

Contenido nutrimental en hojas de *Laguncularia racemosa* (Combretaceae), relacionado con su fenología en una laguna tropical del Golfo de California, México

Phenology related nutrient content in leaves of *Laguncularia racemosa* (Combretaceae) in a tropical lagoon of the Gulf of California, Mexico

Daniel Benítez-Pardo^{1,4} <http://orcid.org/0000-0002-4737-3168>

Asahel Benítez-Hernández² <https://orcid.org/0000-0001-6015-2274>

Francisco Flores-de-Santiago³ <https://orcid.org/0000-0001-8813-0093>

Francisco Amador-Cruz¹ <http://orcid.org/0000-0001-6295-9856>

¹Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar, Laboratorio de Botánica Acuática, Paseo Claussen s.n., Col. Los Pinos, Apdo. postal 610, 82000 Mazatlán, Sinaloa, México.

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, Baja California Sur, México.

³Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, 04360 Coyoacán, Cd. Mx., México.

⁴Autor para la correspondencia: dbpardo6@hotmail.com

Resumen:

Antecedentes y Objetivos: Los eventos fenológicos en manglares suelen estar influidos por factores como la salinidad del agua, fotoperíodo y/o temperatura ambiental. Esto se ha documentado principalmente para especies de la familia Rhizophoraceae y Acanthaceae; sin embargo, son limitados los estudios accesibles para la familia Combretaceae, p. ej. *Laguncularia racemosa*.

Métodos: Se colectaron durante un año, mensualmente, de tres a cuatro hojas del antepenúltimo y penúltimo entrenudo de las ramas de 10 árboles de *Laguncularia racemosa*. La colecta de hojas se realizó teniendo en cuenta ocho etapas fenológicas. Los nutrientes analizados en las hojas fueron: N total, PO_4^{3-} , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Na^+ , Fe^{2+} , Cu^{2+} , B (H_3BO_3), Mn^{2+} y Zn^{2+} . Adicionalmente, 10 muestras de agua intersticial (para medir iones mayores) y sedimento (para medir el pH y cuantificar el contenido de materia orgánica) se tomaron a una profundidad de entre 0.3 a 0.6 m.

Resultados clave: Los nutrientes K^+ , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , y N total presentaron valores máximos a lo largo del desarrollo de la brotación vegetativa hasta el desarrollo de “frutos”, lo cual significa que la mayor importancia de estos nutrientes es en la producción de “frutos”. El Na^+ mostró su mayor concentración (22.8 g kg^{-1}) en la fase de inicio de floración y la mínima durante la quiescencia (8.7 g kg^{-1}). En contraste, el SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Cu^{2+} , B (H_3BO_3), Zn^{2+} no presentaron diferencias. Finalmente, el Mn^{2+} presentó 109 mg kg^{-1} al final de la brotación vegetativa y 34 mg kg^{-1} en la madurez y caída de “frutos”.

Conclusiones: En la absorción de nutrientes son importantes las etapas fenológicas y las condiciones climáticas locales.

Palabras clave: contenido de nutrientes, fenología, *Laguncularia racemosa*, mangle blanco.

Abstract:

Background and Aims: The phenological events in mangroves are usually influenced by factors such as water salinity, photoperiod and/or environmental temperature. This has been documented mainly for species of the family Rhizophoraceae and Acanthaceae; however, accessible studies for the family Combretaceae, e.g., *Laguncularia racemosa*, are limited.

Methods: We collected during one year, monthly, three to four leaves of the penultimate and antepenultimate internode of the branches of 10 trees of *Laguncularia racemosa*. The collection of leaves was made considering eight phenological stages. The nutrients analyzed in the leaves were: total N, PO_4^{3-} , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Na^+ , Fe^{2+} , Cu^{2+} , B (H_3BO_3), Mn^{2+} and Zn^{2+} . Additionally, 10 samples of interstitial water (to measure major elements) and sediment (to measure pH and quantify the organic matter content) were taken at a depth between 0.3 to 0.6 m.

