



Estructura y composición en un manglar del Pacífico Central de Costa Rica: población de moluscos de interés comercial

Structure and composition of a mangrove forest on the Central Pacific coast of Costa Rica: population of mollusks of commercial interest

Estrutura e composição em um manguezal no Pacífico Central da Costa Rica: população de moluscos de interesse comercial

Milagro Carvajal-Oses^{1, 3*}, Junior Pastor Pérez-Molina²,
Ángel Herrera-Ulloa¹, Christian Moreira-Segura³

Received: Nov/12/2022 • Accepted: May/2/2023 • Published: Jan/1/2024

Resumen

[Objetivo]. Se evaluó el manglar de Chacarita en el Pacífico Central de Costa Rica, a través de la composición florística y las poblaciones de moluscos asociados de interés comercial, con el fin de proponer actividades de aprovechamiento sustentables en el manglar. **[Metodología].** Mensualmente y durante un año, se realizaron visitas al área de estudio, con el propósito de establecer una base florística de árboles de mangle y medir el almacenamiento de carbono en el lugar, además, de recolectar moluscos bivalvos para analizar el estado de las poblaciones, con base en las abundancias de organismos hallados y otras características como las longitudes y la masa de estos. En los mangles, se obtuvo el diámetro de la altura de pecho (DAP en cm), la altura (m), el índice de valor de importancia (IVI) y las reservas de carbono (Mg C·ha⁻¹). En cuanto a los moluscos, se examinaron cuatro especies de interés comercial, evaluando la longitud (cm), la masa (g) y el índice gonadosomático. Finalmente, se realizaron valoraciones económicas de los datos obtenidos en el manglar, del turismo e información histórica de pesca para el acopio de Chacarita. **[Resultados].** Se hallaron cinco especies de mangles, *Rhizophora mangle*, *Rizophora racemosa*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Pellucaria rhizophorae*; *P. rhizophorae* fue la de mayor índice de valor de importancia. Se obtuvo un almacenamiento de carbono equivalente a 78.49 Mg C·ha⁻¹. Se contabilizaron 357 organismos, de los cuales el 18 % correspondió a *Anadara similis*, 37.5 % a *Anadara tuberculosa*, 41.46 % a *Leukoma* spp. y 3.08 % a *Mytella guyanensis*. Tomando en cuenta el valor económico

* Autor para correspondencia.

Milagro Carvajal-Oses, ✉ milagro.carvajal.oses@una.ac.cr,  <https://orcid.org/0000-0002-8294-9863>

Junior Pastor Pérez-Molina, ✉ junior.perez.molina@una.ac.cr,  <https://orcid.org/0000-0002-3396-0599>

Ángel Herrera-Ulloa, ✉ angel.herrera.ulloa@una.ac.cr,  <https://orcid.org/0000-0003-2375-2945>

Christian Moreira-Segura, ✉ cmoreira@itcr.ac.cr,  <https://orcid.org/0000-0003-3047-2415>

1 Parque Marino del Pacífico, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

2 Laboratorio de Ecología Funcional y Ecosistemas Tropicales (LEFET), Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

3 Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Nacional, Universidad Nacional a Distancia, San Carlos, Costa Rica.



de las reservas de carbono y los moluscos bivalvos presentes en los muestreos, se obtuvieron valoraciones económicas de 9812.63 USD·ha⁻¹ y 28 USD·ha⁻¹, respectivamente. **[Conclusiones]**. Las bajas densidades poblacionales de moluscos, especialmente del género *Anadara*, hacen necesario establecer medidas de gestión que permitan recuperar las poblaciones de estos. La presente investigación propone actividades de aprovechamiento sustentables, como turismo comunitario con fines educativos y culturales.

Palabras clave: servicios ecosistémicos; turismo sustentable; área costera; comunidad; manejo de recursos naturales; conservación de recursos marinos.

Abstract

[Objective]. The floristic composition and populations of associated molluscs of commercial interest of the Chacarita mangrove forest on the Central Pacific of Costa Rica were evaluated to guide proposals for sustainable exploitation activities in the mangrove forest. **[Methodology]**. Monthly visits to the study area were conducted for one year to establish a floristic baseline of mangrove trees and measure carbon storage. Additionally, bivalve molluscs were collected to analyze the state of their populations based on the abundances of organisms found, as well as other characteristics such as length and mass. Data regarding the mangrove trees included their diameter at breast height (DBH, cm), height (m), importance value index (IVI), and carbon reserves (Mg C·ha⁻¹). Four mollusc species of commercial interest were analyzed, using data on their length (cm), weight (g), and gonadosomatic index. Economic evaluations were also conducted using data obtained from the mangrove forest, as well as tourism and historical fishing data for the collection of Chacarita. **[Results]**. Five species of mangroves were identified: *Rhizophora mangle*, *Rizophora racemosa*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans*, and *Pelliciera rhizophorae*, while *P. rhizophorae* had the highest importance value index. The study revealed a carbon storage equivalent to 78.49 Mg C·ha⁻¹. A total of 357 organisms were counted, with *Anadara similis* accounting for 18% of the total count, followed by *Anadara tuberculosa* (37.5%), *Leukoma* spp. (41.46%), and *Mytella guyanensis* (3.08%). When considering the economic value of carbon stocks and the bivalve molluscs obtained from the samples, economic valuations of 9,812.63 USD·ha⁻¹ and 28 USD·ha⁻¹ were determined, respectively. **[Conclusions]**. The low population densities of molluscs, particularly those belonging to the *Anadara* genus, necessitate the establishment of management measures to facilitate the recovery of these mollusk populations. This research proposes sustainable use activities such as community tourism for educational and cultural purposes.

Keywords: Ecosystem services; sustainable tourism; coastal area; community; natural resource management; marine resources conservation.

Resumo

[Objetivo]. O mangue de Chacarita, no Pacífico Central da Costa Rica, foi avaliado por meio da composição florística e das populações de moluscos associados de interesse comercial, com o objetivo de propor atividades de uso sustentável no mangue. **[Metodologia]**. Foram feitas visitas mensais à área de estudo durante um ano para estabelecer uma base florística de árvores do mangue e medir o armazenamento de carbono no local, bem como para coletar moluscos bivalves para analisar o status das populações, com base na abundância de organismos encontrados e em outras características, como comprimento e massa de tais organismos. Nos manguezais, foram obtidos o diâmetro à altura do peito



(DAP em cm), a altura (m), o índice de valor de importância (IVI) e as reservas de carbono ($\text{Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$). No que diz respeito aos moluscos, foram examinadas quatro espécies de interesse comercial, avaliando o comprimento (cm), a massa (g) e o índice gonadossomático. Por fim, foram feitas avaliações econômicas de dados de mangue, turismo e informações históricas de pesca para a coleção Chacarita. **[Resultados]**. Foram encontradas cinco espécies de mangue, *Rhizophora mangle*, *Rizophora racemosa*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* e *Pelliciera rhizophorae*; a *P. rhizophorae* apresentou o índice de valor de importância mais alto. Foi obtido um armazenamento de carbono equivalente a $78.49 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$. Foram calculados um total de 357 organismos, dos quais 18% correspondeu a *Anadara similis*, 37.5% *Anadara tuberculosa*, 41.46% *Leukoma* spp. e 3.08% *Mytella guyanensis*. Levando em conta o valor econômico das reservas de carbono e dos moluscos bivalves presentes nas amostras, foram obtidas avaliações econômicas de US\$ 9812.63 ha^{-1} e US\$ 28 ha^{-1} , respectivamente. **[Conclusões]**. As baixas densidades populacionais de moluscos, especialmente do gênero *Anadara* tornam necessário o estabelecimento de medidas de manejo para permitir a recuperação dessas populações. Esta pesquisa propõe atividades de uso sustentável, como o turismo comunitário para fins educacionais e culturais.

Palavras-chave: serviços ecossistêmicos; turismo sustentável; área costeira; comunidade; gestão de recursos naturais; conservação de recursos marinhos.

