

# RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

## Carbono azul almacenado en los bosques de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua

### Blue carbon stored in the mangrove forests of the north Pacific in Nicaragua

Oscar González-Quiroz<sup>1\*</sup>, Manuel Vanegas<sup>2\*\*</sup>, Eugenia Cerda<sup>3\*\*</sup>, Melvin Lezama<sup>4\*\*</sup>, Claudia Dolmus<sup>5\*\*</sup>, Issamar Quiroz<sup>6\*</sup>, María Paz<sup>7\*</sup>, Carlos Solís<sup>8\*</sup>, Eleazar Blanco<sup>9\*</sup>, Marling Pérez<sup>10\*</sup>

<sup>1</sup> Doctor en Ecología, Conservación y Restauración de Ecosistemas, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2775-801X> / [oscar.gonzalez@ct.unanleon.edu.ni](mailto:oscar.gonzalez@ct.unanleon.edu.ni)

<sup>2</sup> Máster en Química Fina, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1639-917X> / [manuel.vanegas@ct.unanleon.edu.ni](mailto:manuel.vanegas@ct.unanleon.edu.ni)

<sup>3</sup> Doctora en Biotecnología Agrícola, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8727-7014> / [eugenia.castillo@ct.unanleon.edu.ni](mailto:eugenia.castillo@ct.unanleon.edu.ni)

<sup>4</sup> Doctor en Planificación e Innovación Educativa, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4527-6855> / [mjlezama@fh.unanleon.edu.ni](mailto:mjlezama@fh.unanleon.edu.ni)

<sup>5</sup> Doctora en Agrobiología Ambiental, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7280-939X> / [claudia.dolmus@ct.unanleon.edu.ni](mailto:claudia.dolmus@ct.unanleon.edu.ni)

<sup>6</sup> Licenciada en Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1047-1943> / [osejomena12@gmail.com](mailto:osejomena12@gmail.com)

<sup>7</sup> Licenciada en Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9961-3812> / [marriad.amador16@est.unanleon.edu.ni](mailto:marriad.amador16@est.unanleon.edu.ni)

<sup>8</sup> Licenciado en Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8991-8237> / [carlosoolis1401@gmail.com](mailto:carlosoolis1401@gmail.com)

<sup>9</sup> Licenciado en Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3152-3138> / [finoeleazar240397@gmail.com](mailto:finoeleazar240397@gmail.com)

<sup>10</sup> Licenciada en Biología, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6245-8095> / [Marlingperez7@gmail.com](mailto:Marlingperez7@gmail.com)

\* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León)

° Grupo de Investigación en Ecología Tropical

Autor para correspondencia: [oscar.gonzalez@ct.unanleon.edu.ni](mailto:oscar.gonzalez@ct.unanleon.edu.ni)



### RESUMEN

El manglar se encuentra entre los ecosistemas más importantes del planeta, debido a los múltiples bienes y servicios ecosistémicos que brindan. El objetivo de esta investigación es determinar la cantidad de carbono azul almacenado en los bosques de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua. Se establecieron 178 parcelas en seis sistemas de manglar (Puerto Sandino, Reserva Natural Isla Juan Venado, Corinto, Aserradores, Reserva Natural Padre Ramos y Potosí). Se registró la diversidad, abundancia, altura total y diámetro a la altura del pecho. Posteriormente se calculó la biomasa aérea y biomasa subterránea, así como el carbono orgánico almacenado en el suelo a través de la técnica volumétrica. Se descargaron imágenes satelitales del sensor Sentinel 2B (15 m x 15 m) para calcular el índice de vegetación de

### ABSTRACT

The mangrove is among the most important ecosystems on the planet, due to the multiple ecosystem goods and services it provides. This research assesses the amount of blue carbon stored in the mangrove forests of the North Pacific in Nicaragua. A total of 178 plots were established in six mangrove systems (Puerto Sandino, Juan Venado Island Natural Reserve, Corinto, Aserradores, Padre Ramos Natural Reserve, and Potosí). Diversity, abundance, total height, and diameter at breast height were recorded. Subsequently, aboveground biomass, belowground biomass, and organic carbon stored in the soil were calculated using volumetric techniques. Satellite images from the Sentinel 2B sensor (15 x 15 m) were downloaded to calculate the normalized difference vegetation

Recibido: 8 de mayo del 2024  
Aceptado: 3 de septiembre del 2024



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo [donald.juarez@ci.una.edu.ni](mailto:donald.juarez@ci.una.edu.ni)

© Copyright 2024. Universidad Nacional Agraria (UNA).

## RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

diferencia normalizada. Con la biomasa total y el índice de vegetación de diferencia normalizada, se realizó una regresión exponencial, a partir del cual se crearon los mapas de carbono azul al multiplicar el resultado por el factor de conversión 0.475. Al resultado se sumó el valor del carbono azul almacenado en el suelo. La especie con mayor abundancia fue *Rhizophora spp.*, a excepción de la Isla Juan Venado en la que prevaleció *Avicennia germinans*, y *Laguncularia racemosa* en Potosí. La mayor altura y el diámetro a la altura del pecho se identificaron en la zona de Potosí, seguida de la Isla Juan Venado. Hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las alturas de las cinco especies registradas. En los seis sistemas estudiados se identificaron 20 810.6 ha de manglar. Potosí presentó el valor más alto de biomasa total con 220.9 Mg ha<sup>-1</sup>. El sumidero de carbono total para el Pacífico Norte de Nicaragua es de 3 254 613.1 Mg C (mega gramos de carbono). Anualmente el manglar de la zona de estudio tiene el potencial de capturar aproximadamente 104 052.8 Mg C.

**Palabras clave:** biomasa aérea, biomasa subterránea, sumidero de carbono, índice de vegetación.

Index. An exponential regression was performed using the total biomass and the normalized difference vegetation Index, from which blue carbon maps were created by multiplying the result by the conversion factor of 0.475. The value of blue carbon stored in the soil was added to the result. The most abundant species was *Rhizophora spp.*, except on Juan Venado Island where *Avicennia germinans* prevailed, and *Laguncularia racemosa* in Potosí. The greatest height and diameter at breast height were identified in the Potosí area, followed by Juan Venado Island. There is a significant difference ( $p < 0.05$ ) in the heights of the five recorded species. A total of 20 810.6 ha of mangrove were identified in the six systems studied. Potosí had the highest total biomass value at 220.9 Mg ha<sup>-1</sup>. The total carbon sink for the Pacific in Nicaragua is 3 254 613.1 Mg C (mega grams of carbon). Annually, the mangrove in the study area has the potential to capture approximately 104 052.8 Mg C.