Key results: The nutrients K^+ , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} and total N presented maximum values throughout the development of vegetative sprouting until the development of “fruits”, which means that the greatest importance of these nutrients is in the production of “fruits”. The Na^+ showed its highest concentration (22.8 g kg^{-1}) in the beginning phase of flowering and the minimum during the quiescence (8.7 g kg^{-1}). In contrast, SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Cu^{2+} , B (H_3BO_3), Zn^{2+} did not present differences. Finally, Mn^{2+} presented 109 mg kg^{-1} at the end of vegetative sprouting and 34 mg kg^{-1} at maturity and falling of “fruits”.

Conclusions: In the absorption of nutrients, phenological stages and local climatic conditions are important.

Key words: *Laguncularia racemosa*, nutrient content, phenology, white mangrove.

Recibido: 5 de diciembre de 2017.

Revisado: 15 de enero de 2018.

Aceptado: 7 de febrero de 2018.

Primero en línea: 29 de mayo de 2018.

Publicado: 1 de julio de 2018.

Citar como:

Benítez-Pardo, D., A. Benítez-Hernández, F. Flores-de-Santiago y F. Amador-Cruz. 2018. Contenido nutrimental en hojas de *Laguncularia racemosa* (Combretaceae), relacionado con su fenología en una laguna tropical del Golfo de California, México. Acta Botanica Mexicana 124. DOI: 10.21829/abm124.2018.1326

Introducción

Los datos fenológicos son esenciales para la interpretación de las adaptaciones en crecimiento y estrategias de propagación de plantas acuáticas, de acuerdo con las condiciones ambientales (Mehlig, 2006). Específicamente, esta información es de gran valor si se encuentra disponible a lo largo de escalas geográficas amplias. Sin embargo, hay muy pocos estudios sobre la fenología de manglar en áreas de la costa del Pacífico de América y el Golfo de California.

Los bosques de manglar están distribuidos en la zona intermareal de la línea de costa en los trópicos y subtrópicos (Blasco et al., 1996). La importancia de los manglares puede estar relacionada con una amplia variedad de factores, los cuales incluyen una alta tasa de descomposición por caída de hoja (Flores-Verdugo et al., 1987; Wafar et al., 1997; Kristensen et al., 2008), ciclo de nutrientes (Feller et al., 1999; Bashan y Holguin, 2002), interacciones de fauna relacionadas con funciones del ecosistema (Cannicci et al., 2008; Nagelkerken et al., 2008), almacenamiento de carbono (Donato et al., 2011), cambio climático (Gilman et al., 2008), producción primaria (Komiyama et al., 2008; Raven et al., 2012), zona de protección de tormentas tropicales y huracanes (Kovacs et al., 2004), y proveen una fuente renovable importante para pesquerías locales (Walters et al., 2008). A pesar de su importancia ecológica, los bosques de manglar han presentado una perdida global de 30-50% durante la última mitad del siglo pasado (Donato et al., 2011), principalmente

debido al desarrollo de la costa y a la acuicultura (Valiela et al., 2001; Duke et al., 2007; Polidoro et al., 2010).

