y 47,13 Mg/ha⁻¹ para una media de 13,24 Mg/ha⁻¹, en contraste con los valores obtenidos para la parcela 2, en la que se registran entre 0,004 y 4,13 Mg/ha⁻¹, para un promedio de 0,65 Mg/ha⁻¹.

La prueba U de Mann-Whitney, para distribuciones no normales de muestras independientes, permite evidenciar que existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos conjuntos de muestras: el valor de Z = 24, es superior al valor crítico estimado en 1,95, por lo que se rechaza la hipótesis de igualdad de medias. En general, se estima que en promedio (TABLA 3), el manglar en estudio contiene 7,26 Mg/ha⁻¹ de carbono orgánico en la biomasa subterránea.

TABLA 3. Carbono total en la biomasa subterránea.

Fuente: elaboración propia

Parcela	C(Mg/ha ⁻¹)
1	13,874
2	0,654
Promedio	7,264

3.4 Carbono orgánico en la hojarasca

La parcela 1 presentó un monto de 92,73 g de carbono orgánico en la hojarasca, registrándose montos entre 19,77 y 29,96 g, para una media

estimada de 23,18 g. En la parcela 2, se evidenció un total de 197,75 g de carbono orgánico, con montos que varían entre 36,18 y 61,73 para una media de 49,44 g.

El análisis comparativo de contraste de media, arrojó un valor de *t* de 4,5, superior al valor crítico de *t* de dos colas, estimado en 2,77. Esto permite descartar la igualdad de media, y afirmar que existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos de muestras. En general, se estima que la producción de carbono orgánico vinculado con la hojarasca para el área de estudio es de 0,0014 Mg/h¹ (TABLA 4).

TABLA 4. Carbono total en la hojarasca.

Fuente: elaboración propia

Parcela	gr/parcela ⁻¹	gr/h ⁻¹	C (Mg/h ⁻¹)
1	92,73	927,30	0,00092
2	197,75	1977,53	0,00197
Promedio			0,00145

3.5 Carbono orgánico total en el manglar

Se estima que, en el sector en estudio, la reserva de carbono es de 40,276 Mg/ha⁻¹. En la TABLA 5, se presentan una síntesis de la distribución del CO en los diferentes componentes en estudio del manglar: el suelo constituye el sector de mayor reserva de CO con 52,416% del total. Le siguen en orden de ponderación la biomasa aérea (29,546%), biomasa subterránea (18,035) y hojarasca (0,003%), (TABLA 5).

TABLA 5. Distribución del carbono total.

Fuente: elaboración propia

Componente del manglar	CO (Mg/ha ⁻¹)	%
C en el suelo	21,111	52,416
C en la biomasa aérea	11,900	29,546
C en la biomasa subterránea	7,264	18,035
C en la hojarasca	0,001	0,003
Carbono Total	40,276	100

El carbono retenido en el manglar (CRM) para el sector la Boca en la laguna de Tacarigua es de 9626 Mg. Considerando que: (a) solo se identificó

la dominancia de las especies *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*, emplazadas en las parcelas 1 y 2 respectivamente, y (b) en el supuesto de que las condiciones fisiográficas de toda el Parque Nacional que las conforman el sector la Boca, se puede inferir que el carbono orgánico retenido es de 161104,67 Mg (TABLA 6).

TABLA 6. Reserva de CO en el manglar: Sector la Boca y Parque Nacional. Fuente: elaboración propia

Indicador	Valor Estimado
Carbono Total (Mg/ha ⁻¹)	40,27
Área (ha) en el sector La Boca	239,00
CRM (Mg)/La Boca	9626,00
Área (ha)/Cubierta por manglar (P, Nacional)	4000,00
CRM (Mg)/Parque Nacional	161104,67

No obstante, se reconoce que este valor pudiese incrementar, ya que existen otras especies de manglar, como el *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*.

3.6 CO₂ equivalente

A partir de la reserva de carbón identificada, se estima 147.83 unidades de CO₂ e/ha⁻¹. Esto permite suponer que en el sector la Boca, se estiman 35327.43 Mg de CO₂ y para el parque nacional 591254.12 Mg de CO₂.

4. Discusión

4.1 Carbono orgánico en el suelo (cos)

De acuerdo con Kida y Fijitake (2020), posiblemente los mecanismos primarios para el secuestro y estabilización del carbono en el suelo de los manglares, esté vinculado con el entramado de raíces, y la inhibición de las enzimas de fenol oxidasa en condiciones anóxicas, aunado a la inmovilización del CO inducida por la salinidad presente en el suelo.

Atwood *et al.* (2017), afirman que la diversidad de especies en el bosque de manglar, contribuye a aumentar su potencial de reserva: los bosques que contienen 5 géneros presentan entre un 70 y un 90% más de reservas de carbono del suelo por unidad de superficie que aquellos con menor número de especies.

Yépez (2021), refiere que posiblemente tal diferencia en el aporte de CO al suelo, está dada por el patrón estructural, al inferir que en el sector la Boca de la laguna de Tacarigua, los individuos de *Avicennia germinans* presentan altura, DAP, cobertura cerrada y área basal significativamente superior a los individuos de *Conocarpus erectus* emplazados en la parcela 2, Tal desarrollo, posiblemente introduce modificaciones en el aporte de CO al suelo.

Lo anterior guarda correspondencia con lo reportado por Ugas (2016), quien refiere para el manglar emplazado en la península de Chacopata, que las mayores reservas de carbono orgánico en el suelo se ubican en aquellas superficies cubiertas por el manglar y más específicamente en la cobertura cerrada de dicho bosque.