**Keywords:** Aboveground biomass, belowground biomass, carbon sink, vegetation index.

**L**os manglares son ecosistemas marino-costeros que se ubican y desarrollan en las planicies costeras de los trópicos y subtropicales, principalmente alrededor de esteros y lagunas costeras, cerca de las desembocaduras de ríos y arroyos (Rodríguez Zúñiga *et al.*, 2013). Los bosques de manglares cubren un área de 152 000 km<sup>2</sup> en 123 naciones y territorios tropicales y subtropicales; esto es menos del 1 % de todos los bosques tropicales del mundo y menos del 0.4 % del total de bosques globales (Van Lavieren *et al.*, 2012).

Las actividades humanas emiten cantidades importantes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) a la atmósfera, contribuyendo al incremento en la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) con repercusiones en el cambio climático global (Bautista-Olivas *et al.*, 2018; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013). El incremento es aún mayor producto de la deforestación del bosque de manglar, contribuyendo de manera desproporcionada a las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (Hamilton y Friess, 2018; Kauffman *et al.*, 2014; Moya *et al.*, 2005).

Los ecosistemas de manglar son esenciales para el ser humano, y funcionan de una manera tan complicada e interconectada entre sí que no pueden ser reemplazados por la tecnología (Daily *et al.*, 1997). Estos brindan servicios ecosistémicos (SE), que sirve como una herramienta para establecer un valor de los ecosistemas para las personas. Para el caso de los manglares, se ha evaluado su importancia a partir de los servicios ecosistémicos que brindan a distintas escalas de Groot *et al.*, (2012); Ewel *et al.*, (1998); Flores

*et al.*, (2013); Getzner e Islam, (2020); Vo *et al.*, 2012). Las metodologías varían, desde la valoración propiamente económicas (Sarhan, 2014), hasta las perspectivas de los usuarios directos (Krause *et al.*, 2017; Nyangoko *et al.*, 2021).

El almacenamiento de CO<sub>2</sub> por parte de los manglares puede contribuir a la mitigación del cambio climático. Los bosques de manglares almacenan altas cantidades de carbono comparado con otros ecosistemas (Kauffman *et al.*, 2014; Richards *et al.*, 2020). A este carbono que almacenan los ecosistemas costeros y marinos se le denominan "carbono azul", ya que capturan grandes cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y lo almacenan durante largos periodos de tiempo. Donato *et al.* (2011) indican que los manglares pueden almacenar un promedio de 1 023 Mg C ha<sup>-1</sup> (mega gramos de carbono por hectárea), siendo unos de los bosques más ricos en carbono en la región tropical. La información precisa sobre el sumidero de carbono en los manglares puede ayudar a la búsqueda de financiamiento para la protección, gestión y rehabilitación de los ecosistemas críticos (Bindu *et al.*, 2018). En el Pacífico de Nicaragua se estiman 19 700 ha de manglar, localizadas principalmente en la zona norte (Carvajal y Soto Valdivia, 2006).

Existe poco conocimiento sobre la cantidad de carbono azul almacenado en los ecosistemas costeros de Nicaragua, en especial de los manglares, aún con la importancia que representa en la escala local y global. Esta investigación tiene por objetivo estimar el carbono azul almacenado en los bosques de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua (desde Puerto Sandino hasta Potosí).

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se realizó en los manglares del Pacífico de Nicaragua, desde Puerto Sandino, en el departamento de León, hasta la Reserva Natural Estero Real en Chinandega (Figura 1). La zona se caracteriza por presentar un clima tropical de sabana con estación seca de seis meses entre los meses de noviembre-abril. Con una precipitación anual promedio que oscila entre los 1 150 mm y 1 300 mm, con una temperatura entre 26.9 °C y 29.3 °C. Se caracteriza por presentar una vegetación de manglar y bosque tropical seco, entre las especies del manglar encontramos a *Rhizophora mangle*, *R. harrisonii*, *R. racemosa*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans*, *A. bicolor* y *Conocarpus erectus*.

**Estructura y almacenamiento de carbono del ecosistema de manglar.** Se seleccionaron 30 parcelas de muestreo para las mediciones de biomasa y estructura del bosque de manglar por cada zona, a excepción de Potosí que era un área más pequeña con solo ocho parcelas. Cada parcela media 20 m x 10 m (200 m<sup>2</sup>). Las parcelas por cada sitio fueron seleccionados al azar, en función de la heterogeneidad de la cobertura del bosque de manglar, para ello, se hizo uso de imágenes satelitales de Sentinel 2B con tamaño de píxel de 10 m x 10 m, las que fueron preprocesadas con el software QGIS 3.2 (acceso libre). Los análisis estadísticos y gráficos fueron realizados con el software RStudio 3.5.0 (acceso libre).

Para conocer la estructura del bosque de manglar, en cada parcela se identificaron las especies, la densidad poblacional, la regeneración natural, daños antrópicos y daños naturales. Se realizaron medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total para cada especie.

**Cálculos de biomasa.** Para determinar la biomasa aérea (AGB) y biomasa subterránea (BGB), se utilizaron ecuaciones alométricas (Komiyama *et al.*, 2005); tomando en cuenta los datos morfométricos para cada especie y el factor de densidad de cada especie (Bindu *et al.*, 2018).

Biomasa aérea

$$AGB = 0.251 * \rho * DBH^{2.46}$$

Donde: *AGB*: Biomasa aérea, 0.251: Constante,  $\rho$ : Densidad específica para cada tipo de especies, *DBH*: Diámetro a la Altura del Pecho.

Biomasa subterránea (raíces)

$$BGB = 0.199 * \rho^{0.899} * DBH^{2.22}$$

Donde: *BGB*: Biomasa subterránea, 0.199: Constante,  $\rho$ : Densidad específica para cada tipo de especies, *DBH*: Diametro a la altura del pecho.

La suma de la AGB y BGB corresponde a la biomasa total de la parcela, el cual fue usado para calcular la biomasa en toda la cobertura boscosa del ecosistema de manglar para cada sitio de muestreo.