Los eventos fenológicos en manglares y otros árboles tropicales pueden estar influidos por factores ambientales como salinidad del agua (Medina et al., 1995), fotoperíodo (Borchert y Rivera, 2001) y temperatura ambiental (Duke, 1990). En latitudes cercanas a los subtrópicos, donde el aporte de agua de lluvia es temporal, la consecuente variabilidad en salinidad, iluminación y humedad del aire puede tener una influencia mayor en la fenología del manglar, afectando su crecimiento y producción (McKee, 1995). Varios autores han discutido aspectos de crecimiento y productividad temporal en manglares y los relacionan a algunos componentes climáticos tales como lluvia, temperatura y velocidad del viento, o bien a la disponibilidad de nutrientes (Gill y Tomlinson, 1971; Wium-Andersen, 1981; Saenger y Moverley, 1985; Duke, 1990; McKee, 1995; Analuddin et al., 2009). Algunos estudios fenológicos específicos han sido documentados para especies de la familia Rhizophoraceae (Clough et al., 2000; Mehlig, 2006; Asaeda y Kalibbala, 2009; Kamruzzaman et al., 2013) y la familia Acanthaceae (Wium-Andersen y Christensen, 1978; Hegazy, 1998; Nadia et al., 2012). Sin embargo, los estudios accesibles para la familia Combretaceae, p. ej. *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn. (Flores-Verdugo et al., 1987), son escasos. La especie de mangle blanco *L. racemosa* no ha recibido suficiente atención con respecto a estos temas, especialmente en los subtrópicos. Esto puede ser debido a la restricción geográfica en zonas áridas donde las concentraciones de salinidad son la principal limitante en la distribución de esta especie. Consecuentemente, el presente estudio describe las variaciones en el contenido de nutrientes en hojas de *L. racemosa* relacionadas con las etapas fenológica de los árboles en una laguna del Golfo de California.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estero de Urias es una pequeña laguna costera de 18 km² localizada en una llanura aluvial al sur del Golfo de California, específicamente en el sur del estado de Sinaloa, México (23°9'00"N y 106°18'10"E). La temperatura media anual del aire varía de 24 a 26 °C y la precipitación total ocurre principalmente entre los meses de junio y septiembre con 800 a 1000 mm (INEGI, 2013). Localizado en los subtrópicos, este sistema contiene canales de inundación y una comunidad considerable de manglar de 8.7 km² (Flores-Verdugo et al., 1987; Flores-de-Santiago et al., 2013a, b). Dentro del sistema se encuentran tres especies dominantes de bosque de manglar, las cuales incluyen el mangle rojo *Rhizophora mangle* L., mangle negro *Avicennia germinans* (L.) L. y mangle blanco *L. racemosa* (Flores-de-Santiago et al., 2012). Los manglares tipo franja reciben una cantidad considerable de agua del canal de mareas, mientras que los manglares tipo cuenca, los cuales consisten en bosques enanos, únicamente reciben agua en la temporada de lluvias (Flores-de-Santiago et al., 2013a, b).

Colecta de hojas de manglar, estados fenológicos y análisis químico

De enero a diciembre del 2015 se colectaron, mensualmente, de tres a cuatro hojas del penúltimo y antepenúltimo entrenudo de las ramas de 10 árboles adultos de mangle blanco tipo franja, aleatoriamente distribuidos a lo largo del canal de mareas. La colecta de hojas se realizó de acuerdo con las siguientes etapas fenológicas: quiescencia (Q), brotación vegetativa (B), inicio de floración (IF), amarre de "frutos" (FAFr), desarrollo de "frutos" (DAFr), madurez y caída de "frutos" (MCFr), caída de "frutos" (CFr) y final de caída de "frutos" (FCFr). El método químico de análisis se realizó de acuerdo con lo especificado por Benítez-Pardo et al. (2003) para hojas de árboles tropicales. Los nutrientes analizados en las hojas fueron: N total, PO₄³⁻, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Na⁺, Fe²⁺, Cu²⁺, B (H₃BO₃), Mn²⁺ y Zn²⁺, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin-Elmer, modelo AAnalyst 100, Wellesley, EUA). Adicionalmente, se tomaron 10 muestras de agua intersticial y sedimento a una profundidad de entre 0.3 a 0.6 m, en la zona aledaña a los árboles seleccionados durante el muestreo. El análisis químico del agua intersticial consistió en medir los

iones mayores (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}), utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin-Elmer, modelo AAnalyst 100, Wellesley, EUA), para los sedimentos fueron cuantificados el contenido de materia orgánica y el pH (utilizando un potenciómetro HANNA Instruments, modelo HI2550 pH/ORP y EC/TDS, Rhode Island, EUA).