Introducción

Los manglares cubren un 0.1 % de la superficie continental de la Tierra ($\sim 81\,485 \text{ km}^2$) (Atwood *et al.*, 2017), comprenden árboles y arbustos de al menos 70 especies (Krauss y Osland, 2019) que se ubican en las costas intermareales a lo largo de zonas tropicales y subtropicales del planeta (Godoy y Larcada, 2015; Woodroffe *et al.*, 2016). Estos halófitos tienen adaptaciones morfológicas, fisiológicas y reproductivas que les permiten el crecimiento en condiciones salinas y anóxicas (Giri *et al.*, 2011). Los bosques de manglar proporcionan cerca de 50 000 USD en servicios ecossistémicos por hectárea (Menéndez *et al.*, 2020); pueden contener hasta $1023 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$ (71-98 % se encuentra en el suelo), lo cual los coloca muy por encima del carbono total encontrado en los principales dominios forestales del mundo ($200\text{-}400 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Donato *et al.*, 2011); se les considera fitorremediadores de metales pesados, especies como *Rhizophora* sp. son capaces de

absorber hasta 95 % más metales que otras plantas (Sundaramanickam *et al.*, 2021); disminuyen las inundaciones hasta en un 70 % (Romañach *et al.*, 2018); reducen el impacto de las olas en un 66 % en los primeros 100 metros del área de manglar (Menéndez *et al.*, 2020); contribuyen al ahorro de 453 millones USD en daños evitados como la pobreza y 1000 millones USD por año en desastres naturales (Menéndez *et al.*, 2018). Finalmente, entre los organismos que viven asociados a los manglares, los moluscos constituyen un componente importante de la dieta en humanos, en algunos casos, representan, incluso, la única fuente de ingresos por su alto valor comercial (Dias *et al.*, 2007). Según Yahya *et al.* (2020), estos bivalvos también contribuyen como fuentes minerales, de glucógeno y fármacos como antivirales.

A pesar de la trascendencia de los manglares, de 1996 al 2010, se estimó que prácticamente todos los del mundo habían sufrido algún tipo de deterioro antropogénico (Thomas *et al.*, 2017); acorde con



Polidoro *et al.* (2010), se han perdido cerca del 25-35 % de los manglares del planeta en un periodo de 50 años y, actualmente, se calcula que la tasa de disminución anual de estos bosques es del 0.16 % (Moschetto *et al.*, 2021). En Costa Rica, los manglares comenzaron a ser impactados desde 1940 por el crecimiento poblacional y actividades agrícolas o acuícolas (López-Angarita *et al.*, 2016). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2007), la cobertura de manglar disminuyó de 63 400 hectáreas en 1980 a 41 000 hectáreas en el 2005, y Hernández-Blanco *et al.* (2018) señalan una pérdida anual del 1.3 % entre 1980 y el 2013. El 99 % de los manglares de Costa Rica se ubica en el Pacífico, entre los cuales se pueden mencionar el Estero Puntarenas y sus manglares asociados que se encuentran bajo el manejo del Área de Conservación del Pacífico Central. Estos han tenido una pérdida, desde 1945 y hasta el 2018, de 865.7 ha y aún se encuentran amenazados por el crecimiento poblacional, la sedimentación y actividades agrícolas (Sistema Nacional de Áreas de Conservación [SINAC], 2018a). De acuerdo con el SINAC (2019), solo para los manglares del golfo de Nicoya se han identificado 27 presiones que afectan de manera negativa estos ecosistemas.

Entre los poblados que se relacionan con los manglares de Puntarenas, se encuentra Chacarita, el cual, desde inicios de 1970, ha sufrido cambios de uso de suelo (allí se localizan pueblos como el 20 de Noviembre y Fray Casiano), además, se le deben añadir otras presiones como el establecimiento de cañeras, tala de árboles y extracción de recursos como pianguas (*Anadara tuberculosa*) (Jiménez, 1999). En este sentido, Acuña *et al.* (1998) informaron otras problemáticas como el vertido de efluentes por parte de los

habitantes colindantes al manglar. Según el SINAC (2018a), con la aprobación del Plan de Manejo del Estero de Puntarenas, manglares como los de Chacarita se encuentran bajo una categoría de mínima intervención, con la meta de implementar acciones a futuro que colaboren en la disminución del impacto sobre todo proveniente del agro.

En el contexto de esta investigación, se busca evaluar las condiciones del manglar de Chacarita en la zona costera del Pacífico Central de Costa Rica, a través de la estructura y composición forestal, así como cuantificar las poblaciones de moluscos de interés comercial asociados, con el fin de proponer actividades de aprovechamiento sustentables con el manglar, como turismo comunitario con fines educativos.

Metodología

Área de estudio

El manglar de Chacarita, ubicado en la ciudad de Puntarenas, Pacífico Central de Costa Rica, se localiza a 9°58'48" latitud y -84°46'12" longitud. Este sitio presenta una superficie total de 210 hectáreas (figura 1). El inventario de manglares y la extracción de moluscos bivalvos se realizaron en las zonas cercanas a los canales, donde hay mayor influencia antropogénica que representa un equivalente a 140 hectáreas susceptibles de muestreo.

Esta zona se caracteriza por poseer suelos hidromórficos comunes de manglar, conformada por *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans*, *Avicennia bicolor*, *Pelluciera rhizophorae* y *Conocarpus erectus* (SINAC, 2018a). El principal río corresponde al Naranjo, el cual desemboca directamente en el manglar. En esta área, los rangos

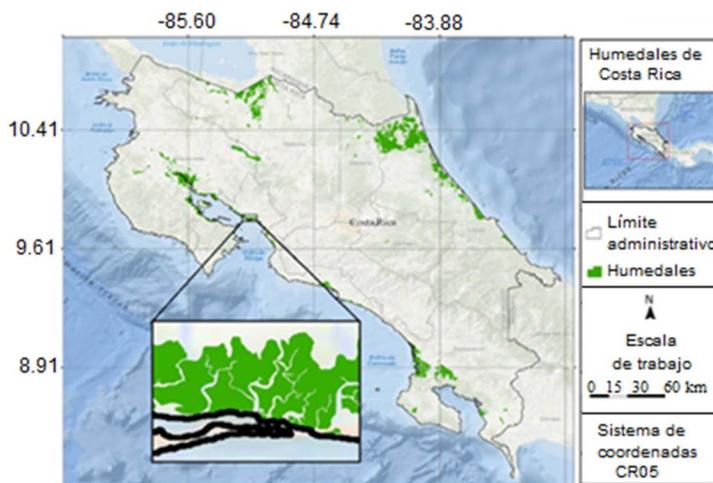


Figura 1. Mapa del área de estudio.
Nota: Fuente propia de la investigación.

de altitud intermareal se encuentran entre 0 y 3 m s. n. m., las temperaturas medias anuales pueden oscilar entre 22° y 33 °C (es posible que presenten variaciones), la precipitación promedio anual es de 1817 mm y están limitados tierra adentro por fincas dedicadas a la agricultura, ganadería, producción de sal y camarones (SINAC-Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura [INCOPESCA], 2019). La ciudad de Puntarenas, donde está ubicada el área de estudio, posee una formación geológica reciente (Denyer *et al.*, 2004); según el Atlas del Instituto Tecnológico de Costa Rica (Ortiz y Soto, 2014), se sitúa en el Cuaternario, correspondiente a la última subdivisión del tiempo geológico, y cubre aproximadamente 2.6 millones de años.

Muestreo de la estructura y composición del manglar

Se utilizó la guía rápida del SINAC (2016), la cual constó de tres transectos perpendiculares al espejo de agua, cada uno conformado por tres cuadrantes de 25 m² y a una distancia de 10 m de cada cuadrante. Se usó solo un cuadrante por transecto al azar y se analizó un total de 36 cuadrantes durante

el año de estudio. Las visitas al manglar se realizaron una vez al mes durante un año (2020-2021), con el fin de establecer un inventario de manglares y estimar el carbono almacenado. En cada punto de muestreo, se tomó del agua superficial la temperatura (°C), con un multiparámetro de marca comercial YSI, y la salinidad, (ppm) con un refractómetro.

En cuanto a la base florística de especies núcleo, solo se consideró la biomasa viva. Los árboles fueron identificados según Pizarro *et al.* (2004). Se midió la

altura (m) con un hipsómetro Nikon. Se obtuvo el diámetro de la altura de pecho (DAP en cm) de cada individuo mayor o igual a 5 cm de diámetro. Se calculó el índice de valor de importancia (IVI) por especie de árbol, el cual se logró sumando la frecuencia relativa (parcelas que contienen cada especie entre el total de parcelas), la abundancia relativa (cantidad por especie entre el total de todas las especies) y la dominancia relativa (suma del área basal de cada árbol por especie entre el total del área basal de todas las especies) (Parray *et al.*, 2021).

No es un servicio ecosistémico como tal, pero, como esta investigación tiene fines reflexivos hacia la protección del manglar, se estimó la cantidad de carbono almacenado, a través del cálculo de la biomasa aérea, en raíces y en raíces fúlreas.

Se empleó la fórmula de Chavé *et al.* (2005) para el cálculo del carbono de la biomasa aérea (CBA, Ec. 1):

$$CBA = 0.0509 \cdot \rho \cdot DAP \cdot A \quad \text{Ec. 1}$$

dónde ρ corresponde a la densidad gravitacional de la madera, DAP es el diámetro



de la altura de pecho y A es la altura. Las densidades de la madera se obtuvieron de Zanne *et al.* (2009) y, para *Pelliciera rhizophorae*, de Southwell y Bultman (1971).