En Venezuela, Núñez *et al.* (2021), estimó para Boca de Uchire de 0.08 %CO(g⁻¹) en *Avicennia germinans*, y 0,13 %CO(g⁻¹) en *Conocarpus erectus*. Por su parte, Calderón (2021) reportó para el delta del río Unare, 0,30 %CO(g⁻¹) en zonas cubiertas por *Avicennia germinans*, mientras que Herrera (2021) estimó 0,31 *Avicennia germinans*, para el mismo sector. Tales reportes, permiten afirmar que los valores obtenidos en el estudio, se ubican dentro del rango reportado.

Ahora bien, Ernawati *et al.* (2024) afirman que entre los factores que pudiesen incidir en las diferencias de acumulación de CO en el suelo, se encuentran las condiciones hidrológicas, en particular el pH, la disponibilidad de oxígeno, los nutrientes, el contenido de agua, la temperatura y la salinidad, los cuales pueden cambiar la utilidad del carbono almacenado en el suelo para el metabolismo microbiano en condiciones aeróbicas y anaeróbicas.

En este sentido, es importante destacar que los reportes de Carbono total en el suelo en la literatura, presentan rangos muy variados: en Venezuela, Núñez *et al.* (2021) estimó 4,41 C (Mg/ha⁻¹), mientras que Calderón (2021) refiere para el área de estudio 17,47 C (Mg/ha⁻¹); en México, Agraz *et al.* (2020) reporta valores entre 30,02 y 50,49 C (Mg/ha⁻¹); Ochoa (2019) refiere 175 C (Mg/ha⁻¹), Valdés *et al.* (2011) entre 73,7 y

106,7 C (Mg/ha^{-1}), y Sánchez *et al.* (1997) entre 255,54 y 284,2 C (Mg/ha^{-1}), mientras que, en Colombia, Bolívar *et al.* (2019) refirió variaciones entre 10 y 264 C (Mg/ha^{-1}).

Entre los posibles factores que potencian la acumulación e inciden en las diferencias estimadas: la potencialidad de la especie de manglar y sus asociaciones, el grado de desarrollo estructural del bosque, la posición topográfica y los procesos geomorfológicos dominantes, entre otros.

Si bien, el contenido de carbono orgánico en el suelo se ubica en los rangos estimados para otras zonas de Venezuela y Colombia, es posible que esto esté condicionado por el nivel de evolución estructural de los individuos muestreados: Yépez (2021) señala que los individuos de *Avicennia germinans* presentan en promedio un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 15,38cm, mientras que para los de *Conocarpus erectus* la media estimada es de 4,38. Esta condición, en atención a las categorías diamétricas propuestas por Sánchez *et al.* (1997), permiten afirmar que en el caso de la parcela 1, se ubican en un estado latizal (DAP entre 5,1 y 15 cm) lo cual corresponde a un nivel intermedio de evolución, mientras que los individuos emplazados en la parcela 2, se encuentran en un estado brizal (DAP entre 1 a 5 cm, lo que supone un estado de juventud).

Ochoa (2019) refieren que el almacenaje de carbono en suelo y el desarrollo estructural de los individuos de manglar, presentan alta correlación ya que, a mayor tamaño, mayor producción de materia y carbono orgánico. De acuerdo con Bouillon *et al.* (2009), la acumulación de CO en estos ambientes se encuentra en un rango de 1,39 a 6,54 Mg/ha^{-1} al año.

4.2 Carbono en la biomasa aérea

Kauffman *et al.* (2013) refieren que los árboles que presentan un DAP menor a 20cm, contribuyen en menor cantidad de biomasa, mientras que aquellos en donde el DAP es mayor a 20 cm su aporte aumentará.

En efecto, Giri *et al.* (2011) reportan que en la Reserva La Encrucijada, Chiapas, México, el DAP presentó una alta correlación (1,00) con la

biomasa aérea, por lo que validan que el referido parámetro estructural incide el contenido de biomasa que aporta los individuos.

Por su parte, Savari *et al.* (2020) refieren que existen evidencias de una correlación positiva entre la biomasa de la vegetación y el carbono orgánico del suelo, lo que indica el papel de la vegetación en la generación de CO del suelo.

Si bien, los valores promedios reportados para la zona por Yépez (2021) no sobrepasan el criterio diamétrico referido, es posible afirmar que debido a que los individuos ubicados en la parcela 1 presentan mayor desarrollo estructural, el contenido en la biomasa como se evidencia, es mayor que los reportados para los individuos emplazados en la parcela 2, cuyo desarrollo estructural es comparativamente inferior.

Algunas estimaciones del carbono orgánico en la biomasa aérea en diversos bosques de manglar, evidencian que el valor obtenido, es superior al reportado para los manglares emplazados en Boca de Uchire -Venezuela (Núñez y Ugas, 2018), la Reserva La Encrucijada y Península de Yucatán en México (Velázquez *et al.*, 2019). Sin embargo, es similar al reportado por Ochoa (2019) para Baja California, e inferior que lo reportado por Agraz *et al.* (2018) para el sector de La Reserva dominado por *Rhizophora mangle*.

A modo de síntesis preliminar, se reconoce que en la zona de estudio la reserva de carbono en la biomasa aérea, presenta valores que se ubican en el rango de los reportados para bosques con similares características de composición y estructura.