Resultados

El nitrógeno total presentó valores máximos al inicio de la brotación vegetativa (16.1 g kg^{-1}) y durante la caída de “frutos” (18.2 g kg^{-1}). Al igual que el N total, el K^+ presentó valores máximos durante la brotación vegetativa y al final de la caída de “frutos” (27.6 g kg^{-1}) (Fig. 1A). El Na^+ mostró su mayor concentración (22.8 g kg^{-1}) en la fase de inicio de floración y la mínima durante la quiescencia (8.7 g kg^{-1}). El Ca^{2+} presentó la mayor concentración durante la brotación vegetativa (33.0 g kg^{-1}) y caída de “frutos” (29.4 g kg^{-1}). En contraste, el Mg^{2+} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Cu^{2+} , B (H_3BO_3), Zn^{2+} no presentaron diferencias durante las distintas etapas fenológicas (Fig. 1). El Fe^{2+} y Mn^{2+} presentaron una variabilidad considerable durante las etapas fenológicas. Específicamente, el Fe^{2+} presentó valores máximos durante el inicio de la brotación y amarre de “frutos” (129 mg kg^{-1}), inicio de floración (100 mg kg^{-1}), y caída de “frutos” (93 mg kg^{-1}) (Fig. 1B). El Mn^{2+} presentó máximas concentraciones al final de la brotación vegetativa (109 mg kg^{-1}) y mínimas durante la madurez y caída de “frutos” (34 mg kg^{-1}) (Fig. 1B).