Se utilizó la fórmula de Komiyama *et al.* (2005) para el cálculo de la biomasa en raíces (CBR) (Ec. 2):

$$\text{CBR} = 0.199 \cdot \rho \cdot 0.899 \cdot \text{DAP}^{2.22} \quad \text{Ec. 2}$$

En el caso de los mangles *Rhizophora mangle* que poseen amplias raíces aéreas, se usó la siguiente fórmula (Ec. 3), que permite calcular la biomasa almacenada en las raíces fúlcreas (CBF) (Smith y Whelan, 2006):

$$\log_{10}(\text{CBF}) = 0.160 \cdot \log_{10} \cdot \text{DAP} - 1.041 \quad \text{Ec. 3}$$

Una vez que se llevaron a cabo las estimaciones de biomasa, se obtuvo la transformación a carbono (Mg C), para la que se utilizó el factor de conversión de 0.464 g C por cada gramo de biomasa (Kauffman *et al.*, 2011). La cantidad de carbono se multiplicó por el factor 3.67, para determinar el equivalente a CO₂ (Mg C).

Moluscos bivalvos de interés comercial para consumo humano

La captura se centró en las siguientes especies: *Leukoma* spp., *Mytella guyanensis*, *Anadara tuberculosa* y *Anadara similis*. Se utilizaron los mismos transectos mensuales (durante un año, 2020-2021) establecidos para la base florística, solo que, para este caso, se muestrearon los tres cuadrantes de los tres transectos (se usaron en total 108 unidades de muestreo). En este proceso de extracción, fue necesario contar con la colaboración de dos personas de la comunidad de Chacarita con experiencia en la temática, quienes estuvieron presentes durante todos los muestreos.

A los moluscos extraídos se les determinó si se encontraban en la talla de primera madurez; para el caso de *Leukoma* spp. y *Mytella guyanensis*, se tomó en cuenta la recomendación de Wehrman (2017) y para el de *Anadara* sp., se siguió la Ley de tallas mínimas de la República de Costa Rica, 13371-A (1982). A los especímenes se les midió la longitud (L) con un calibrador de precisión de 0.1 mm y se obtuvo la masa total húmeda (g), la masa de todas las secciones blandas (g) y la de masa visceral con gónada (g, estómago y hepatopáncreas), mediante una balanza digital con precisión 0.01g. Se especificó el sexo (macho: ♂; hembra: ♀), el índice gonadosomático (IG; masa gonadal/masa visceral · 100; Marshal, 1960), el índice de rendimiento de carne (IR; masa visceral/masa total · 100; Cruz y Palacios, 1983) y la madurez sexual, de acuerdo con Cruz (1984), para todos los organismos. Se calculó la relación masa total (g) y longitud (cm) para cada especie. Finalmente, se obtuvo el IVI que fue estimado como la suma de la frecuencia relativa, la abundancia relativa y la dominancia relativa.

Evaluación económica de servicios ecosistémicos

Se tomó el valor económico del carbono almacenado por hectárea en el área de estudio, utilizando el costo marginal de reducción del carbono (MAC), el cual, según Hernández-Blanco *et al.* (2018), está definido como el costo económico de eliminar una unidad adicional de emisiones de carbono, para lo que se utilizó el valor asignado por Fisher *et al.* (2007) de 125 USD por tonelada de carbono.

En el caso de los moluscos bivalvos de interés comercial, la cantidad obtenida de individuos se extrapoló al área de estudio analizada, de acuerdo con su



frecuencia de aparición; no se tomó en cuenta *Mytella guyanensis*, pues la muestra no se consideró representativa y se le asignó un valor económico directo, según el precio de mercado estipulado en las bases de datos del Departamento de Estadística del INCOPECA, los cuales correspondieron a 15.85 USD el kilogramo de *Anadara* sp. y 1.2 USD el de *Leukoma* spp., ambos montos sin concha. A este mismo departamento, y para apoyar el punto anterior, se le solicitó también la base de datos que se informa para los acopios en Chacarita, referida a peces que realizan sus primeros estadios en el manglar: “agria cola”, “clase”, “primera pequeña”, “primera grande”, “pargo”, “pargo mancha” y moluscos bivalvos, específicamente, para *Anadara* sp., *Leukoma* spp. y *Mytella guyanensis* (1.8 USD el kilogramo sin concha). Las variables de la base de datos que se analizaron fueron: especies que se extraen, kilos reportados y precio económico (USD), en el periodo 2008-2017 (datos disponibles al momento de la escritura de este artículo).

Finalmente, como en el área en estudio el turismo no es una actividad que se implementa en la actualidad, se realizó una valoración indirecta, hipotetizando un escenario en el cual se utilizaron los datos de visitación (2011-2019, únicos disponibles) de un parque temático marino especializado en educación ambiental, que se encuentra localizado en la ciudad de Puntarenas, Costa Rica (Parque Marino del Pacífico, PMP), cercano al área explorada; se tomaron como “posibles clientes” dispuestos a pagar (USD) por *tours* educativos a lo largo del manglar, si se les brinda una adecuada publicidad del sitio. Se efectuó una encuesta a 100 visitantes mayores de 18 años del PMP, en

la que se les hicieron tres preguntas, con el fin de estimar el precio aproximado de esos viajes a través del manglar y un porcentaje posible de personas interesadas en adquirirlos; las interrogantes fueron: 1) ¿Conoce el manglar de Chacarita?, 2) ¿Está dispuesto (a) a visitarlo en un *tour*? y 3) ¿Cuánto está dispuesto a pagar por un *tour* que incluya tres horas de viaje, un refrigerio y charla ambiental?

Análisis de datos

La altura y el diámetro de los árboles de manglar, así como la longitud, la masa total y la masa de tejidos suaves de los moluscos fueron evaluados mediante prueba de Kruskal-Wallis y la prueba *post hoc* de mínima diferencia significativa (*Least Significant Difference - LSD*, $P < 0.05$), para determinar las diferencias significativas entre las especies (árboles de manglar o moluscos). Fueron probados todos los supuestos estadísticos para el análisis de varianza, como la normalidad y homogeneidad de los residuos. Se realizaron modelos de regresión lineal para la relación entre la altura (A) y el diámetro de los árboles de manglar (DAP) por especie ($A = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP$; β_0 y β_1 son coeficiente del modelo). Asimismo, se realizó regresiones polinomiales de segundo grado para la relación entre la longitud (L), la masa total (MT) y la masa tejidos suaves (MTS) de las especies de moluscos (MT o $MTS = \beta_0 - \beta_1 \cdot L + \beta_2 \cdot L^2$; β_0 , β_1 y β_2 son coeficiente del modelo). Todos los análisis estadísticos se hicieron con el lenguaje de programación R, versión 3.6.1 (RCoreTeam, 2020), con un nivel de significación de $\alpha = 0.05$.



Resultados

Estructura y composición del manglar

La temperatura se mantuvo constante en 27.5 ± 0.3 °C (media \pm SD). En los meses de estación seca, la salinidad fue de 21.59 ± 3.54 ppm y en los meses de estación lluviosa correspondió a 6.13 ± 2.78 ppm. Se hallaron cinco especies de mangles; *Pelliciera rhizophorae* fue la de mayor índice de valor de importancia, seguido por *Rhizophora racemosa*. Por otro lado, la especie de menor importancia resultó ser *R. mangle* (Tabla 1).

En cuanto a la altura y DAP, respectivamente: *L. racemosa* presentó 5.03 ± 1.73 m (media \pm SD, 2.52-6.88 m) y 13.99 ± 9 cm; *P. rhizophorae*, 4.71 ± 1.98 m (1.68-9.88 m) y 15.27 ± 7.32 cm; *R. racemosa*, 4.54 ± 1.61 m (2.34-9.74 m) y 20.63 ± 8.92 cm; *R. mangle*, 4.19 ± 1.44 m (2.55-7.27 m) y 15.45 ± 11.43 cm; y *A. germinans*, 3.30 ± 1.63 m (1.80-5.50 m) y 22.04 ± 20.50 cm. El 99 % de los individuos se encontró en las clases diamétricas entre 5 y 50 cm (16.84 ± 9.73 cm) y específicamente el 90 % se halló en el intervalo 5-31.25 cm. Solamente, *A. germinans* se muestrearon árboles de hasta 50.93 cm de diámetros.

La sumatoria de las reservas de carbono encontradas solamente en los cuadrantes muestreados correspondió a 4.29 Mg C de *R. racemosa*, 4.96 Mg C de *P. rhizophorae*, 1.51 Mg C de *A. germinans*, 1.02 Mg C de *R.*

mangle y 0.64 Mg C de *L. racemosa*; donde se obtuvo un promedio, por cuadrante, de 0.2 ± 0.19 Mg C. Al realizar la extrapolación a toda el área de estudio, se alcanzó un total de 16 484.03 Mg C, lo cual es equivalente a 78.49 Mg C·ha⁻¹ (33.27 Mg C ha⁻¹ en raíces y 45.21 Mg C·ha⁻¹ sobre el suelo; figura 2). La equivalencia total a CO₂ fue de 288.05 Mg C·ha⁻¹.