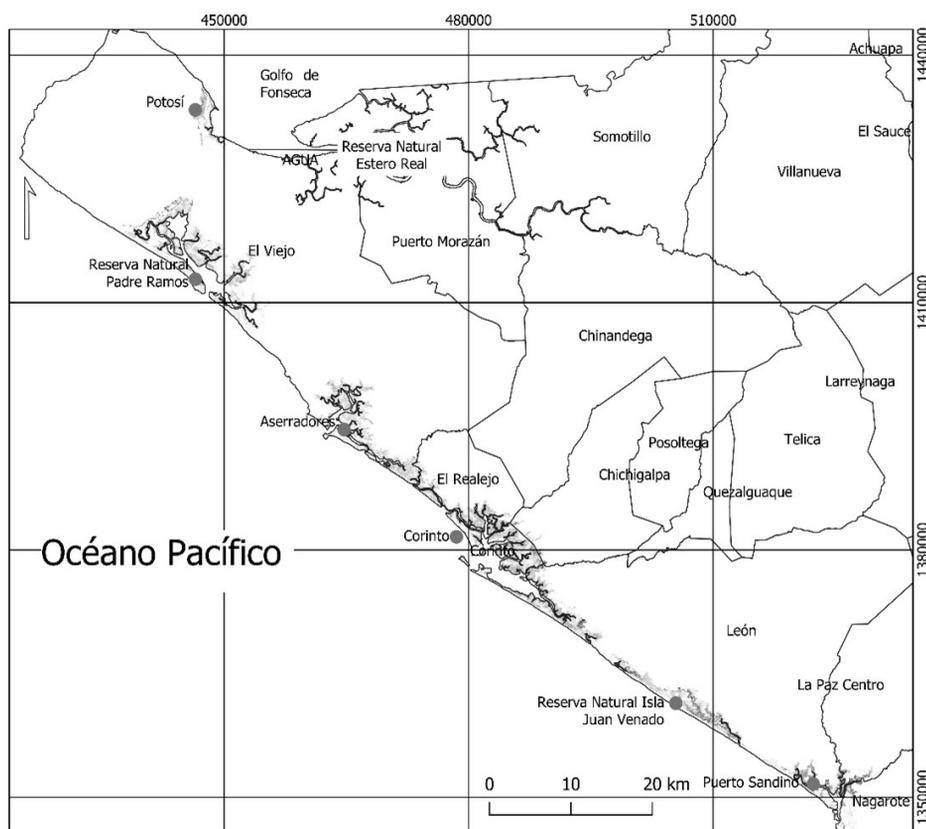


Figura 1. Ecosistemas de manglar en el Pacífico Norte de Nicaragua, desde Puerto Sandino hasta Potosí.

Las especies de manglar están bajo protección, dentro y fuera de las áreas protegidas. La zona de muestreo tiene tres reservas naturales; Isla Juan Venado, Padre Ramos y Estero Real (Potosí), todas ellas con planes de manejo y en proceso de actualización. Tanto Puerto Sandino, Corinto y Aserradores están fuera del sistema de área protegidas, pero con una importante área con cobertura de manglar.

## RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

**Cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).** Se descargaron imágenes satelitales con ayuda del sensor Sentinel 2B (imágenes corregidas atmosféricamente) de la página web <https://scihub.copernicus.eu/> de preferencia con un tamaño de píxel de 15 m x 15 m. Las imágenes fueron procesadas con el software QGIS 3.2 (acceso libre).

Una vez descargadas las imágenes se procedió a corregir vacíos (gaps), los cuales son causados por una falla en el instrumento que corrige las líneas escaneadas, provocando vacíos en las distintas imágenes adquiridas del satélite, que se rellenan usando el Phase 2 Gap-Fill Algorithm, propuesto y utilizado por el servicio geológico de los Estados Unidos (USGS), basado en un ajuste lineal local del histograma (Rocha, 1999).

Con las imágenes corregidas se calculó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para estimar la vigorosidad de la vegetación (Rouse *et al.*, 1974). El NDVI está basado en la absorción del espectro rojo y el infrarrojo cercano.

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

Donde: *NDVI*: Índice de vegetación de diferencia normalizada, *NIR*: Espectro de infrarrojo cercano, *R*: Espectro rojo.

A partir de los datos de la biomasa aérea (AGB), biomasa subterránea (BGB) y los valores del NDVI para las parcelas seleccionadas, se realizó una regresión exponencial, a partir de la cual, se calculó la biomasa total para cada zona de muestreo, tomando en cuenta la fórmula de Myeong *et al.* (2006).

$$AGB = a * e^{(NDVI^b)}$$

Donde *a* y *b* son constantes que se obtuvieron de la regresión entre el valor del píxel del NDVI y el AGB (muestreo de campo) de las parcelas seleccionadas. El valor de la parcela se ajustará al tamaño del píxel.

**Carbono total en el suelo.** Las muestras de suelo se recolectaron en 10 parcelas seleccionadas al azar de las 30 parcelas del muestreo de estructura del bosque de manglar. La profundidad de muestreo fue de 20 cm, se depositaron en un recipiente limpio y seco, mezclando hasta obtener una muestra homogénea de aproximadamente 1 kg y transferida a bolsas plásticas Ziploc®.

Posteriormente las muestras fueron secadas sobre un papel limpio y seco, por un periodo de 48 horas. Una vez seca se tamizaron y se molieron con un mortero y luego se pasaron por un tamiz de 2 mm de diámetro. Posteriormente se empacaron en bolsas plásticas para su posterior análisis

químico del carbono almacenado en el suelo, a través de la técnica volumétrica en el laboratorio de química del suelo de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León).

**Carbono azul almacenado.** Para el cálculo del carbono azul almacenado en el bosque de mangle, se usó el método estandarizado internacionalmente para las mediciones del almacenamiento de carbono azul en los ecosistemas, incluidos los manglares (Howard *et al.*, 2014). Es así que, para crear el mapa de carbono se multiplicó el total de la biomasa (aérea y subterránea) por el factor de conversión 0.475 (47.5 % de biomasa) (IPCC, 2013). Al resultado se sumó el valor del carbono total en el suelo, para obtener el valor total de reservorio de carbono en los bosques de manglar para cada zona de estudio.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La especie con mayor abundancia (individuos por hectáreas) fue *Rhizophora* spp, a excepción de la Isla Juan Venado y Potosí, donde predominaron *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* respectivamente (Cuadro 1). Los registros de dominancia coinciden con Kauffman *et al.* (2020), en una evaluación realizada a escala global, que incluye datos de Honduras y Costa Rica. *Avicennia germinans* fue la segunda más dominante en el muestreo, principalmente en la reserva natural Isla Juan Venado, situación causada por fenómenos naturales y factores antrópicos. Al modificarse la estructura del bosque de manglar puede tener efectos en la biomasa y el reservorio de carbono (Velázquez-Pérez *et al.*, 2019).