4.3 Carbono en la biomasa subterránea

Santos *et al.* (2017) afirman que las estimaciones sobre las reservas de carbono de la biomasa de las raíces subterráneas en el mundo, indican que en este componente el CO oscila entre 0,5 Mg/ha^{-1} y 263 Mg/ha^{-1} , y que este aporte de la biomasa subterránea ha demostrado ser cada vez más importante a medida que se realizan nuevos estudios que muestran que la relación entre biomasa aérea y subterránea puede ser inferior a 1:1.

Con relación a las referidas diferencias significativas precisadas entre la parcela 1 y 2, es

propicio aludir lo expuesto por Guerra *et al.* (2005), quienes advierten que el crecimiento de la raíz en términos de su elongación o grosor, está íntimamente vinculado con factores como el abastecimiento de agua, aireación, composición química y física del suelo, afirmando que en sitios de desarrollo patogenético pobre se desarrolla mayor proporción de biomasa de raíces que en sitios de mejor calidad, por lo que la proporción de la biomasa de raíces es mayor cuando existen restricciones de humedad y nutrientes, siendo que la proporción de raíces finas es ligeramente mayor en sitios pobres o que presentan restricciones para el crecimiento y para la penetración de raíces.

Tales consideraciones son inferidas para el área de estudio, toda vez que el suelo en la parcela 1, dominada por la especie *Avicennia germinans*, se caracteriza por ser pantanoso, con nivel freático próximo a la superficie, mal drenado, lo que posiblemente motive en esta especie la necesidad de una mayor producción de raíces. En efecto, Jiménez y Lugo (2000) destacan que esta especie desarrolla un sistema radical subterráneo superficial con raíces hundidoras y neumatóforos con geotropía negativa que se desarrollan a partir de raíces laterales horizontales. En el caso de la parcela 2, ubicada sobre el cordón litoral, en donde se desarrolla el *Conocarpus erectus*, la textura del suelo tiene hacia lo arenoso, con nivel freático a escasos centímetros de la superficie y moderada infiltración, Esto supone mejores condiciones que las descrita para la parcela 1, lo que posiblemente induzca a que los manglares tengan un sistema de raíces menos desarrollado que lo referido para el caso anterior.

En efecto, Yáñez *et al.* (2002) afirman que esta especie puede encontrarse en zonas más arenosas y ocupar zonas de tierra firme hasta de 40 a 50 msnm. Dewiyanti *et al.* (2024) sostienen que la biomasa de las raíces o biomasa subterránea de manglares es directamente proporcional a la biomasa aérea, por lo que, cuanto mayor sea el valor de la biomasa de los árboles, mayor será la biomasa de las raíces de las plantas de manglares. Herrera *et al.* (2016) evidencian que la posición topográfica y el tipo

de manglar, inciden en un mayor crecimiento de las raíces: los manglares ribereños (27,9 Mg C ha⁻¹), franja (12,1 Mg C ha⁻¹), chaparro (9,4 Mg C ha⁻¹), mientras que el manglar de cuenca presentó el valor más bajo de carbono orgánico en raíces (7,6 Mg C ha⁻¹).

Si bien el contenido de carbono en la biomasa subterránea es variado, y depende en buena medida, y como ya hemos referido, no solo de las condiciones estructurales del manglar, sino de las condiciones edáficas en donde este se desarrolla, se puede afirmar que la reserva identificada para el área de estudio, se ubica entre los rangos referidos por la literatura: siendo superior que lo reportado por Calderón (2021) para el delta del río Unare, sistema ecológico próximo por su ubicación al área de estudio, pero con un desarrollo estructural de menor evolución. Por su parte, Ochoa (2019), reportó para Baja California entre 24,04 a 44,84 CO (Mg/ha⁻¹), y Herrera *et al.* (2016), evidenció variaciones por tipo de manglar: ribereño 27,9 Mg/ha⁻¹; Franja 12,1 Mg/ha⁻¹, Chaparro 9,4 Mg/ha⁻¹, y Cuenca 7,6 Mg/ha⁻¹.

4.4 Carbono en la hojarasca

La hojarasca es el componente del manglar que menor proporción de CO aporta; sin embargo, su reconocimiento es fundamental para tener una aproximación compleja de las potencialidades del ecosistema.

Mulaya y Arlen (2018) refieren que estas suelen ser descompuesta parcialmente por bacterias y hongos en nutrientes disueltos. Los nutrientes producidos son útiles para el crecimiento de los manglares, así como una fuente de detritos que luego será explotada por los organismos acuáticos.

Camacho *et al.* (2022) sostienen que en manglares de áreas con influencia de ríos la mayor proporción de agua dulce durante las inundaciones de la época de lluvias favorecen el crecimiento de las hojas y, en particular, de las estructuras reproductivas, debido a la reducción de estrés fisiológico por la disminución de la salinidad en el suelo, No obstante, durante la temporada seca, la disminución de la precipitación, aunado al aumento de la

temperatura, favorece el aumento de la evapotranspiración, así como la concentración de sales en el suelo, lo cual produce estrés hídrico en la planta, generando un alto costo energético para el manglar, el cual responde con la caída de hojas, reflejándose en el aumento de este flujo hacia el suelo.

Farhaby *et al.* (2023) refieren que factores naturales como las condiciones climáticas, la dirección y velocidad del viento y los movimientos de los organismos vivos, también pueden afectar la producción de hojarasca, por lo que puede introducir ciertas diferencias en el bosque.

Mamidala *et al.* (2022) afirman que el ciclo eficiente de nutrientes a través de la descomposición de la hojarasca, a menudo regula la alta productividad y el subsiguiente secuestro de carbono de los ecosistemas de manglares a lo largo del límite entre la tierra y el océano.