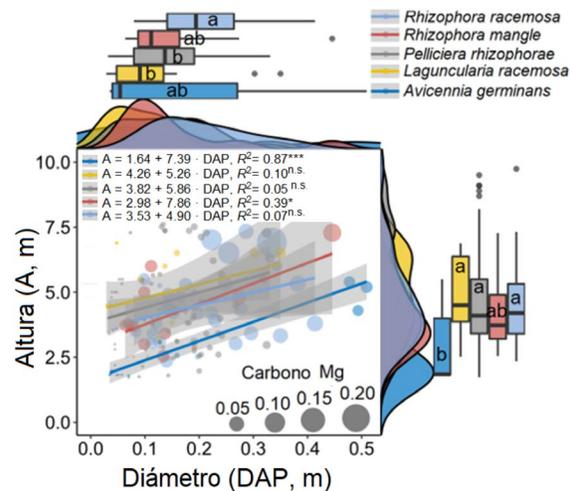


Figura 2. Relación entre el diámetro de altura de pecho (DAP) y altura del árbol (A) de las cinco especies de mangles en el área de estudio. El tamaño de los círculos indica el contenido de carbono por árbol. Las letras iguales señalan no diferencias estadísticamente significativas entre las especies de manglar para el diámetro o la altura de los árboles (LSD, $P > 0.05$).

Nota: Fuente propia de la investigación.

Tabla 1
 Índice de valor de importancia (IVI, %) de los árboles de manglar en Chacarita, Puntarenas, Costa Rica

Especie	Dominancia (%)	Abundancia (%)	Frecuencia (%)	IVI (%)
<i>Pelliciera rhizophorae</i>	41.4	53.6	36.1	43.7
<i>Rhizophora racemosa</i>	30.1	20.5	34.7	28.4
<i>Avicennia germinans</i>	15.3	8.4	6.9	10.2
<i>Laguncularia racemosa</i>	6.3	10.8	11.1	9.4
<i>Rhizophora mangle</i>	6.9	6.6	11.1	8.2
Total	100	100	100	100

Nota: Fuente propia de la investigación.



Poblaciones de molusco de interés comercial

Se obtuvo un total de 357 organismos (figura 3), de los cuales el 18 % correspondió a *Anadara similis*, el 37.5 % a *Anadara tuberculosa* (ambas conocidas como pianguas), 41.46 % a *Leukoma* spp. y 3.08 % a *Mytella guyanensis*. La distribución de los organismos no fue homogénea en el área de estudio.

Poblacionalmente, la especie de bivalvo con mayor índice de valor de importancia correspondió a *Anadara tuberculosa*, seguida por *Leukoma* spp. (Tabla 2).

Con respecto al índice gonadosomático (media \pm SD), solamente se analizaron las tres especies de mayor índice de valor de importancia. *Leukoma* spp. presentó un índice de 22.70 ± 15.00 %, *A. similis* de 18.88 ± 7.58 % y *A. tuberculosa* de 18.05 ± 12.69 %. En cuanto a la proporción de sexos, la de *Leukoma* spp. fue 1♂: 2.6♀ (56♀ %, 21 % indefinidos, 23♂ %) y el 34 % con un estadio de madurez de 3 a 4); la de *A. tuberculosa*, 1♂: 1.2♀ (46 % ♀, 15 % indefinidos, 39 ♂ %) y el 21 % con un estadio de madurez de 3 a 4); y la de *A. similis*, 1♂: 7♀ (77 % ♀, 13 % indefinidos, 11♂ %) y el 50 % con un estadio de madurez de 3 a 4). *A. similis* mostró una

longitud de 4.01 ± 1.13 cm, el 80 % de los organismos se encontró en tallas menores a 4.7 cm; *A. tuberculosa*, 4.50 ± 1.16 cm, el 60 % fueron valores menores a 4.7 cm; y *Leukoma* spp., 3.41 ± 0.82 cm, el 97 % se encontró sobre los 1.2 cm (talla de primera madurez). Finalmente, se obtuvo para *A. similis* una masa total de 17.29 ± 13.86 g (con concha) y de partes blandas (sin concha) de 5.29 ± 2.69 g (26.92 ± 17.00 % IR - índice de rendimiento de carne); *A. tuberculosa*, 29.00 ± 20.34 g y 5.76 ± 3.30 g ($21.74 \pm$

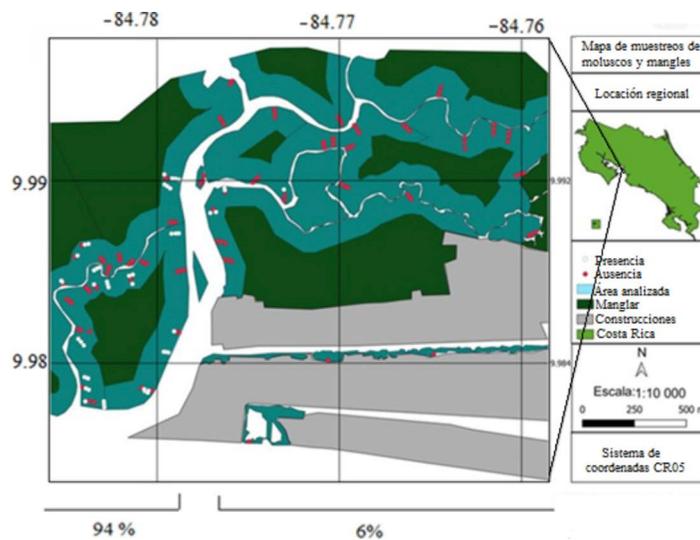


Figura 3. Ausencia (puntos rojos) y presencia (puntos blancos) de moluscos bivalvos de interés comercial para consumo humano en el área de estudio. Los porcentajes reflejan la cantidad de organismos muestreados en ambos lados del río Naranjo.

Nota: Fuente propia de la investigación.

Tabla 2
 Índice de valor de importancia (IVI, %) de moluscos en el manglar de Chacarita, Puntarenas, Costa Rica

Especie	Dominancia (%)	Abundancia (%)	Frecuencia (%)	IVI (%)
<i>Anadara tuberculosa</i>	57.3	37.5	45.3	46.7
<i>Leukoma</i> spp.	26.1	41.5	29.2	32.3
<i>Anadara similis</i>	16.2	17.9	19.8	18.0
<i>Mytella guyanensis</i>	0.4	3.1	5.7	3.0
Total	100	100	100	100

Nota: Fuente propia de la investigación.



9.05 % IR); y *Leukoma* spp., 12.46 ± 7.07 g y 2.71 ± 1.62 g (27.77 ± 15.14 % IR), respectivamente (figura 4).

Valoraciones de los servicios ecosistémicos

Se obtuvo un total de 346 organismos (solamente referido *Anadara* sp. y *Leukoma* spp.) que extrapolados al área de estudio correspondieron a 44 178 organismos de *Anadara* sp. (241.48 kg de carne) y 31 567 de *Leukoma* spp. (81.38 kg de carne), equivalentes a 27.3 USD·ha⁻¹ para *Anadara* sp. y a 0.7 USD·ha⁻¹ para *Leukoma* spp. Por otra parte, las reservas de carbono representaron 9812.63 USD·ha⁻¹.

Con respecto a los datos referidos al acopio de Chacarita, el lugar ha recibido, del 2008 al 2017, por concepto de peces, un total de $537\,940.49$ USD ($219\,674.99$ kg) y de bivalvos $133\,788.55$ USD ($18\,629.34$ kg); si bien es cierto no son recursos capturados en el manglar de Chacarita,

sí representan ingresos económicos para la comunidad de manera indirecta. En cuanto al turismo, al menos 1331 personas por año dispuestas a pagar por educación ambiental visitan áreas cercanas al lugar de estudio. De acuerdo con la encuesta realizada a visitantes, el 50 % de las personas conoce dónde está localizado el manglar de Chacarita, el 92 % está dispuesto a visitar el manglar y el 76.8 % está anuente a pagar entre 25 y 32 USD (promedio 28.5 USD) por un *tour*, lo que podría representar hasta 34 000 USD al año para la comunidad.

Discusión

En este estudio se identificaron cinco especies de manglar, de las cuales *P. rhizophorae* y *R. racemosa* presentaron los mayores IVI, lo cual coincide con Jiménez (1994), al indicar que son las de mayor importancia en la costa Pacífica de América Central. Esto podría generar entre ellas una competencia por espacio (Acuña

et al., 2018), incentivada por gradientes de salinidad (Mainardi, 1995), donde *P. rhizophorae* se beneficia más de las bajas salinidades (Garzón-Bautista *et al.*, 2018). Lo anterior fue corroborado por Rincón *et al.* (2020), al afirmar que la salinidad es uno de los aspectos más determinantes en la distribución, el establecimiento y el crecimiento de las especies de manglar.