En general se observan árboles de baja altura y diámetros pequeños correspondiente a bosques jóvenes (Cuadro 1). El mayor porcentaje de árboles son menores a los diez metros de altura, coincidiendo con datos registrados por (Carvajal y Soto Valdivia, 2006; Mendoza Hernández *et al.*, 2009). La zona de Potosí presenta altura y diámetros mayores que la media general para todas las especies, seguidos por los árboles de la Isla Juan Venado. El sector de Puerto Sandino presentó los valores más bajos. Estos resultados son comparativos con los registros de los bosques de manglar para Centroamérica (Alfaro-Sibaja *et al.*, 2015; Chicas *et al.*, 2016; Samper-Villarreal y Silva-Benavides, 2015).

Existe una disminución de las abundancias por hectárea de árboles de mangle comparado con los estudios de (Carvajal y Soto Valdivia, 2006; Mendoza Hernández *et al.*, 2009). Se registraron densidades entre 1807-964 árboles ha<sup>-1</sup>, siendo medianamente bajos comparados con la investigación de (Samper-Villarreal y Silva-Benavides, 2015). La densidad de árboles influye significativamente en el contenido del carbono aéreo de los manglares (Velázquez-Pérez *et al.*, 2019).

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Cuadro 1. Características estructurales del bosque de manglar en el Pacífico Norte de Nicaragua.

Sitio	Especie	N	%	Altura (m)	DAP (cm)	Densidad (ind ha <sup>-1</sup> )
Puerto Sandino	<i>Rhizophora</i> spp	502	50.2	3.9±2.4	5.1±3.3	837
	<i>Avicennia germinans</i>	351	35.1	2.7±2.5	4.6±4.5	585
	<i>Laguncularia racemosa</i>	94	9.4	4.7±3.0	5.7±3.3	157
	<i>Conocarpus erectus</i>	53	5.3	5.6±3.3	8.1±4.6	88
	Total	1 000	100	-	-	-
Isla Juan Venado	<i>Rhizophora</i> spp	492	29.9	7.3±4.7	8.7±5.9	492
	<i>Avicennia germinans</i>	701	42.7	5.6±3.5	8.5±4.8	701
	<i>Laguncularia racemosa</i>	438	26.7	7.2±3.9	6.7±3.7	438
	<i>Conocarpus erectus</i>	12	0.7	2.7±1.0	12.7±6.6	12
	Total	1 643	100	-	-	-
Corinto	<i>Rhizophora</i> spp	654	71.8	5.9±3.4	6.4±4.4	1 022
	<i>Avicennia germinans</i>	234	25.7	4.7±3.7	7.1±6.3	366
	<i>Laguncularia racemosa</i>	23	2.5	5.6±3.8	5.9±3.2	36
	Total	911	100	-	-	-
Aserradores	<i>Rhizophora</i> spp	349	75.4	6.1±3.4	8.5±5.7	727
	<i>Avicennia germinans</i>	94	20.3	3.9±3.7	6.5±7.2	196
	<i>Laguncularia racemosa</i>	3	0.6	3.0±1.0	4.4±2.9	6
	<i>Conocarpus erectus</i>	4	0.9	1.3±0.5	2.2±1.1	8
	<i>Avicennia bicolor</i>	13	2.8	5.1±2.7	6.6±2.4	27
	Total	463	100	-	-	-
Padre Ramos	<i>Rhizophora</i> spp	626	90.5	5.7±3.9	8.2±5.5	1 010
	<i>Avicennia germinans</i>	56	8.1	5.2±2.6	10.4±7.2	90
	<i>Laguncularia racemosa</i>	8	1.2	4.1±2.4	5.2±6.2	13
	<i>Avicennia bicolor</i>	2	0.3	6.5±0.7	10.4±5.6	3
Total	964	100	-	-	-	
Potosí	<i>Rhizophora</i> spp	56	19.4	17.4±9.4	20.3±10.5	350
	<i>Avicennia germinans</i>	23	8.0	10.6±6.2	12.0±8.4	144
	<i>Laguncularia racemosa</i>	151	52.2	9.2±5.8	8.4±7.4	944
	<i>Conocarpus erectus</i>	9	3.1	5.4±0.9	11.1±2.5	56
	<i>Avicennia bicolor</i>	50	17.3	5.9±2.7	6.7±3.9	313
Total	692	100	-	-	-	

contrario al resto de muestreo, característico de lugares altamente afectados por las acciones antrópicas (González Quiroz, 2016).

Potosí tiene los valores promedio más alto de biomasa por hectárea (Mg ha<sup>-1</sup>), superando las 200 Mg ha<sup>-1</sup>. El valor más bajo de biomasa registrado fue en Puerto Sandino (Cuadro 2).

Se identificaron 20 810.6 ha de cubierta de manglar, con distintos niveles de salud. El área identificada coincide con datos reportados por (Carvajal y Soto Valdivia, 2006), quienes indican que la zona del Pacífico Norte de Nicaragua tiene unas 19 700 ha cubiertas por manglar. Corinto con sus 5 976 ha, representó el 28.7 % del manglar del Pacífico Norte de Nicaragua, seguidos de Padre Ramos con 22.7 % y Aserradores con 20.2 % (Cuadro 2).

El valor más alto de biomasa por hectárea se registró en la zona de Potosí, coincidiendo con las mayores alturas y diámetros registrados (esta zona pertenece al área protegida Estero Real). Corinto y Padre Ramos registraron los mayores valores de biomasa en total, debido a su mayor cobertura de mangle. De las tres áreas protegidas (Isla Juan Venado, Padre Ramos y Estero Real), la Reserva Natural Isla Juan Venado presentó los valores más bajo de biomasa con 155.9 Mg ha<sup>-1</sup>. El promedio de biomasa fue de 182.2±123.3 Mg ha<sup>-1</sup>, valores similares a los reportados por (Donato *et al.*, 2011; IPCC, 2013; Simard *et al.*, 2006). Estos valores suelen observarse en ecosistemas afectados por factores antrópicos (Velázquez-Pérez *et al.*, 2019). Los resultados son inferiores a las medias globales (166.48±84.97 Mg ha<sup>-1</sup>; solo biomasa area) de los bosques tropicales (Hu *et al.*, 2016).