En efecto, se estima que aproximadamente entre el 30 y el 50% de la materia orgánica en las hojas de manglares es lixiviable, y el material restante está compuesto de polímeros estructurales, celulosa, hemicelulosa y lignina por lo que se ha sugerido que las hojas sumergidas liberan cantidades sustanciales de CO a los cuerpos de agua circundante en un período de tiempo relativamente corto, probablemente en horas (Boto *et al.* y Kristenden *et al.*, citados en González *et al.*, 2024).

Yépez (2021) sostienen que si bien el área colonizada por el *Conocarpus erectus* es la que presenta niveles más bajos de salinidad en el suelo, con una media estimada de 0,573 dS/m, esta especie se ubica generalmente bajo concentraciones de salinidad altas que van de 0 a 0,0009 dS/m, con tolerancia hasta 0,00012 dS/m, Por lo que posiblemente, tales niveles de salinidad estén generando estrés hídrico, e induzca a la planta a liberar parte de sus hojas. Por su parte, Camacho (2022) reporta para el golfo de México, valores entre 0,56 a 2,85 Mg/ha⁻¹, y Martínez *et al.* (2014), reportaron para el Caribe colombiano, un promedio de 0,00043 Mg/ha⁻¹.

4.5 Carbono orgánico total (COT) en el manglar

Sitoe *et al.* (2014) señalan que en el manglar de la Bay de Sofala ubicada en Mozambique, el almacenamiento total promedio de carbono fue de 218,5 Mg/ha⁻¹, de los cuales alrededor del 73 % se almacena en el suelo.

Tal distribución guarda correspondencia con lo sustentado por Kauffman *et al.* (2013) quienes advierten que el suelo es el componente de mayor efectividad en el secuestro de carbono en los ecosistemas de manglares, el carbono en la biomasa subterránea, suele ser inferior que, en la biomasa aérea y la hojarasca, constituye el componente de menor aporte de carbono a la reserva.

Vinod *et al.* (2019), estiman para una franja de manglar de 900 ha, en el humedal de Thalassery de la India, un stock total de carbono de 153,64 Mg/ha⁻¹, por lo que asumen que este manglar tiene el potencial de secuestrar y almacenar aproximadamente 138276 Mg, por lo que consideran que es imperativo que los hábitats de manglares se restauren y protejan como medida de mitigación a los desafíos que presenta el calentamiento global.

Trissanti *et al.* (2022), precisan para el manglar emplazado en la aldea de Pusakajaya Utara en Indonesia, con un área 39,62 ha, una reserva de carbono total estimado de 1264,67 Mg/ha⁻¹. Calderón *et al.* (2025) estiman para el manglar emplazado en el tramo central de la costa venezolana, específicamente en los Totumos, una reserva de 32,14 Mg/ha⁻¹.

La cuantificación del carbono orgánico en distintos mangles, deja en evidencia que su acumulación está vinculada al desarrollo estructural del bosque, las especies dominantes, las condiciones geomorfológicas y edáficas, entre otras, Para el caso de la zona de estudio, el valor estimado se ubica en el rango de lo reportado por la literatura: similar a lo estimado para el delta del río Unare en Venezuela y laguna Grande en México, pero con un potencial inferior al referido para áreas de mayor complejidad ecosistémica.

4.6 CO₂ equivalente

El valor estimado de CO₂ equivalente, para el bosque de manglar emplazado en el sector la

Boca de la laguna de Tacarigua, se aproxima a los 54189 Mg reportado para el delta del río Unare (Calderón, 2021) y los 63197 del sector de Baja California (Ochoa, 2019).

5. Conclusiones

Al término de la investigación y en correspondencia con el propósito declarado, se presentan las siguientes conclusiones sobre el manglar emplazado en el sector la Boca de la laguna de Tacarigua, considerando las condiciones del área de estudio, durante el período de precipitaciones:

- El manglar se encuentra actualmente en estado de evolución intermedio, con potencialidad en sus diversos componentes para el secuestro del carbono orgánico;
- El contenido de carbono en suelo es de 21,11 Mg/ha⁻¹ con diferencias significativas reconocidas, según la especie dominante en superficie: la zona dominada por *Avicennia germinans* presentó mayor contenido de CO en el suelo, que la dominada por *Conocarpus erectus*;
- El carbono orgánico promedio estimado para la biomasa aérea fue de 11,90 Mg/ha⁻¹ evidenciándose diferencias significativas entre las especies en estudio: la zona dominada por *Avicennia germinans* presentó mayor contenido de CO en la biomasa aérea, que la dominada por *Conocarpus erectus*;
- Para el carbono de la biomasa subterránea se cuantifico un promedio de 7,26 Mg/ha⁻¹, revelándose diferencias significativas entre las especies colonizantes en estudio: la zona dominada por *Avicennia germinans* presentó mayor contenido de CO en la biomasa subterránea, que la dominada por *Conocarpus erectus*;
- Tales diferencias en el contenido de carbono orgánico por componente del Manglar,

posiblemente respondan a las diferencias en el desarrollo estructural de los manglares, siendo la *Avicennia germinans* la que presenta un mayor desarrollo;