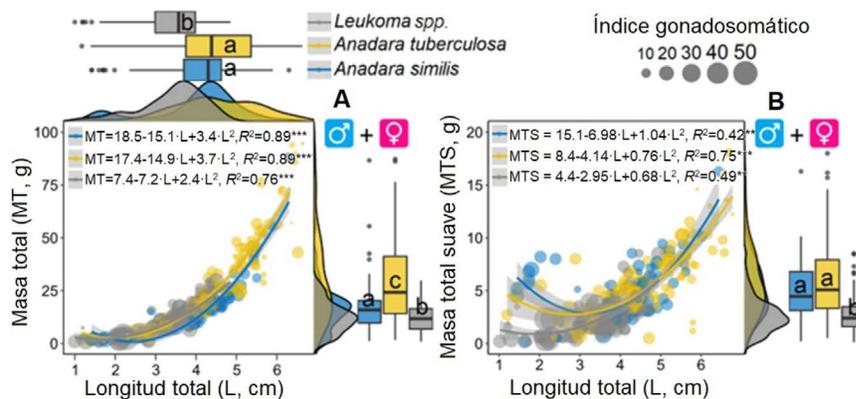


Figura 4. Relación entre la longitud, la masa total (A) y la masa de tejidos suaves (B) para las tres especies de moluscos bivalvos de mayor IVI en el área de estudio. El tamaño de los círculos indica el índice gonadosomático por individuo. Las letras iguales indican no diferencias estadísticamente significativas entre las especies de molusco para la longitud total, la masa total o la masa de tejidos suaves (LSD, $P > 0.05$).

Nota: Fuente propia de la investigación.



Además, a *P. rhizophorae* y *R. racemosa*, al mostrar las mayores abundancias y frecuencias, se les puede atribuir una distribución más horizontal. Las otras especies con menor IVI se pueden definir como conglomerados más localizados, tal como ha sido descrito por otros autores (Barrantes y Cerdas, 2014), posiblemente influenciados por la distribución de sus propágulos (Delgado *et al.*, 2001) o por otros factores como gradientes ambientales, procesos físicos o patrones morfológicos (Samper y Silva, 2014).

Las clases diamétricas obtenidas en esta investigación coinciden con lo informado por Pineda (2021) para el Humedal Estero Puntarenas y sus Manglares Asociados. Cabe recalcar que, al encontrarse el 90 % de organismos entre las clases diamétricas de 5 a 31.25 cm, esto es indicativo de un proceso de regeneración del manglar, posiblemente incentivado por los asentamientos humanos o la actividad agrícola que ha generado reforestación a través del tiempo.

Con respecto al nivel del carbono, esta indagación encontró bajas reservas de tal elemento, en comparación con otros trabajos como el de Cifuentes *et al.* (2014), quienes informaron valores de carbono en mangles de Puntarenas entre 92 y 99 Mg C·ha⁻¹ y en raíces entre 47.93 y 53.34 Mg C·ha⁻¹; sin embargo, estos autores utilizaron otras fórmulas alométricas para el cálculo del carbono superficial, como la de Imbert y Rollet (1989), la de Smith y Whelan (2006) y la de Fromard *et al.* (1998). Por lo tanto, para realizar una comparación más real, usamos las mismas fórmulas que Cifuentes *et al.* (2014), con los datos recolectados para este estudio y se obtuvo un carbono total de 114.41 Mg C·ha⁻¹ (81.14 Mg C·ha⁻¹ en el nivel superficial), lo que representó un 45 % más de nuestro dato inicial reportado.

Por otro lado, en esta investigación los valores de carbono son mayores a los publicados por Agraz-Hernández *et al.* (2020) en México, los cuales utilizaron las mismas fórmulas alométricas, obtuvieron valores de carbono de 42.97 Mg C·ha⁻¹ y estos bajos valores los relacionaron con la alta sedimentación del manglar, la presión por cambio de uso de suelo y los asociaron a un bosque secundario. En general, el carbono almacenado sobre el suelo, informado en este trabajo, es inferior al promedio mundial para manglares (78 ± 64.5 Mg C·ha⁻¹), posiblemente enlazado a que es un bosque en regeneración y el 70 % de las variaciones en carbono están ligadas a la edad de los mangles (Estrada y Soares, 2017). Sin tomar en cuenta la fórmula alométrica que se emplee, el carbono arriba del suelo representa solamente 13-22 % de todo el carbono del sistema (Kauffman *et al.*, 2011); por ello, el carbono en nuestra área de estudio es menor a las investigaciones citadas.

Con respecto a los moluscos, la diferencia en la cantidad de organismos muestreados en ambos lados del río Naranjo podría estar relacionada con la sedimentación acarreada por el mismo afluente; por su topografía, aquellos tienden a acumularse en sectores específicos, endureciendo los terrenos, lo que dificulta la reproducción de los individuos o la fijación de estos a los sustratos (Silva-Benavides y Bonilla, 2015). Además, lo dicho se puede asociar a las bajas salinidades, debido a que, según Vega *et al.* (2021), *A. tuberculosa* sobrevive mejor en ambientes con salinidades mayores a 12 ppm y para esta indagación se informan salinidades cercanas a 6 ppm en época lluviosa. Otro aspecto que influye en la cantidad de organismos es la presión antropogénica sobre los recursos (Diringer *et al.*, 2019; Panta-Vélez *et al.*, 2020) y la cercanía con



la frontera agrícola. Cabe resaltar que la presión podría ser incluso mayor a la reportada, pues las recolectas de individuos se efectuaron en periodo pandémico por SARS-CoV-2.

Leukoma spp. presentó mayor abundancia de organismos comparada con las otras especies, en respuesta a que las almejas, a pesar de ser de los bivalvos más extraídos en Costa Rica (Rojas-Jiménez *et al.* 2022), no poseen el mismo valor cultural ni comercial que *Anadara* sp.; esto fue reflejado en los precios económicos estipulados para almeja y piangua por kilogramo (detallados en la metodología de la investigación) por parte del INCOPECA. Además, Ordinala *et al.* (2020) se han referido a que *Leukoma asperrima* compite con las pianguas y tiende a incrementar su abundancia cuando dicho parámetro disminuye.

En general, las abundancias de organismos que se extrajeron en un año (357 organismos) fueron pocas, lo que sugiere generar un ordenamiento urgente de este recurso, debido a que de él dependen muchas familias costarricenses lideradas especialmente por mujeres (SINAC-INCOPECA, 2019). Este panorama de poblaciones diezmadas de bivalvos ya había sido informado en Costa Rica por Fournier y Fonseca (2007): indicaron una disminución de 46.5 toneladas de los moluscos entre 1997 y 2005, en los manglares del Pacífico. Además, en un nivel ecológico, Yahya *et al.* (2020) mencionan que entre los principales roles que realizan dichos organismos se encuentra el reciclaje de nutrientes, facilitan el movimiento de las corrientes de agua a través de las raíces de los manglares y reducen la turbidez del agua. Así mismo, muchos moluscos son dependientes de los manglares, las mayores diversidades dentro de estos se han encontrado cerca de *Rhizophora* sp. (Printrakoon

et al., 2008); los neumatóforos de los manglares facilitan la retención de sedimentos, lo que permite aumentar la disposición de alimentos para estos organismos (Skilleter y Warren, 2000) y les brinda protección ante depredadores (Yahya *et al.*, 2020).

Así mismo, si se hace referencia solo a *A. tuberculosa*, se obtuvo una densidad poblacional de 0.022 organismos por m², lo que está muy por debajo de valores como los informados por Silva-Benavides y Bonilla (2015), de 0.14 organismos por m² en playa Blanca, 2.77 organismos por m² en Golfito, Costa Rica, o 0.13 organismos por m² en El Salvador, según Flores *et al.* (2011). De acuerdo con el SINAC (2018b), *A. tuberculosa*, cuando las densidades se encuentran entre 0 y 0.9, se puede catalogar como un recurso que está próximo a agotarse. En el caso de *A. similis*, esa densidad correspondió a 0.008 por m² y en el de *Leukoma* spp. a 0.02 por m².

El índice gonadosomático (IG) de *Anadara* sp. fue bajo en comparación con otros estudios, como el realizado por Tuñón (2013). Este investigador obtuvo valores cercanos a 30 % en Panamá, posiblemente asociados a la presión antropogénica similar a nuestro trabajo, que no les permita alcanzar mayores índices gonadales. Con respecto al índice de rendimiento de carne (IR), los valores obtenidos están entre los reportados por Silva-Benavides y Bonilla (2015) (12.7-25.9 %) en el Golfo Dulce, Costa Rica, pero son inferiores al valor máximo de pianguas publicado por Jordan y Gómez (2006) en Panamá (33.88 %).