El sumidero de carbono azul para el Pacífico Norte de Nicaragua es de 1 792 507.8 Mg C para la parte

Biomasa (Mg ha<sup>-1</sup>) y carbono (Mg C ha<sup>-1</sup>). *Avicennia germinans* y *Rhizophora* spp presentaron los valores más alto de biomasa por hectáreas, siendo muy heterogénea a lo largo de los seis sitios de muestreo (Figura 2). La isla Juan Venado registró os mayores valores de biomasa con la especie de *A. germinans*,

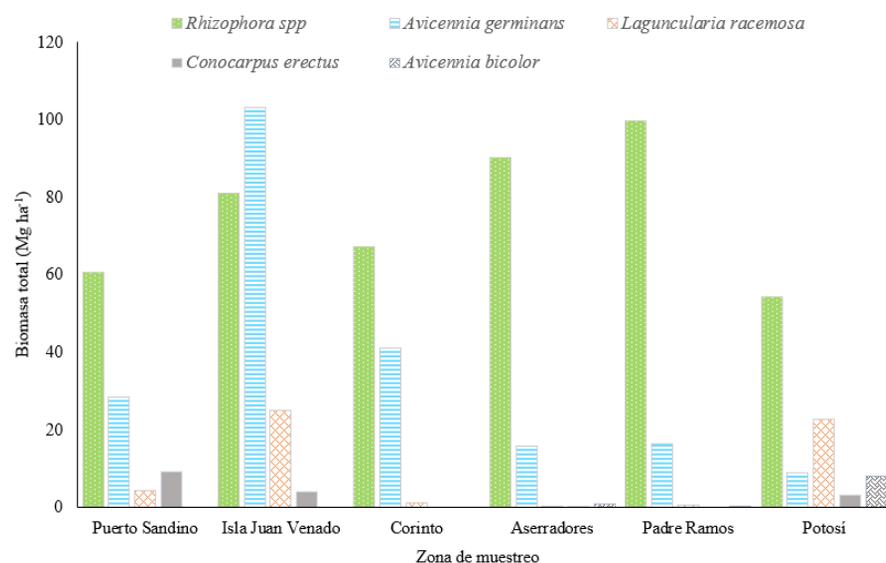


Figura 2. Biomasa aérea por especies según zona de muestreo.

## RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

aérea y subterránea de los árboles en las 20 810.6 ha de manglar estimadas. Esto representa  $86.5 \pm 10.7 \text{ Mg C ha}^{-1}$  en promedio de almacenamiento para los seis sistemas de manglar evaluados (Cuadro 3). Los resultados son similares a los reportados por (Bautista-Olivas *et al.*, 2018) en el bosque El Sargento en Sonora (México) en una zona bien conservadas ( $54.1\text{-}158.4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ), así mismo ligeramente superiores ( $36\text{-}65.5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) a zonas altamente afectada por factores antrópicos localizados en la Bahía del Tóbari, Sonora. El nivel de impactos antrópicos sobre los ecosistemas de manglar tiene efectos sobre el almacenamiento de carbono (Blanco-Libreros *et al.*, 2015).

Azul (Mg C) y Carbono en Suelo (Mg C), el bosque de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua almacena  $3\,254\,613.1 \text{ Mg C}$  en total (aéreo, subterráneo y suelo), con los mayores registros para Corinto con  $940\,962.5 \text{ Mg C}$ . En promedio se observaron  $156.7 \pm 16.5 \text{ Mg C ha}^{-1}$  de carbono azul y carbono en el suelo para el Pacífico Norte de Nicaragua, superiores a los  $122 \pm 16 \text{ Mg C ha}^{-1}$  reportados por (Doughty *et al.*, 2016) en Florida, USA.

De acuerdo con Zeng *et al.* (2021) Nicaragua tiene un potencial de financiamiento de  $3\,900 \pm 600 \text{ ha}$ , aportando un potencial de mitigación de cambio climático de  $51\,000 \pm 14\,000 \text{ t CO}_2$  por año<sup>-1</sup>, y con un valor presente neto de  $1\,760\,000 \pm 645\,000 \text{ USD}$  por año<sup>-1</sup>.

**Cuadro 2.** Biomasa acumulada en seis ecosistemas de manglar en el Pacífico Norte de Nicaragua

Zona de muestreo	Número de píxel	Área (ha)	Biomasa aérea (Mg Píxel <sup>-1</sup> )	Biomasa subterránea (Mg Píxel <sup>-1</sup> )	Biomasa (Mg ha <sup>-1</sup> )	Total de biomasa
Puerto Sandino	267 041	2 670.4	0.94±0.98	0.56±0.53	149.5	399 275.2
Isla Juan Venado	233 065	2 330.7	0.97±0.80	0.58±0.43	155.9	363 299.7
Corinto	597 661	5 976.6	1.14±0.77	0.68±0.41	181.6	1 085 543.0
Aserradores	420 751	4 207.5	1.13±0.65	0.68±0.35	180.6	759 971.5
Padre Ramos	472 272	4 722.7	1.29±0.96	0.75±0.50	204.6	966 211.8
Potosí	90 265	902.7	1.40±1.04	0.81±0.46	220.9	199 399.4
	2 081 055	20 810.6	$\bar{x}=1.15 \pm 0.87$	$\bar{x}=0.68 \pm 0.46$	$\bar{x}=182.2$	3 773 700.6