- En lo que respecta al carbono en la hojarasca, se cuantifico una concentración promedio de carbono en la hojarasca de 0,001 Mg/ha⁻¹, con diferencias significativas entre las especies colonizantes en estudio: la zona dominada por *Conocarpus erectus* presentó mayor contenido de CO en la hojarasca, que la dominada por *Avicennia germinans*, Esto posiblemente se deba a la respuesta fisiológica del *Conocarpus erectus* a las condiciones de salinidad del suelo sobre el cual se desarrolla;
- Se estima que, en general, el área muestreada presenta una reserva de carbono de aproximadamente 40,276 Mg/ha⁻¹, lo que permite estimar para el manglar emplazado en el sector la Boca una reserva de 9626 C Mg/ha⁻¹ y para el Parque Nacional 161104 C Mg/ha⁻¹. En relación con la estimación para el Parque Nacional, se reconoce como limitante el no muestrear las áreas colonizadas por otras especies como *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*, cuyas potencialidades forestales en la captura de carbono orgánico, pudiesen incidir en el promedio estimado;
- Se puede afirmar que el manglar emplazado en la laguna de Tacarigua, pese al nivel de intervención antropogénica que le afecta en la actualidad, contribuye con el equilibrio del sistema climático, al almacenar 40.28 Mg/ha⁻¹ de carbono, lo que equivale a 35327.43 CO₂ e/Mg para el sector la Boca, y 591254.12 CO₂ e/Mg para toda el área cubierta por manglar.

6. Referencias citadas

- AHALYA, A. & J. PARK. 2019. "Blue Carbon Stock of Mangrove Ecosystems". *International Journal of Science and Research*, 8(2): 1-5. Disponible en: <https://www.researchgate.net > 3...> . [Consulta: abril, 2022].
- ALONGI, D. 2020. "Global significance of mangrove blue carbon in climate change mitigation". *Sci Journal*, 2(3): 67. Disponible en: DOI:[10.3390/sci2030067](https://doi.org/10.3390/sci2030067). [Consulta: abril, 2022].
- AGRAZ, C.; CHAN, C.; CHÁVEZ, J.; OSTI, J.; EXPÓSITO, G.; ALONSO, V.; ... y E. RIVERA. 2020. "Reserva de carbono en un ecosistema de manglar al norte de México: cambios ambientales durante 35 años". *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 30(1). Disponible en: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.2910>. [Consulta: febrero, 2021].
- ARIYANTO, D. & D. PRINGGENIES. 2024. "Carbon sequestration rate in sediment mangroves from natural and rehabilitated mangroves". *Global Journal of Environmental Science and Management*, Disponible en: <https://doi.org/10.22034/gjesm.2024.04.27>. [Consulta: abril, 2022].
- ASHFORD, O.; BONOTTO, E.; CIFUENTES-JARA, M.; GLASS, L.; HOWARD, J.; LANDIS, E.; ... & T. THIELE. 2023. *The blue carbon handbook. Blue carbon as a nature-based solution for climate action and sustainable development*. High level panel for A sustainable ocean economy. Disponible en: DOI:[10.69902/566a16de](https://doi.org/10.69902/566a16de). [Consulta: abril, 2022].
- ATWOOD, T.; CONNOLLY, R.; ALMAHASHEER, H.; CARNELL, P.; DUARTE, C.; EWERS, C.; ... & E. LOVELOCK. 2017. "Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses". *Nature Climate Change*, Disponible en: <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE3326>. [Consulta: marzo, 2022].
- BOLÍVAR, A.; CAMACHO, C.; ORDÓÑEZ, N.; GUTIÉRREZ, J.; ÁLVAREZ, G.; GUEVARA, M.; ... y R. VARGAS. 2019. "Estimación de carbono orgánico del suelo en Colombia, una herramienta de gestión del territorio". *Ecosistemas*, 30(1). Disponible en: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2019>. [Consulta: junio, 2023].
- BOUILLON, S.; RIVERA, V.; TWILLEY, R. & J. KAIRO. 2009. "Mangroves". En: D. LAFFOLEY y G. GRIMSDITCH (Comp.), *The Management of Natural Coastal Carbon Sinks*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Disponible en: <https://portals.iucn.org/>. [Consulta: junio, 2021].
- CAAMAL, J. 2012. *Almacenes de Carbono en Diferentes tipos ecológicos de Manglares en un escenario cársico*. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Recursos del Mar. Yucatán, México. Trabajo de Grado en Ciencias especialidad de Biología Marina.
- CALDERÓN, R. 2021. *Cuantificación de la reserva de carbono total y dióxido de carbono equivalente en el bosque monoespecífico de Avicennia germinans ubicado en el delta del río Unare, estado Anzoátegui Venezuela*. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico de Caracas. Caracas, Venezuela. Trabajo de Grado (Inédito).