A pesar de que los promedios de las longitudes de los organismos de *Anadara* sp. reportadas en este trabajo fueron mayores a otros hallazgos en otras zonas de Puntarenas, como es el caso de lo explorado por el Proyecto Golfos (2015) para la zona de



Manzanillo (4.28 ± 0.6 cm para *A. tuberculosa* y 3.65 ± 0.34 cm para *A. similis*), el 70 % de las pianguas muestreadas (de ambas especies) se encontró por debajo de la talla mínima de extracción establecida por la Ley de la República de Costa Rica 13371-A (1982). Ello coincide con estudios como el de Vega *et al.* (2021), que obtuvieron en *A. tuberculosa* las tallas también menores a las aceptadas legalmente en Panamá. Manjarrés-Villamil *et al.* (2013) observaron una disminución de las poblaciones de *A. similis* en Colombia. No obstante, de *Leukoma* spp. el 97 % estaba en los rangos de primera madurez (Wehrman, 2017). La relación masa total (g) y longitud (cm) para *Anadara* sp. coincide con Silva-Benavides y Bonilla (2001), lo que indica que las especies están constantemente en reproducción. Sin embargo, no logran alcanzar mayores tallas por la presión antropogénica que sufren (Diringer *et al.*, 2019). El comportamiento de la relación masa de tejidos suaves y longitud muestra mayores variaciones para el género *Anadara* sp., evidenciando momentos en los que hay disminución de masa por concepto de carne, pero no por concepto de concha, la cual sigue en crecimiento y luego, a partir de 4 centímetros, el aumento de carne se hace muy prominente, quizá relacionado con la reproducción. Estos datos son similares a lo observado en el análisis de Lucero *et al.* 2011 para *A. tuberculosa* en Colombia.

La gran cantidad de hembras presentes en *A. similis* puede vincularse a procesos de reversión sexual de machos a hembras, lo que podría provocar desequilibrios en la proporción sexual (Panta-Vélez *et al.*, 2020). La relación de sexo de *A. tuberculosa* estuvo más cercana a 1:1, lo cual es semejante a lo informado por otros investigadores en Costa Rica (Cruz, 1984; Silva-Benavides y Bonilla, 2015), Ecuador (Flores y Lincadeo, 2010) y

Panamá (Jordan y Gómez, 2006). Sin embargo, Lucero *et al.* (2021) y Manjarrés-Villamil *et al.* (2013) afirman que el hermafroditismo puede estar presente en *A. similis* y *A. tuberculosa*, beneficiando la producción de hembras. En cuanto a *Leukoma*, Hiebert (2015) reportó hermafroditismo en *Leukoma staminea*, las hembras eran mayoría.

En la presente investigación, las valoraciones económicas de los recursos naturales tienen el fin de crear conciencia sobre los beneficios de estos al ser humano, así como lo mencionan Constanza *et al.* (2014) y Benson *et al.* (2017), en el caso específico de los manglares, son los que poseen el mayor valor económico por hectárea de todo el carbono azul del planeta. Esas valoraciones económicas requieren análisis profundos del estado de los recursos naturales, lo que posibilita enriquecer la toma de decisiones, sin dejar de lado a los usuarios inmediatos (comunidad), ellos deben ser parte fundamental de las políticas de conservación (Queiroz *et al.*, 2017). La valoración económica total calculada en este estudio, mediante el muestreo, tomando en cuenta las reservas de carbono y los moluscos bivalvos muestreados, fue cercana a 1377 millones (USD). Por otro lado, Hernández *et al.* (2021) informaron de 86 millones (USD), aproximadamente, por año, en concepto de 11 servicios ecosistémicos, lo cual representa un valor mediano para el golfo de Nicoya, Costa Rica. La aproximación del valor económico del servicio ecosistémico turismo es cercana a lo reportado por Udin *et al.* (2013), 40 000 USD al año en manglares de Bangladesh, pero muy inferior a ganancias económicas por el mismo concepto en otros manglares de Sri Lanka (93 000-119 000 USD al año) o de 700 000 USD en el Humedal Terraba-Sierpe en Costa Rica, por Sánchez *et al.* (2013).



Conclusiones

El presente estudio mostró una problemática asociada a la abundancia de las poblaciones analizadas de moluscos bivalvos de interés comercial para consumo humano. El 70 % de los individuos hallados del género *Anadara* estuvieron por debajo de la talla mínima establecida por la legislación costarricense, lo cual es un indicativo de presiones externas, posiblemente asociadas a las extracciones sin medida; sin embargo, se recalca que los organismos están en constante reproducción. Además, se observa, de acuerdo con los resultados, un bosque de mangle en regeneración, con cinco especies y un alto interés de la comunidad por visitar esta zona e incentivar un turismo que actualmente no está desarrollado.

Según los datos obtenidos, existen áreas que benefician la crianza de los moluscos, por lo tanto, se recomienda, con apoyo gubernamental, incentivar el cultivo del molusco *Anadara* sp., con fines de conservación y como generador de fuente de trabajo. Así mismo, se sugiere mayor intervención del Gobierno costarricense en la sensibilización, el empoderamiento y las capacitaciones de la comunidad hacia los recursos naturales que tienen aledaños, con el propósito de que ella sea la principal protectora de estos y que a la vez pueda mejorar su calidad de vida con actividades sostenibles. La generación de este tipo de información permite establecer planes de educación ambiental contextualizados y basados en competencias atinentes a la realidad de cada localidad.

Financiamiento

Universidad Nacional, Costa Rica.

Agradecimiento

Se agradece a la comunidad de Fray Casiano de Chacarita, a la Universidad Nacional por el apoyo económico, al Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura, al Sistema Nacional de Áreas de Conservación, al Parque Marino del Pacífico y a los biólogos Emmanuel Esquivel Murillo y Benedicto Valdés Rodríguez.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

Declaración de la contribución de los autores

Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

El porcentaje total de contribución para la conceptualización, preparación y corrección de este artículo fue el siguiente: M. C. O. 40 %, J. P. M. 30 %, A. H. U. 15 % y C. M. S. 15 %.

Declaración de disponibilidad de los datos

El intercambio de datos no es aplicable, debido a que en este estudio no se crearon ni analizaron nuevos datos. La información que respalda los resultados de este estudio será puesta a disposición por el autor correspondiente M. C. O., previa solicitud razonable.



Referencias

- Acuña, J., García, V. y Mondragón, J. (1998). Comparación de algunos aspectos fisicoquímicos y calidad sanitaria del Estero de Puntarenas, C. R. *Revista de Biología Tropical*, 6, 1-10.
- Acuña, J., Quesada, A. y Vargas, C. (2018). Cobertura y distribución de las especies de mangle en el Humedal Nacional Terraba Sierpe, C. R. *Anuario Igeo*, 14(1), 120-129.
- Agraz-Hernández, C., Chan, C., Chávez-Barrera, J., Osti-Sáenz, J., Expósito-Díaz, G., Alonso-Campos, A., Muñoz-Salazar, R... y Rivera-Arriaga, E. (2020). Reserva de carbono en un ecosistema de manglar al norte de México: cambios ambientales durante 35 años. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91(2). <https://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.2910>
- Atwood, T., Connolly, R., Almahasheer, H., Carnell, P., Duarte, C., Ewers Lewis, C. J... y Lovelock, C. E. (2017). Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses. *Nature Climate Change*, 7(7), 523-528. <https://doi.org/10.1038/nclimate3326>
- Barrantes, R. y Cerdas, A. (2014). Distribución espacial de las especies de mangle y su asociación con los tipos de sedimentos del sustrato, en el sector estuarino del Humedal Nacional Terraba Sierpe, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 63(1), 47-60. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v63i1.23094>
- Benson, L., Glass, L., Jones, T., Ravaoarinosihoarana, L. y Rakotomahazo, C. (2017). Mangrove carbon stocks and ecosystem cover dynamics in Southwest Madagascar and the Implications for Local Management. *Forests*, 8(6), 190. <https://doi.org/10.3390/f8060190>
- Chavé, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J. Q., Eamus, D... y Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Cifuentes, M., Brenes, C., Manrow, M. y Torres, D. (2014). *Dinámica de uso de la tierra y potencial de mitigación de los manglares del Golfo de Nicoya*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I... y Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
- Cruz, R. y Palacios J. (1983). Biometría del molusco *Anadara tuberculosa* (Pelecypoda: Arcidae) en Punta Morales, Puntarenas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 31(2), 175-179.
- Cruz, R. (1984). Algunos aspectos de la reproducción en *Anadara tuberculosa*; (Pelecypoda: Arcidae) de Punta Morales, Puntarenas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 32(1), 45-50.
- Delgado, P., Hensel, P., Jiménez, J. y Day, J. (2001). The importance of propagule establishment and physical factors in mangrove distributional patterns in a Costa Rican estuary. *Aquatic Botany*, 71(3), 157-178. [https://doi.org/10.1016/s0304-3770\(01\)00188-7](https://doi.org/10.1016/s0304-3770(01)00188-7)
- Denyer, P., Cárdenas, G. y Kruse, S. (2004). Registro histórico y evolución de la barra arenosa de Puntarenas, Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 31, 45-59. <https://doi.org/10.15517/RGAC.V0I31.7245>
- Dias, T., Rosa, R. y Damasceno, L. (2007). Aspectos socioeconômicos, percepção ambiental e perspectivas das mulheres marisqueiras da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Ponta do Tubarão (Rio Grande do Norte, Brasil). *Gaia Scientia*, 1, 25-35.
- Diringer, B., Pretell, K., Avellan, R., Chanta, C., Cedeño, V. y Gentile, G. (2019). Genetic structure, phylogeography, and demography of *Anadara tuberculosa* (Bivalvia) from East Pacific as revealed by mtDNA: Implications to conservation. *Ecology and Evolution*, 9(8), 4392-4402. <https://doi.org/10.1002/ece3.4937>
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M. y 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>
- Estrada, G. y Soares, M. (2017). Global patterns of aboveground carbon stock and sequestration in mangroves. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 89(2), 973-989. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160357>
- Fisher, B., Nakicenovic, N., Alfsen, K., Corfee-Morlot, J., Chesnaye, F., Hourcade, J... y Matysek, A. (2007). Issues related to mitigation in the long-term context. Cambridge: University Press.