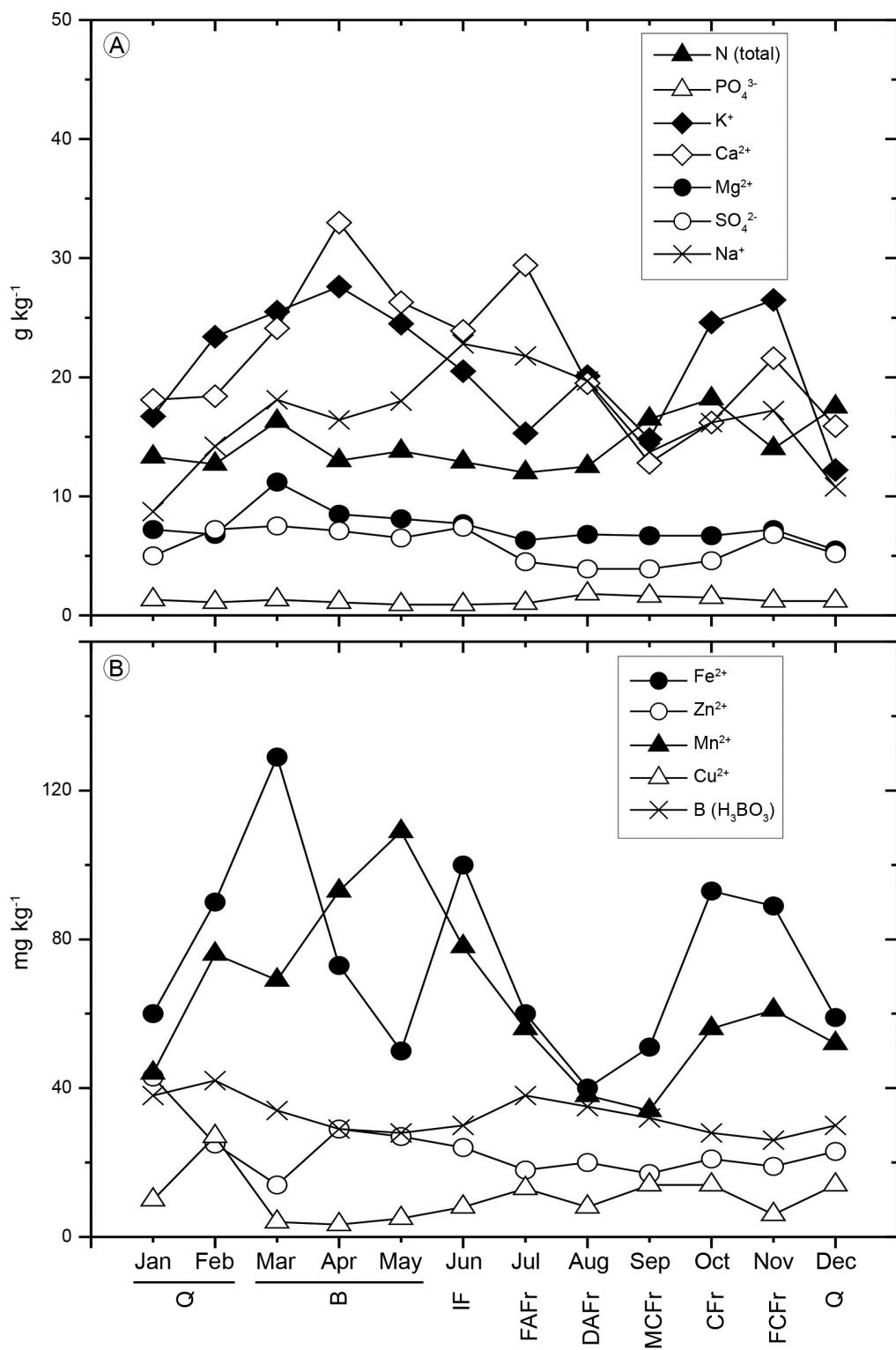


Figura 1: Contenido de nutrientes de *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn., a lo largo de las diferentes etapas fenológicas: quiescencia (Q), brotación vegetativa (B), inicio de floración (IF), amarre de “frutos” (FAFr), desarrollo de “frutos” (DAFr), madurez y caída de “frutos” (MCFr), caída de “frutos” (CFr) y final de caída de “frutos” (FCFr). A. Iones mayores: Nitrógeno total, PO_4^{3-} , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Na^+ ; B. Iones menores: Fe^{2+} , Cu^{2+} , B (H_3BO_3), Mn^{2+} y Zn^{2+} .

Durante el estudio las muestras de agua intersticial a lo largo del canal de mareas no presentaron diferencias en el contenido de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . De igual forma, las muestras de los sedimentos a lo largo del bosque de manglar blanco no presentaron diferencias en el contenido de materia orgánica y pH durante los meses muestreados.

Discusión

En los trópicos, donde los componentes climáticos como temperatura, iluminación y precipitación son favorables para el crecimiento de las especies de manglares, no se presentan factores temporales que limiten o perjudiquen el desarrollo de estas especies de árboles (Kamruzzaman et al., 2013). Sin embargo, en algunas especies de manglar la disponibilidad de agua fresca es crucial para las etapas de florecimiento (Nadia et al., 2012). En el caso del mangle blanco, *Laguncularia racemosa*, distribuido en latitudes áridas subtropicales, las variabilidades ambientales son amplias dependiendo de la temporada del año; como consecuencia, el florecimiento y la producción de “frutos” aparentemente pueden ser favorecidos por una disminución en la concentración de sales en el suelo debido a la temporada de lluvia (Mehlig, 2006). Estudios temporales de *L. racemosa* en los subtrópicos demuestran que esta especie de mangle, en condición de franja, presenta una disminución del contenido de pigmentos fotosintéticos (p. ej. clorofila-a) durante la temporada de lluvias debido a un incremento en la cobertura vegetal (Flores-de-Santiago et al., 2012), y caso contrario en situaciones de alta salinidad (Sobrado, 2005). Asimismo, se sabe que el contenido nutrimental en hojas de *L. racemosa* varía temporalmente dependiendo de factores ambientales locales, al menos con relación al Na^+ y N (Sobrado, 2005). El presente estudio demuestra que en climas áridos sub-tropicales con temporadas muy marcadas, los cambios fenológicos a través de un año ocurren bien delimitados en mangle blanco (*L. racemosa*).