- CALDERÓN, R.; NÚÑEZ, F.; UGAS, M.; YÉPEZ, G. y F. RIVAS. 2025. "Carbono orgánico del suelo colonizado por *Avicennia germinans* (L.) L en el sector Los Totumos, Miranda, Venezuela." *Revista Geográfica de América Central*, 1(74): 137-152. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.74-1.5>. [Consulta: abril, 2025].
- CAMACHO, A.; HERRERA, J.; CAAMAL, J. y C. TEUTLI. 2022. "Influencia de la salinidad en el almacén y flujos de carbono en manglares de franja de una zona cárstica". *Madera y Bosque*, 27(4): n[umero especial. Disponible en: <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2742426>. [Consulta: octubre, 2023].
- CHOUDHARY, B.; DHAR, V. & A. PAWASE. 2024. "Blue carbon and the role of mangroves in carbon sequestration: Its mechanisms, estimation, human impacts and conservation strategies for economic incentives". *Journal of Sea Research*, 199. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seares.2024.102504>. [Consulta: enero, 2025].
- DECRETO SOBRE LA DECLARACIÓN DEL PARQUE NACIONAL LAGUNA DE TACARIGUA (Decreto N°1607). 1974). Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 30.337 (Extraordinario), Febrero 22, 1974.
- DEWIYANTI, I.; KHAIRINA, K. y S. EL RAHIMI. 2024. Carbon stock estimation of mangrove ecosystem in the Kuta Raja Subdistrict, Banda Aceh, Aceh Province. *BIO Web of Conferences*. ICFAES. 87. Disponible en: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248702008>. [Consulta: febrero, 2025].
- DONATO, D.; KAUFFMAN, J.; MURDIYARSO, D.; KURNIANTO, S.; STIDHAM, M. & M. KANNINEN. 2011. "Mangroves among the most carbon rich forests in the tropics". *Nature Geoscience*, 4: 293-297. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>. [Consulta: enero, 2020].
- ERNAWATI, N.; ASTARINI, I.; SUARNA, I.; AS-SYAKUR, A.; PERWIRA, I.; KRISNA, A. & I. SUGIANA. 2024. "Comparison of Soil Carbon-Nitrogen Ratio at Two Different Mangrove Ecosystem in Bali, Indonesia". *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25(7): 343-354. Disponible en: <https://doi.org/10.12912/27197050/188738>. [Consulta: abril, 2025].
- FARHABY, A.; SAPRIYAD; HENRY & M. ARIZONA. 2023. Analysis of mangrove litter production and carbon stock in Sukamandi Village, Belitung Timor Regency. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1267/1/012061>. [Consulta: enero, 2025].
- FERREIRA, T.; OTERO, X.; VIDAL, P & F. MACÍAS. 2006. "Are mangrove forest substrates sediments or soils? A case study in southeastern Brazil". *Catena*, 70: 79-91. Disponible en: DOI:[10.1016/J.CATENA.2006.07.006](https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2006.07.006). [Consulta: enero, 2025].
- FRIESS, D.; KRAUS, K.; TAILLARDAT, P.; ADAME, M.; YANDO, E.; CAMERON, C; ... & M. SILLANPAA. 2020. "Mangrove blue carbon in the face of deforestation, climate change, and restoration". *Annual Plant Reviews Online*, 3(3). Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr075>. [Consulta: abril, 2023].

- GILMAN, E.; ELLISON, N.; DUKE, C. & C. FIELD. 2008. "Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review". *Aquatic Botany*, 89(2): 237-250. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030437700800003X>. [Consulta: enero, 2022].
- GIRI, C.; OCHIENG, E.; TIESZEN, LL.; ZHU, Z.; SINGH, A.; LOVELAND, T.; ... & N. DUKE. 2011. "Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data Global". *Ecology and Biogeography*, 20(1): 154-159. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>. [Consulta: enero, 2022].
- GONZÁLEZ, F.; ROBLEDO, B.; PÉREZ M.; FLORES, F.; TORRES, J. y M. LÓPEZ. 2024. "Seasonal variation of organic carbon in the urban tropical mangrove estuary El Salado, in Jalisco, Mexico". *International Journal of Environmental Studies*, 81(5): 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2317636>. [Consulta: abril, 2025].
- GORDILLO, B.; ZACARIAS, C.; RODRÍGUEZ, M. y K. VIDES. 2022. *Análisis del carbono azul contenido en el componente arbóreo de proyectos en los programas de incentivo forestal bajo la modalidad de protección, dentro del ecosistema de manglar de Guatemala (1998-2021)*. Disponible en: <https://www.studocu.com > blue-carbon-mangroves-gt>. [Consulta: enero, 2025].
- GUERRA, J.; GAYOSO, J.; SCHALATTER, J. y R. NESPOLO. 2005. "Análisis de la biomasa de raíces en diferentes tipos de bosques. Avances en la evaluación de Pinus radiata en Chile". *Bosques*, 26(1): 5-21. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002005000100002>. [Consulta: abril, 2022].
- HERRERA, J.; CAMACHO, A.; PECH, E.; PECH, M.; RAMÍREZ, J. Y C. HERNÁNDEZ. 2016. "Dinámica del Carbono (almacenes y flujos) en manglares de México". *Terra Latinoamericana*, (34): 61-72. Disponible: <https://www.terralatinoamericana.org.mx/>. [Consulta: abril, 2022].
- HERRERA, M. 2021. "Estudio correlacional entre la estructura diamétrica del bosque de manglar y las propiedades edáficas del suelo en la desembocadura del río Unare, estado Anzoátegui, Venezuela". Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Caracas, Venezuela.
- HREDOY, R.; ISLAM, M. & M. KAMRUZZAMAN. 2024. "Variation in soil organic carbon with structural composition of mangrove species in the Sundarbans". *Regional Studies in Marine Science*, 77: 103651. Disponible en: DOI:10.1016/j.rsma.2024.103651. [Consulta: abril, 2025].
- INSTITUTO NACIONAL DE PARQUES (INPARQUES). 2011. *Informe retrospectivo sobre los problemas que presenta el Parque Nacional Laguna de Tacarigua*. Disponible en: <http://leyinfogobierno.ucv.ve > ojs > article > view>. [Consulta: abril, 2020].
- ISLAM, M.; SAHA, C. & M. HOSSAN. 2023. "Biomass and carbon stocks in mangrove-afforested areas, central coastal areas of Bangladesh". *Environmental Challenges*, 13. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100784>. [Consulta: enero, 2024].