- Flores, C., Romero, A. y Córdova, M. (2011). *Evaluación de la población de "curil" (Anadara tuberculosa) en los canales principales de puerto Ramírez y El Jobal, Bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador*. (Tesis de licenciatura). Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Flores, L. y Lincadeo, R. (2010). Size composition and sex ratio of *Anadara tuberculosa* and *Anadara similis* in a mangrove reserve from the northwest of Ecuador. *Revista de Biología Tropical*, 45, 541-546. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572010000300021>
- Fournier, M. y Fonseca, A. (2007). *Programa Estado de la Nación. XIII Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Informe Final - La Zona Marino-Costera*. San José, Costa Rica: Gobierno de Costa Rica.
- Fromard, F., Puig, H., Mougín, E., Marty, G., Bétouille, J. L. y Cadamuro, L. (1998). Structure above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia*, 115, 39-53. <https://doi.org/10.1007/s004420050489>
- Garzón-Bautista, Y., Báez, M., Caetano, C. M., Toro-Perea, N., Guerra, M. y Castillo-Cárdenas, M. F. (2018). Karyotype of the Neotropical mangrove species *Pelliciera Rhizophorae Triana* and *Planchon* (Tetrameristaceae). *Caryologia*, 71(2), 182-189. <https://doi.org/10.1080/00087114.2018.1458528>
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhiu, Z. y Singh, A. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 20(1), 154-59. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- Godoy, M. y Lacerda, L. (2015). Mangroves Response to Climate Change: A Review of Recent Findings on Mangrove Extension and Distribution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87(2), 651-667. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520150055>
- Hernández-Blanco, M., Costanza, R. y Cifuentes-Jara, M. (2018). *Valoración económica de los servicios ecosistémicos provistos por los manglares del Golfo de Nicoya*. San José, Costa Rica: Conservación Internacional.
- Hernández-Blanco, M., Costanza, R. y Cifuentes-Jara, M. (2021). Economic valuation of the ecosystem services provided by the mangroves of the Gulf of Nicoya using a hybrid methodology. *Ecosystem Services*, 49, 101258. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101258>
- Hiebert, T. (2015). *Leukoma staminea*. In: T. Hiebert, B. Butler y A. Shanks (eds.), *Oregon Estuarine Invertebrates: Rudys Illustrated Guide to Common Species* (pp. 1-10). University of Oregon, Charleston.
- Imbert, D. y Rollet, B. (1989). Phytomassae aérienne et production primaire dans la mangrove du Grand Cul-desac Marine (Guadeloupe, Antilles Françaises). *Bull. Ecol*, 20, 27-39.
- Jiménez, J. (1999). El manejo de los manglares en el Pacífico de Centroamérica: Usos tradicionales y potenciales. In: A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara-Domínguez (eds.), *Ecosistemas de Manglar en América Tropical* (pp. 275-290). San José, Costa Rica: UICN/ORMA.
- Jiménez, J. A. (1994). Bosques de manglares en la costa Pacífica de América Central. *Revista Forestal Centroamericana*, 3, 13-17.
- Jordán, L. Y. y Gómez, J. A. (2006). Evaluación biológica de *Anadara tuberculosa*, Golfo de Montijo, República de Panamá. *Tecnociencia*, 8(2), 191-205.
- Kauffman, J., Donato, D. y Adame, M. (2011). *Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbón de los manglares*. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Krauss, K. W. y Osland, M. J. (2019). Tropical cyclones and the organization of mangrove forests: a review. *Annals of Botany*, 125(2), 213-234. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz161>
- Komiyama, A., Pongpan, S. y Kato, S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21, 471-477. <https://doi.org/10.1017/S0266467405002476>
- Ley No. 13371-A. *Establecimiento de talla mínima de captura y comercialización de la pian-gua*. Publicado en la Gaceta No. 47 del 16 de febrero de 1982. San José, Costa Rica: La Gaceta.
- López-Angarita, J., Roberts, C. M., Tilley, A., Hawkins, J. P. y Cooke, R. G. (2016). Mangroves and people: lessons from a history of use and abuse in four Latin American countries. *Forest Ecology and Management*, 368, 151-62. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.03.020>



- Lucero-Rincón, C., Cantera-Kintz, J. y Gil-Agudelo, D. (2021). Hermaphroditism of bivalves *Anadara tuberculosa* and *Anadara similis* Sowerby 1883 (Arcidae) in Colombian Pacific mangroves. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 50(1), 163-170. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.1.1019>
- Lucero-Rincón, C., Cantera-Kintz, J. y Neira, R. (2011). Pesquería y crecimiento de la pian-gua (Arcoidea: Arcidae) *Anadara Tuberculosa* en la Bahía de Málaga del Pacífico colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 60(1), 2013-2017. <https://doi.org/10.15517/rbt.v60i1.2754>
- Mainardi, V. (1995). *Estructura y composición florística de rodales con Pelliciera rhizophorae del manglar del estero Guarumal, Sierpe, Costa Rica*. (Tesis de maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Manjarrés-Villamil, A., Lucero-Rincón, C., Gualteros, O., Cantera-Kintz, R. y Gil-Agudelo, L. (2013). Abundancia y madurez sexual de *Anadara similis* en el manglar de Luisico, Bahía Málaga, Pacífico Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 42(2), 215-231. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2013.42.2.47>
- Marshall, N. (1960). Studies on the Niantic River, Connecticut, with special reference to the Bay scallop *Aequipecten irradians*. *Limnol. Oceanogr*, 5, 85-105. <https://doi.org/10.4319/lo.1960.5.1.0086>
- Menéndez, P., Losada, I. J., Beck, M. W., Torres-Ortega, S., Espejo, A., Narayan, S.... y Lange, G.-M. (2018). *Valuing the protection services of mangroves at national scale: The Philippines*. *Ecosystem Services*, 34, 24-36. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.09.005>
- Menéndez, P., Losada, I. J., Torres-Ortega, S., Narayan, S. y Beck, M. (2020). The Global Flood Protection Benefits of Mangroves. *Scientific Reports*, 10(1), 4404. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61136-6>
- Moschetto, F. A., Ribeiro, R. B. y De Freitas, D. M. (2021). Urban expansion, regeneration and socioenvironmental vulnerability in a mangrove ecosystem at the southeast coastal of São Paulo, Brazil. *Ocean & Coastal Management*, 105418. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105418>
- Ordinola E., Montero, P., Alemán, S. y Llanos, J. (2020). Concha Negra *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) y concha huequera *Anadara similis* (C.B. Adams, 1852) en los mangles de Tumbes. *Informativo del Instituto del Mar de Perú*, 47(1), 127-137.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2007). *Mangroves of North and Central America 1980-2005 (Informes Nacionales)*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Ortíz, E. y Soto, C. (2014). *Atlas de Costa Rica*. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Panta-Vélez, R., Bermúdez-Medrandá, A., Mero, P., Arrieche, D. y Acosta-Balbás, V. (2020). Reproductive Cycle of *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) (Bivalvia: Arcidae) in a Mangrove System of the Chone River Estuary, Ecuador. *Advances in Environmental Biology*, 4(2), 1-11. <https://doi.org/10.22587/aeb.2020.14.2.1>
- Parray, S., Bhupendra, K. y Shah, M. (2021). Comparative assessment of dominant macrophytes and limnological parameters of Dal Lake and Chatlam wetlands in the Union territory of Jammu & Kashmir, India. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101978. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101978>
- Pineda, J. (2021). *Potencial de almacenamiento de carbono en manglares en diferentes estadios de restauración en el Golfo de Nicoya, Costa Rica*. (Tesis de maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Pizarro, F., Piedra, L., Bravo, J., Asch, J. y Asch, C. (2004). *Manual de Procedimientos para el Manejo de los Manglares de Costa Rica*. Heredia, Costa Rica: FEUNA.
- Polidoro, B. A., Carpenter, K. E., Collins, L., Duke, N. C., Ellison, A. M., Ellison, J. C.... y Yong, J. (2010). The loss of species: Mangrove extinction risk and geographic areas of global concern. *PLoS ONE*, 5(4), e10095. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010095>
- Printrakoon, C. y Tëmkin, I. (2008). Comparative ecology of two parapatric populations of *Isognomon* (Bivalvia: Isognomonidae) of Kungkrabaen Bay. *Thailand. Raff. Bull. Zool*, 18, 75-94.