El N total presentó su concentración más alta durante la brotación vegetativa y la caída de “frutos”, lo cual indica un mayor contenido en hojas jóvenes (Medina et al., 1995), al igual que una translocación de N a las hojas antes de la liberación de “frutos” (Soto, 1992). El comportamiento de este elemento, así como el del Na^+ , concuerda con lo reportado por Sobrado (2005), quién encontró que el incremento en la concentración de estos elementos se asocia a altas salinidades, característico de la época seca, y consecuentemente, con la brotación vegetativa del manglar.

Nuestros resultados son similares a los de Soto (1992) con mangle blanco en Costa Rica, lo que demuestra que la absorción y asimilación de N depende, en gran medida, de las condiciones ambientales locales. Similarmente, propágulos en crecimiento y hojas en senescencia también pueden afectar el vigor apical, sirviendo como pérdida de nutrientes o fuente de nutrientes por medio de propágulos o caída de hojas, respectivamente. La tasa de senescencia y caída de hojas puede ser aumentada por enfriamiento, sequía y vientos fuertes, pero ninguno de los presentes eventos complicó nuestro estudio.

Las estrategias de florecimiento están influidas por el clima, debido a que el tiempo de crecimiento y liberación de los propágulos puede ser un factor crucial para la dispersión y supervivencia de los manglares (Nadia et al., 2012). Se ha estudiado que los gradientes en el nivel del agua, evaporación, insolación y temperatura tienen una correlación alta con la fenología de otras especies de manglar en México (p. ej. *Avicennia germinans*) (Gwada et al., 2000). Sin embargo, la liberación de propágulos generalmente depende del incremento en la precipitación (Nadia et al., 2012). Además, la máxima producción de hojas de mangle corresponde al verano cuando la temperatura, radiación solar y humedad están en sus máximos niveles, mientras que la caída de hojas corresponde a la temporada de invierno, la cual coincide con temperaturas bajas, días cortos y radiación solar débil (Gwada et al., 2000). Aparte, la longevidad de hojas de manglar está probablemente relacionada con factores ambientales locales como temperatura, cantidad de agua dulce, luminiscencia, nutrientes minerales y concentraciones de CO_2 (Analuddin et al., 2009), siendo la temperatura el factor clave en el proceso de producción en manglares (Gwada et al., 2000).

A pesar de que el patrón de crecimiento de hojas de manglar varía entre las estaciones del año (Analuddin et al., 2009), la baja asimilación de Mg^{2+} , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Zn^{2+} y B (H_3BO_3) durante las etapas fenológicas en *L. racemosa* se puede deber a la poca disponibilidad de dichos nutrientes en los sustratos de los bosques de manglar (Alongi, 1996). La disponibilidad de nutrientes en los sustratos de manglar se relaciona estrechamente con factores ambientales propios de este ecosistema (Medina et al., 1995) y, además, con las condiciones de las áreas adyacentes. La disminución de la tasa de caída de hojas o el surgimiento de hojas no son únicamente causadas por factores ambientales; también se puede deber a la desviación de recursos para la producción de flores y el crecimiento de propágulos (Analuddin et al., 2009). Por tal motivo, los resultados presentes sugieren la existencia de mecanismos integrales entre los factores internos y externos, los cuales mantienen muy marcadas las etapas fenológicas de *L. racemosa*.