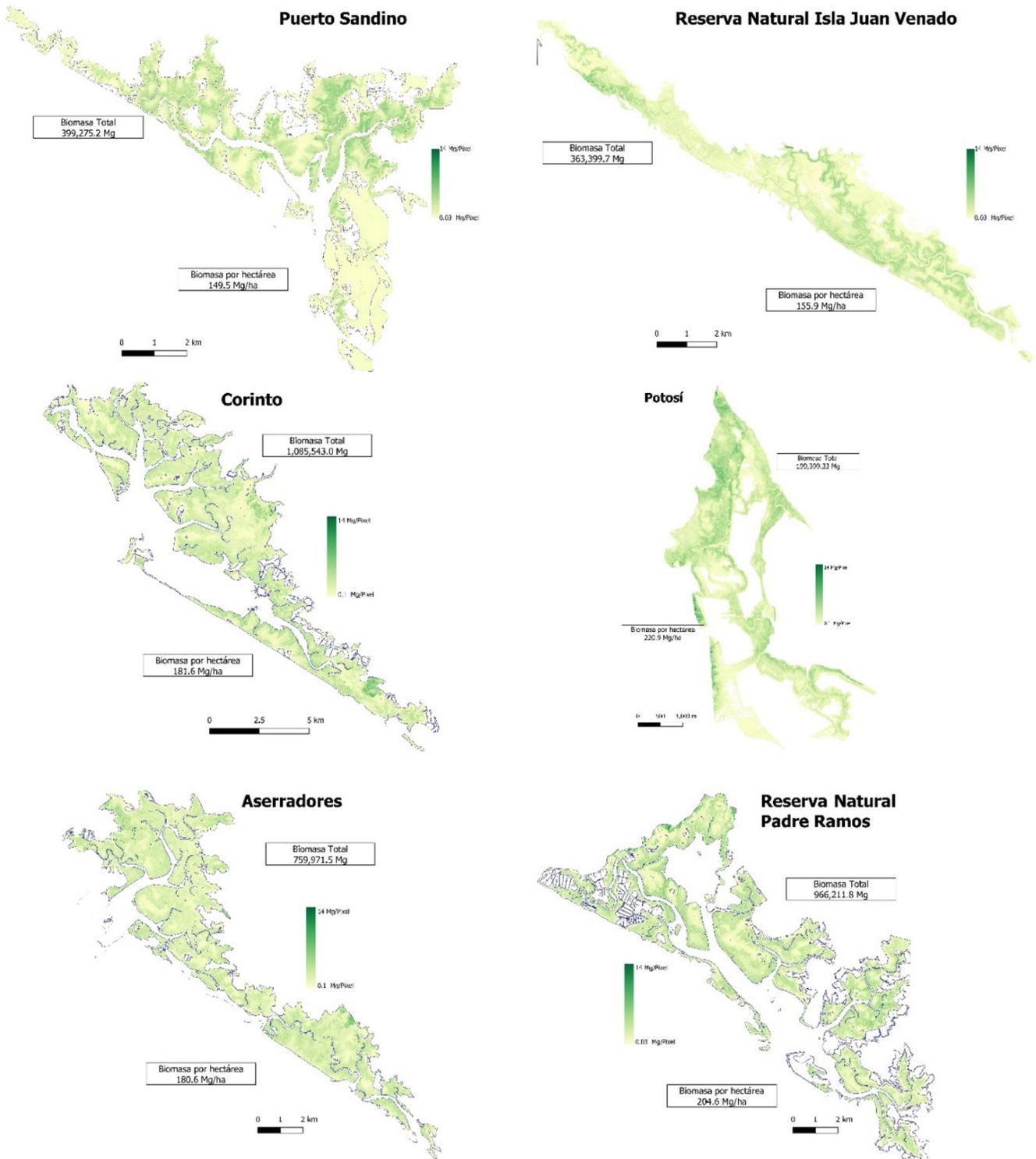
En solo 20 cm de profundidad de suelo, se contabilizaron  $1\,462\,105.3 \text{ Mg C}$  almacenado en el suelo de las seis zonas de estudio (Cuadro 3), evidenciando la importancia de los manglares como sumideros de carbono (Howard *et al.*, 2014). Los 20 cm representan tan solo el 23.1 % del total de carbono almacena en 100 cm de profundidad (Bhomia *et al.*, 2016). Los valores de carbono en suelo están relacionados con la biomasa, siendo Padre Ramos y Potosí los que presentaron los mayores registros en promedio con  $76.2$  y  $80.3 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Sumado los dos componentes de almacenamiento de carbono: Carbono

El total de carbono almacenado anualmente en los bosques de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua podría ser parte del mercado de almacenamiento de carbono y además contribuir a la conservación a través de los fondos de este mecanismo. Los resultados evidencian que la cantidad de carbono almacenado podría aumentar en correspondencia con las estrategias de conservación. Es necesario garantizar mayor salud de bosque, restaurar y mantener las coberturas de manglar para conservar los importante e irremplazables servicios ecosistémicos del manglar, en especial el almacenamiento de carbono.

**Cuadro 3.** Carbono acumulado en seis ecosistemas de manglar en el Pacífico Norte de Nicaragua

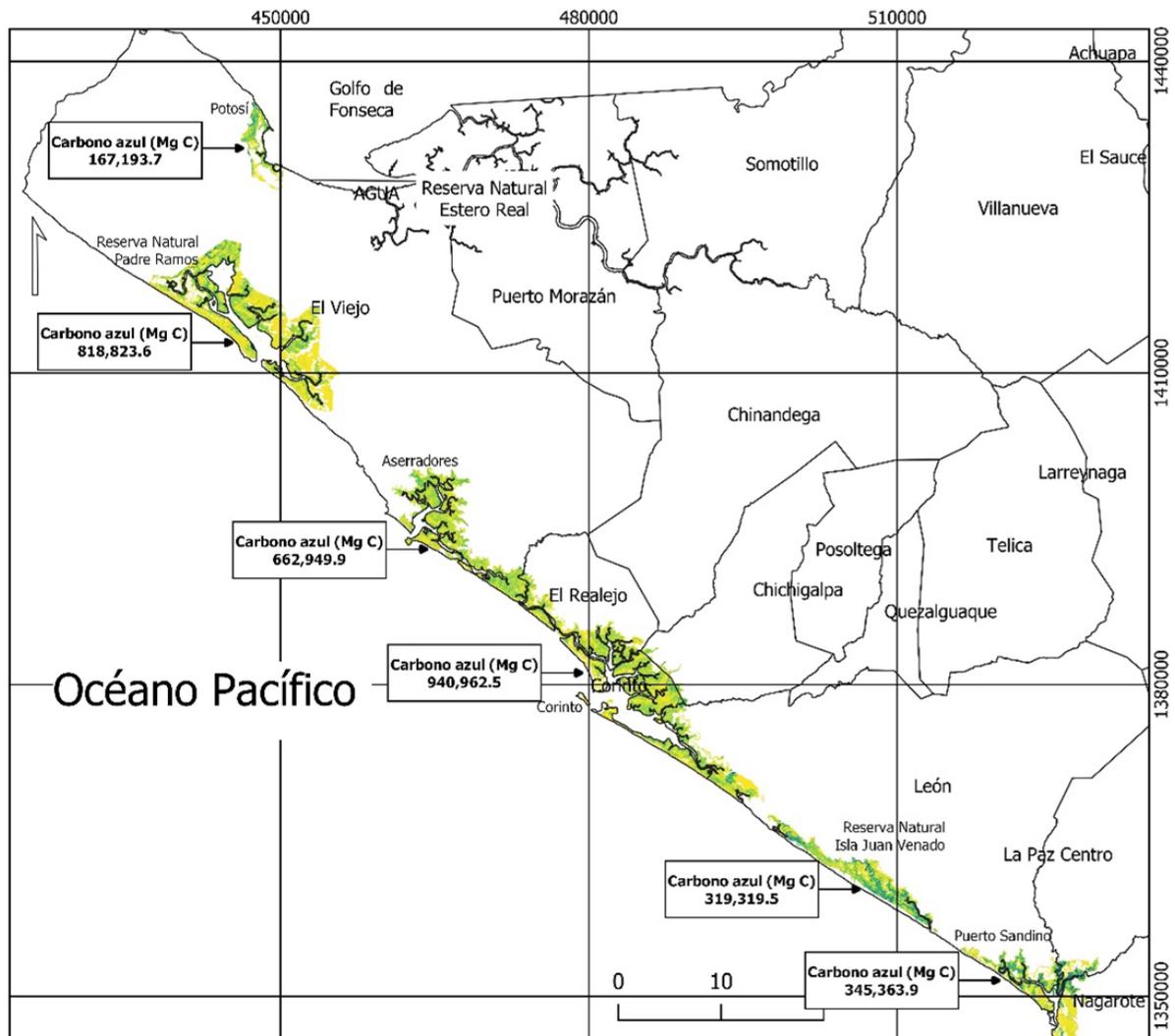
Zona de muestreo	Carbono Azul (Mg C)	Carbono en suelo (Mg C)	Carbono Azul Total (Mg C)	Carbono Azul (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Carbono en Suelo (Mg C ha <sup>-1</sup> )
Puerto Sandino	189 655.7	155 708.2	345 363.9	71.0	58.3
Isla Juan Venado	172 567.4	146 752.1	319 319.5	74.0	63.0
Corinto	515 632.9	425 329.6	940 962.5	86.3	71.2
Aserradores	360 986.5	301 963.4	662 949.9	85.8	71.8
Padre Ramos	458 950.6	359 873.0	818 823.6	97.2	76.2
Potosí	94 714.7	72 479.0	167 193.7	104.9	80.3
	1 792 507.8	1 462 105.3	3 254 613.1	$\bar{x}=86.5$	$\bar{x}=70.1$

**RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE**



**Figura 3.** Distribución de biomasa en seis sistemas de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua.

**RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE**



**Figura 4.** Carbono almacenado en los seis sistemas de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua.

**CONCLUSIONES**

El bosque de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua es joven, de bajas alturas y diámetros pequeños. Los mayores diámetros y alturas se observan en *Rhizophora* spp. El ecosistema de manglar contribuye al almacenamiento de carbono a escala local y global, evidenciado por la alta cantidad de carbono almacenado en los seis sistemas de manglar del Pacífico Norte de Nicaragua. El carbono azul que almacena anualmente el bosque de manglar, potencialmente podría ser parte del sistema de pago por almacenamiento de carbono para contribuir a las labores de conservación del ecosistema de manglar.

**AGRADECIMIENTO**

Esta investigación fue posible gracias al financiamiento del Consejo Nacional de Universidades (CNU) a través de los Fondos Concursables de Investigación. Los investigadores agradecen el apoyo brindado por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) y las comunidades locales de los seis sitios estudiados. Así mismo, al grupo de estudiantes del departamento de Biología de la UNAN-León que participaron en las actividades de campo.

## RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro-Sibaja, L., Barquero-Salgado, D., Fonseca, A., Montoya-Solano, R. A., Morales-Cerdas, V. y Ramírez-Arce, D. (2015). Estructura y composición vegetal del manglar Palo Seco, Quepos, Costa Rica. *Cuadernos de Investigaciones UNED*, 7(2), 325–332.
- Bautista-Olivas, A. L., Mendoza-Cariño, M., Cesar-Rodríguez, J., Colado-Amador, C. E., Robles-Zazueta, C. A., & Meling-López, A. E. (2018). Above-ground biomass and carbon sequestration in mangroves in the arid area of the northwest of Mexico: Bahía del Tóbari and Estero El Sargento, Sonora. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 24(3), 387–403. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.02.020>
- Bhomia, R. K., Kauffman, J. B., & McFadden, T. N. (2016). Ecosystem carbon stocks of mangrove forests along the Pacific and Caribbean coasts of Honduras. *Wetlands Ecology and Management*, 24(2), 187–201. <https://doi.org/10.1007/s11273-016-9483-1>
- Bindu, G., Rajan, P., Jishnu, E. S., & Ajith Joseph, K. (2018). Carbon stock assessment of mangroves using remote sensing and geographic information system. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.04.006>
- Blanco-Libreros, J. F., Ortiz-Acevedo, L. F. y Urrego, L. E. (2015). Reservorios de biomasa aérea y de carbono en los manglares del golfo de Urabá (Caribe colombiano). *Actualidades Biológicas*, 37(103), 131–141. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v37n103a02>
- Carvajal, E. L. y Soto Valdivia, R. S. (2006). *Estado actual del bosque de mangle en la Reserva Natural Estero Padre Ramos (Chinandega), Mayo- Noviembre 2005* [Tesis en Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León (UNAN-León)]. Repositorio Institucional. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/13131/201160.pdf>
- Chicas, F. A., Gonzales, J. A. y Sayes, J. A. (2016). Composición florística y estructura del manglar de la Bahía de La Unión, El Salvador. *Rev. COMUN. Cient. Tecnol.*, 2(1), 52–64.
- Daily, G. C., Alexander, S., Ehrlich, P. R., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P. A., Mooney, H. A., Postel, S., Schneider, S. H., Tilman, D., & Woodwell, G. M. (1997). *Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems*.
- De Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L. C., ten Brink, P., & van Beukering, P. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1(1), 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarsa, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), 293–297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Doughty, C. L., Langley, J. A., Walker, W. S., Feller, I. C., Schaub, R., & Chapman, S. K. (2016). Mangrove Range Expansion Rapidly Increases Coastal Wetland Carbon Storage. *Estuaries and Coasts*, 39(2), 385–396. <https://doi.org/10.1007/s12237-015-9993-8>
- Ewel, K. C., Twilley, R. R., & Ong, J. E. (1998). Different kinds of mangrove forests provide different goods and services. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7(1), 83–94. <https://doi.org/10.2307/2997700>
- Flores, D., Céspedes, L. y Martínez, A. (2013). *Identificación de servicios ecosistémicos en el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes*. <https://repositorio.igp.gob.pe/server/api/core/bitstreams/9328472d-cb88-4764-8715-330c0bbca038/content>
- Getzner, M., & Islam, M. S. (2020). Ecosystem services of mangrove forests: Results of a meta-analysis of economic values. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ijerph17165830>
- González Quiroz, O. D. (2016). *Evaluación Integrada de Socioecosistemas para la Gestión de la Franja Marino-costera: Aplicación en la Costa Del Pacífico de Nicaragua*. Universidad de Alcalá.
- Hamilton, S. E., & Friess, D. A. (2018). Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. *Nature Climate Change*, 8(3), 240–244. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0090-4>
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (eds). (2014). *Coastal blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses meadows*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature.
- Hu, T., Su, Y., Xue, B., Liu, J., Zhao, X., Fang, J., & Guo, Q. (2016). Mapping global forest aboveground biomass with spaceborne LiDAR, optical imagery, and forest inventory data. *Remote Sensing*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/rs8070565>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). Coastal Wetlands. In H. Kennedy, D. Alongi, A. Karim, G. Chen, G. Chmura, S. Crooks, J. G. Kairo, B. Liao, & G. Lin (Eds.). *Supplement to the 2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC.
- Kauffman, J. B., Adame, M. F., Arifanti, V. B., Schile-Beers, L. M., Bernardino, A. F., Bhomia, R. K., Donato, D. C., Feller, I. C., Ferreira, T. O., Jesus Garcia, M. del C., MacKenzie, R. A., Megonigal, J. P., Murdiyarsa, D., Simpson, L., & Hernández Trejo, H. (2020). Total ecosystem carbon stocks of mangroves across broad global environmental and physical gradients. *Ecological Monographs*, 90(2). <https://doi.org/10.1002/ecm.1405>
- Kauffman, J. B., Heider, C., Norfolk, J., & Payton, F. (2014). Carbon stocks of intact mangroves and carbon emissions arising from their conversion in the Dominican Republic. *Ecological Applications*, 24(3), 518–527. <https://doi.org/10.1890/13-0640.1>
- Komiyama, A., Pongpan, S., & Kato, S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal*

## RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

- of Tropical Ecology*, 21(4), 471–477. <https://doi.org/10.1017/S0266467405002476>
- Krause, M. S., Nkonya, E., & Griess, V. C. (2017). An economic valuation of ecosystem services based on perceptions of rural Ethiopian communities. *Ecosystem Services*, 26, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.06.002>
- Mendoza Hernández, J. T., González, O. D. y Aguirre, J. R. (2009). *Evaluación del estado del bosque en la Reserva Natural Isla Juan Venado, sector Las Peñitas* [Tesis en Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León (UNAN-León)]. Repositorio Institucional. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/2344>
- Moya, B. V., Hernández, A. E. y Elizalde Borrell, H. (2005). Los humedales ante el cambio climático. *Investigaciones Geográficas*, 37, 127. <https://doi.org/10.14198/ingeo2005.37.07>
- Myeong, S., Nowak, D. J., & Duggin, M. J. (2006). A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 101(2), 277–282. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.12.001>
- Nyangoko, B. P., Berg, H., Mangora, M. M., Gullström, M., & Shalli, M. S. (2021). Community perceptions of mangrove ecosystem services and their determinants in the Rufiji Delta, Tanzania. *Sustainability (Switzerland)*, 13(1), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su13010063>
- Richards, D. R., Thompson, B. S., & Wijedasa, L. (2020). Quantifying net loss of global mangrove carbon stocks from 20 years of land cover change. *Nature Communications*, 11(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18118-z>
- Rocha, P. (1999). *Informacion Tecnica Resumida – Landsat 7 Etm*. LANSAT.
- Rodríguez Zúñiga, M. T., Troche Souza, C., Vásquez Lule, A. D., Márquez Mendoza, J. D., Vásquez Balderas, B., Valderrama Landeros, L., Velásquez Salazar, S., Cruz López, M. I., Ressler, R., Uribe Martínez, A., Cerdeira Estrada, S., Acosta Velásquez, J., Díaz Gallegos, J., Jiménez Rosenberg, R., Fueyo MacDonald, L. y Galindo Leal, C. (2013). *Manglares de México: Extensión, distribución y monitoreo*. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad.
- Rouse, J. W. J., Haas, R. H., Deering, D. W., Shell, J. A., & Harlan, J. C. (1974). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*. NASA/GSFCT.
- Samper-Villarreal, J. y Silva-Benavides, A. M. (2015). Complejidad estructural de los manglares de Playa Blanca, Escondido y Rincón de Osa, Golfo Dulce, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 63(suplemento 1), 199–208. <https://doi.org/10.15517/rbt.v63i1.23103>
- Sarhan, M. (2014). The Economic Valuation of Mangrove Forest Ecosystem Services : A Review. *The George Wright Forum*, 35(3), 1–16.
- Simard, M., Zhang, K., Rivera-Monroy, V. H., Ross, M. S., Ruiz, P. L., Castañeda-Moya, E., Twilley, R. R., & Rodriguez, E. (2006). Mapping height and biomass of mangrove forests in Everglades National Park with SRTM elevation data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(3), 299–311. <https://doi.org/10.14358/PERS.72.3.299>
- Van Lavieren, H., Spalding, M., Alongi, D. M., Kainuma, M., Clüsener-Godt, M., & Adeel, Z. (2012). *Securing the future of mangroves. A Policy Brief*. UNU-INWEH, UNESCO-MAB
- Velázquez-Pérez, C., Tovilla-Hernández, C., Romero-Berny, E. I. y De Jesús-Navarrete, A. (2019). Estructura del manglar y su influencia en el almacén de carbono en la Reserva La Encrucijada, Chiapas, México. *Madera y Bosques*, 25(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531885>
- Vo, Q. T., Kuenzer, C., Vo, Q. M., Moder, F., & Oppelt, N. (2012). Review of valuation methods for mangrove ecosystem services. *Ecological Indicators*, 23, 431–446. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.04.022>
- Zeng, Y., Friess, D. A., Sarira, T. V., Siman, K., Zeng, Y., Friess, D. A., Sarira, T. V., Siman, K., & Koh, L. P. (2021). Global potential and limits of mangrove blue carbon for climate change mitigation. *Current Biology*, 31(8), 1737–1743. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.01.070>