- JIANXIANG F.; XIAOWEI C.; JIAN Z.; LIMING W.; XIAOSHAN Z. & L. GUANGHUI. 2019. "Effects of exotic and native mangrove forests plantation on soil organic carbon, nitrogen, and phosphorus contents and pools in Leizhou, China", *CATENA*, 180. Disponible en: DOI:[10.1016/j.catena.2019.04.018](https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.04.018). [Consulta: enero, 2024].
- JIMÉNEZ, J. y A. LUGO. 2000. *Avicennia germinans* (L.) L. *Mangle Prieto. Familia de las Avicennia*. Disponible en: https://rngr.net/publications/at_download/file/PDF.
- KAUFFMAN, J.; DONATO, D. y M. ADAME. 2013. *Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares*. Disponible en: <https://doi.org/10.17528/cifor/004386>. [Consulta: junio, 2018].
- KAUFFMAN, J.; ADAME, M.; ARIFANTI, V.; SCHILE-BEERS, L.; BERNARDINO, A.; RHOMIA, R.; ... & H. HERNÁNDEZ. 2020. "Total ecosystem carbon stocks of mangroves across broad global environmental and physical gradients". *Ecological Monographs*, 90(2): e01405. Disponible en: DOI:[10.1002/ecm.1405](https://doi.org/10.1002/ecm.1405). [Consulta: enero, 2022].
- KIDA, M. & N. FUJITAKE. 2020. "Organic Carbon Stabilization Mechanisms in Mangrove Soils: A Review". *Forests*, 11(9). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/f11090981>. [Consulta: enero, 2024].
- KOMIYAMA, A.; POUNGPARN, S. & S. KATO. 2005. "Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves". *Journal of Tropical Ecology*, 21: 471–477. Disponible en: DOI:[10.1017/S0266467405002476](https://doi.org/10.1017/S0266467405002476). [Consulta: enero, 2020].
- LIU, T.; LIU, S.; WU, B.; XU, H. & H. ZHANG. 2020. "Increase of organic carbon burial response to mangrove expansion in the Nanliu River estuary, South China Sea". *Progress in Earth and Planetary Science*, 7(71). Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00387-3>. [Consulta: enero, 2024].
- MACDICKEN, K. G. 1997. *A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects*. Winrock International Institute for Agricultural Development. Forest Carbon Monitoring Program. Virginia, USA. Disponible en: <https://www.researchgate.net/post/download>. [Consulta: enero, 2024].
- MALAVER, N.; RODRÍGUEZ, M. y V. AGUILAR. 2014. "Un diagnóstico de la calidad microbiológica del agua de la laguna de Tacarigua, estado Miranda, Venezuela". *Acta Biol. Venez.*, 34(2): 203–226. Disponible en: https://saber.ucv.ve/ojs/index.php/revista_abv/article/view/9301. [Consulta: enero, 2022].
- MAMIDALA, H.; GANGULY, D.; PURVAJA, R.; SINGH, G.; DAS, S.; RAO, M.; YS, A.; ARUMUGAN, K. & R. RAMESH. 2022. "Interspecific variations in leaf litter decomposition and nutrient release tropical mangroves" *Journal of Environmental Management*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116902>. [Consulta: enero, 2023].
- MARTÍNEZ, A.; PLAZA, C. y G. GUEVARA. 2014. "Aporte de hojarasca del mangle negro (*Avicennia germinans* L.) en el Caribe colombiano". *Luna azul*, (38): 218–230. Disponible en: DOI:[10.17151/luaz.2014.38.13](https://doi.org/10.17151/luaz.2014.38.13). [Consulta: enero, 2022].

- MATSUI, N.; MEEPOL, W. & J. CHUKWAMDEE. 2015. "Soil organic carbon in mangrove ecosystems with different and sedimentological conditions". *Journal of Marine Science and Engineering*, 3(4): 1.404-1.424. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/jmse3041404>. [Consulta: enero, 2022].
- MENG, Y.; BAI, J.; GOU, R.; CUI, X.; FENG, J.; DAI, Z; ... & G. LING. 2021. "Relationships between above- and below-ground carbon stocks in mangrove forests facilitate better estimation of total mangrove blue carbon". *Carbon Balance and Management*, 16(8). Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13021-021-00172-9>. [Consulta: enero, 2022].
- MULAYA, M. & H. ARLEN. 2018. "Production of litter and detritus related to the density of mangrove". *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 130. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/130/1/012033>. [Consulta: enero, 2022].
- NÚÑEZ, F. y M. UGAS. 2018. "Caracterización fisionómica del manglar de *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus* emplazado en la Laguna de Unare, Venezuela". *Terra-Nueva Etapa*, 34(55): 193-218. Disponible en: https://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_terr/issue/view/1804. [Consulta: enero, 2022].
- NÚÑEZ, F., UGAS, M., CALDERÓN, R. y F. RIVAS. 2021. "Cuantificación del carbono orgánico y materia orgánica en suelos no rizosféricos o cubiertos por *Avicennia germinans* (L.) y *Conocarpus erectus* (L.) emplazados en Boca de Uchire, laguna de Unare, Estado de Anzoátegui, Venezuela". *Revista Geográfica de América Central*, 1(66): 371-398. Disponible en: <https://doi.org/10.15359/rgac.66-1.13>. [Consulta: abril, 2022].
- OCHOA, J. 2019. *Dinámica del Carbono Orgánico en manglares de zonas áridas del Sureste del Golfo de California*. Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste, S.C. Mexico. Tesis Doctoral. (Inédito).
- SÁNCHEZ, H.; ÁLVAREZ, R.; PINTO, F.; SÁNCHEZ, A.; PINO, J.; GARCÍA, I. y M. ACOSTA. 1997. "Diagnóstico y zonificación preliminar de los manglares del Caribe de Colombia" En: H. SANCHEZ/PAEZ y R. ALVAREZ-LEON (eds.), *Conservación y Manejo para el Uso Múltiple y el Desarrollo de los Manglares en Colombia*. Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia. Disponible en: <https://surl.li/vspalf>. [Consulta: abril, 2021].
- SANTOS, D.; ESTRADA, G.; FERNANDEZ, V.; ESTEVAM, M.; DE SOUZA, B. y M. SOARES. 2017. "First Assessment of Carbon Stock in the Belowground Biomass of Brazilian Mangroves". *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89(3): 1.579-1.589. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160496>. [Consulta: enero, 2021].
- SAVARI, A.; KHALEGHI, M.; SAFAHIEH, A.; HAMIDIAN, M. & S. GHAEMMAGHAMI. 2020. "Estimation of biomass, carbon stocks and soil sequestration of Gowatr mangrove forests, Gulf of Oman". *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19. Disponible en: <https://doi:10.22092/IJFS.2020.121484>. [Consulta: enero, 2022].