- Proyecto Golfos (2015). *Plan de Aprovechamiento de las pianguas (Anadara tuberculosa y Anadara similis) en la zona de Manzanillo-Puntarenas*. San José, Costa Rica: SINAC.
- Queiroz, L. de S., Rossi, S., Calvet-Mir, L., Ruiz-Mallén, I., García-Betoriz, S., Salvà-Prat, J. y Meireles, A. (2017). Neglected ecosystem services: Highlighting the socio-cultural perception of mangroves in decision-making processes. *Ecosystem Services*, 26, 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.06.013>
- RCoreTeam. (2020). *R: A language and environment for statistical computing* (R version 3.6.1). <https://www.r-project.org/>
- Rincón, M. P., Infante, D. M., Moreno, P. C., Hernández, M. E., Barba, E. M. & García, J. A. (2020). Distribution patterns and vegetation structure in the coastal wetland gradient in the Castaño, Chiapas, Mexico. *Revista Biología Tropical*, 68(1), 242-259. <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i1.37616>
- Rojas-Jiménez, K., Villalobos-Rojas, F., Gategens-García, J., Rodríguez-Arias, M., Hernández-Montero, N. y Wehrtmann, I. (2022). Presence of microplastics in six bivalve species (Mollusca, Bivalvia) commercially exploited at the Pacific coast of Costa Rica, Central America. *Marine Pollution Bulletin*, 183. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114040>
- Romañach, S., De Angelis, D., Koh, H., Li, Y., Teh, S., Raja Barizan, R. y Zhai, L. (2018). *Conservation and restoration of mangroves: Global status, perspectives, and prognosis*. *Ocean & Coastal Management*, 154, 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.01.009>
- Samper, J. V. y Silva, A. B. (2014). Structural complexity of mangroves in Playa Blanca, Escondido and Rincón de Osa, Golfo Dulce, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 63(1), 199-208. <https://doi.org/10.15517/RBT.V63I1.23103>
- Sánchez, R., Reyes, V., Mora, R., Castro, R., Madrigal, P., Ovarés, C. y Cascante, S. (2013). *Informe final: Valoración económica de usos alternativos de la tierra del área de amortiguamiento y del Humeda Terraba-Sierpe*. San José, Costa Rica: Ministerio de Ambiente y Energía.
- Silva-Benavides, A. y Bonilla, R. (2001). Abundancia y morfometría de *Anadara Tuberculosa* y *A. similis* (Mollusca: Bivalvia) en el manglar de Purruja, Golfo Dulce, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 49(2), 315-320.
- Silva-Benavides, A. y Bonilla, R. (2015). Estructura de la población y distribución de *Anadara tuberculosa* Sowerby (1833) (Mollusca: Bivalvia) en los manglares de Golfito y Playa Blanca de Puerto Jiménez, Golfo Dulce, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 63(1), 287-298. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v63i1.23108>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2019). *Estrategia Regional para el Manejo y Conservación de los Manglares en el Golfo de Nicoya-Costa Rica 2019-2030*. San José-Costa Rica: SINAC. <https://labmeh.catie.ac.cr/2019/02/14/estrategia-regional-para-el-manejo-y-conservacion-de-los-manglares-en-el-golfo-de-nicoya-costa-rica-2019-2030/>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2018a). *Plan General de Manejo del Humedal Estero Puntarenas y Manglares Asociados*. San José, Costa Rica: SINAC. [https://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/Plan%20Manejo%20ACOPAC/Humedal%20Estero%20Puntarenas%20y%20Manglares%20Asociados%20\(2018\).pdf](https://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/Plan%20Manejo%20ACOPAC/Humedal%20Estero%20Puntarenas%20y%20Manglares%20Asociados%20(2018).pdf)
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2018b). *Plan de aprovechamiento de la piangua, Anadara tuberculosa y Anadara similis en el sector manglares de Bahía Golfito, 2018-2023*. San José, Costa Rica: SINAC. [parma_de_los_manglares_de_bahia_golfito-remarcado.pdf](https://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/Plan%20Manejo%20ACOPAC/Humedal%20Estero%20Puntarenas%20y%20Manglares%20Asociados%20(2018).pdf) (enbcr.go.cr)
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2016). *Guía para la evaluación rápida de las poblaciones de piangua*. San José, Costa Rica: Ministerio de Ambiente y Energía.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación - Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. (2019). *Evaluación de poblaciones de piangua en los manglares del cantón de Puntarenas*. San José, Costa Rica: SINAC-INCOPECA.
- Skilleter, G. A. y Warren, S. (2000). Effects of habitat modification in mangroves on the structure of mollusc and crab assemblages. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 244, 107-129. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-0981\(99\)00133-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-0981(99)00133-1)
- Smith, J. y Whelan, K. (2006). Development of allometric relations for three mangrove species in South Florida for use in the Greater Everglades Ecosystem restoration. *Wetlands Ecology and Management*, 14, 409-419. <https://doi.org/10.1007/s11273-005-6243-z>



- Southwell, C. R. y Bultman, J. D. (1971). Marine borer resistance of untreated woods over long periods of immersion in tropical waters. *Biotropica*, 3, 81-107. <https://doi.org/10.2307/2989709>
- Sundaramanickam, A., Nithin, A. y Balasubramanian, T. (2021). Role of Mangroves in Pollution Abatement. In: R. Rastogi, M. Phulwaria, D. Gupta (eds.), *Mangroves: Ecology, Biodiversity and Management* (pp. 257-278). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2494-0_11
- Thomas, N., Lucas, R., Bunting, P., Hardy, A., Rosenqvist, A. y Simard, M. (2017). Distribution 900 and drivers of global mangrove forest change, 1996-2010. *PLoS ONE*, 12, e0179302. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179302>
- Tuñón, A. (2013). *Morfometría, desarrollo reproductivo y metales trazas (cobre y cadmio) en gonadas de Anadara Tuberculosa y sedimento, en el estero de Caté, Golfo de Montijo*. (Tesis de maestría). Universidad de Panamá, Panamá.
- Uddin, M. S., de Ruyter van Steveninck, E., Stuij, M. y Shah, M. A. (2013). Economic valuation of provisioning and cultural services of a protected mangrove ecosystem: A case study on Sundarbans Reserve Forest, Bangladesh. *Ecosystem Services*, 5, 88-93. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.07.002>
- Vega, A., Robles, Y., Alvarado, O. y Cedeño-Mitre, C. (2021). Size structure, distribution, and abundance of *Anadara tuberculosa* (Bivalvia: Arcidae) in two mangrove systems from the Pacific Coast of Panama. *Revista de Biología Tropical*, 69(2), 422-433. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i2.43934>
- Wehrtmann, I. (2017). *Estimación de la talla de primera madurez sexual de especies de interés comercial en el Golfo de Nicoya*. Unidad de Investigación Pesquera y Acuicultura (UNIP). Costa Rica, San José: Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones de Ciencia del Mar.
- Woodroffe, C. D., Rogers, K., McKee, K. L., Lovelock, C. E., Mendelssohn, I. A. y Saintilan, N. (2016). Mangrove Sedimentation and Response to Relative Sea-Level Rise. *Annual Review of Marine Science*, 8(1), 243-266. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-122414-034025>
- Yahya, N., Idris, I., Rosli, N. S. y Bachok, Z. (2020). Mangrove-associated bivalves in Southeast Asia: A review. *Regional Studies in Marine Science*, 101382. doi:10.1016/j.rsma.2020.101382. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101382>
- Zanne, A. E., López-González, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., Miller, R. B.... y Chave, J. (2009). *Data from: towards a worldwide wood economics spectrum*. Estados Unidos: Dryad Digital Repository. <https://doi.org/10.5061/dryad.234>



Estructura y composición en un manglar del Pacífico Central de Costa Rica: población de moluscos de interés comercial (Milagro Carvajal-Oses • Junior Pastor Pérez-Molina • Ángel Herrera-Ulloa • Christian Moreira-Segura) Uniciencia is protected by Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported (CC BY-NC-ND 3.0)