- SERRATO, R.; ADAME, S.; LÓPEZ, J. y D. FLORES. 2014. "Carbono orgánico de la hojarasca en los bosques de la reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, caso santuario sierra Chincua, México". *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(1): 29-45. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5344964>. [Consulta: abril, 2022].
- SITOE, A.; COMISSÁRIO, L. & B. GUEDES. 2014. "Biomass and carbon stocks of Sofala Bay mangrove Forests". *Forests*, 5(8): 1.967-1981. Disponible en: <https://doi:10.3390/f5081967>. [Consulta: enero, 2021].
- SUÁREZ, C. 2016. "Uso y abuso de las lagunas costeras venezolanas". *Revista de Investigación*, 40(87): 053-086. Disponible en: <http://historico.upel.edu.ve:81/revistas/index.php/revinvest/article/view/4313>. [Consulta: abril, 2022].
- TRISSANTI, V.; AMALO, L.; HANDAYANI, L.; NUGROHO, D.; YULIANU, A. & D. MULYANA. 2022. The estimation of biomass and carbon stocks in mangrove forest ecosystem of Karawang Regency, West Java. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. Disponible en: <https://doi:10.1088/1755-1315/1109/1/012099>. [Consulta: abril, 2023].
- UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA y LOS RECURSOS NATURALES. 2021. *Manual para la creación de proyectos de carbono Azul en Europa y el Mediterráneo*. Disponible en: <https://surl.li/uxtstu>. [Consulta: abril, 2022].
- UGAS, M. 2016. *Fisionomía y propiedades edáficas del bosque monoespecífico de Avicennia germinans ubicado en la Península de Chacopata, estado Sucre, Venezuela*. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas. Venezuela. Trabajo de Grado de Maestría (Inédito).
- VALDÉS, E.; VALDÉS, J.; ORDAZ, M.; GALLARDO, J.; NIETO, J. y C. AYALA. 2011. "Evaluación del carbono orgánico en suelos de los manglares de Nayarit". *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(8): 47-58. Disponible en: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i8.540>. [Consulta: abril, 2022].
- VELÁZQUEZ, C.; TOVILLA, C.; ROMERO, E. y A. NAVARRETE. 2019. "Estructura del manglar y su influencia en el almacén de carbono en la Reserva La Encrucijada, Chiapas, México". *Madera y Bosque*, 25(3) . Disponible en: <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531885>. [Consulta: abril, 2022].
- VINOD, K.; ASOKAN, P.; ZACHARIA P.; ANSAR, C.; VIJAYAN, G.; ANASUKOYA A.; ... y M. NIKHILJITH. 2019. "Assessment of biomass and carbon stocks in mangroves of Thalassery estuarine wetland of Kerala, Southwest coast of India". *Journal of Coastal Research*, 86(1): 209-217. Disponible en: DOI:[10.2112/SI86-031.1](https://doi.org/10.2112/SI86-031.1). [Consulta: abril, 2022].
- WALKLEY, A. & A. BLACK. 1934. "An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method". *Soil Sci.*, 37: 29-38.

- XIAO, Y.; LI, C.; LI, X.; WANG, Y.; SUN, P.; XU, X.; ... & W. XU. 2024. "International mangrove carbon sink research analysis". *Regional Studies in Marine Science*, 77. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103681>. [Consulta: abril, 2025].
- YÁNEZ, P.; ALDAZ, I. y D. BERMEO. 2002. "Producción ex-situ de plántulas de mangle botón (*Conocarpus erectus* L.) en la isla Santa Cruz, Galápagos". *Boletín Fundabotánica*, 10: 9-18. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/237089237>; [Consulta: enero, 2020].
- YEPES, A.; ZAPATA, M.; BOLÍVAR, J.; MONSALVE, A.; ESPINOSA, M.; SIERRA-CORREA, P y A. SIERRA. 2016. "Ecuaciones alométricas de biomasa aérea para la estimación de los contenidos de carbono en manglares del Caribe Colombiano". *Biología Tropical*, 64(2): 913-926. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/449/44945722036.pdf>.
- YÉPEZ, G. 2021. *Análisis comparativo entre los rasgos fisionómicos y las propiedades edáficas de las especies Avicennia germinans (L.) y Conocarpus erectus (L.) emplazadas en la Laguna de Tacarigua, estado Miranda, Venezuela*. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Caracas, Venezuela. Trabajo de Grado (Maestría, inédito).

Lugar y fecha de finalización del artículo:
Caracas, Venezuela; febrero, 2025