Los nutrientes K^+ , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} y N total presentaron valores máximos a lo largo del desarrollo de la brotación vegetativa hasta el desarrollo de “frutos”, lo cual significa que la mayor importancia de estos nutrientes es en la producción de “frutos” (Salisbury y Ross, 1992). Específicamente el Ca^{2+} presentó la mayor absorción antes de la floración, al inicio de la temporada de lluvias, debido a que es un elemento muy importante en la producción de “frutos” (Marschner, 1995). A pesar de que nuestra investigación se realizó únicamente en hojas de plantas adultas, los resultados demuestran que la absorción de ciertos nutrientes por *L. racemosa* depende en gran medida de sus etapas fenológicas. Esta absorción depende también de las condiciones ambientales particulares de cada región, principalmente del aumento de agua dulce por efecto de las lluvias y afluentes locales, que permite una mayor disponibilidad de nutrientes para *L. racemosa*, al igual que para las plantas terrestres.

Los manglares del sur del Golfo de California tienen bien definidos los patrones de florecimiento a pesar del bajo número de especies (Nadia et al., 2012). Las presentes observaciones en *L. racemosa* y la falta de estudios de fenología en manglar blanco pueden ser aceptados como contribuciones preliminares para estudios en manglares tropicales y sub-tropicales, los cuales son prerequisitos para un entendimiento del crecimiento de los árboles a escala global.

Contribución de autores

DBP concibió la investigación, recolectó y analizó los datos. ABH recolectó los datos. DBP, ABH, FFS y FAC contribuyeron a la discusión, revisión y aprobación del manuscrito final. FAC editó el manuscrito.

Financiamiento

Este estudio fue apoyado por el Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAPI) y la Dirección General de Investigación y Posgrado (DGIP)-Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS).

Agradecimientos

A Marino Valenzuela López por su apoyo en la interpretación de los análisis foliares y de los de suelo.

Literatura citada

- Alongi, M. D. 1996. The dynamics of benthic nutrient pools and fluxes in tropical mangrove forests. *Journal of Marine Research* 54(1): 123-148. DOI: <https://doi.org/10.1357/0022240963213475>
- Analuddin, K., S. Sharma, R. Suwa y A. Hagihara. 2009. Crown foliage dynamics of mangrove *Kandelia obovata* in Manko wetland, Okinawa Island, Japan. *Journal of Oceanography* 65(1): 121-127. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10872-009-0012-1>

- Asaeda, T. y M. Kalibbala. 2009. Modelling growth and primary production of the marine mangrove (*Rhizophora apiculata* BL): A dynamic approach. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 371(2): 103-111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2009.01.009>
- Bashan, Y. y G. Holguin. 2002. Plant growth-promoting bacteria: a potential tool for arid mangrove reforestation. *Trees* 16(2-3): 159-166. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00468-001-0152-4>
- Benítez-Pardo, D., M. Hernández-Montoya, T. Osuna-Enciso, M. Valenzuela-López y B. Galván-Piña. 2003. Muestreo y análisis foliar relacionado con fenología en mango en el sur de Sinaloa, México. *Terra* 21(2): 273-283.
- Blasco, F., P. Saenger y E. Janodet. 1996. Mangroves as indicators of coastal change. *Catena* 27(3-4): 167-178. DOI: [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(96\)00013-6](https://doi.org/10.1016/0341-8162(96)00013-6)
- Borchert, R. y G. Rivera. 2001. Photoperiodic control of seasonal development and dormancy in tropical stem-succulent trees. *Tree Physiology* 21(4): 213-221. DOI: <https://dx.doi.org/10.1093/treephys/21.4.213>
- Cannicci, S., D. Burrows, S. Fratini, T. J. Smith III, J. Offenberg y F. Dahdouh-Guebas. 2008. Faunal impact on vegetation structure and ecosystem function in mangrove forests: A review. *Aquatic Botany* 89(2): 186-220. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.01.009>
- Clough, B., D. T. Tan, D. X. Phuong y D. C. Buu. 2000. Canopy leaf area index and litter fall in stands of the mangrove *Rhizophora apiculata* of different age in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquatic Botany* 66(4): 311-320. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/S0304-3770\(99\)00081-9](https://dx.doi.org/10.1016/S0304-3770(99)00081-9)
- Donato, D. C., J. B. Kauffman, D. Murdiyarso, S. Kurnianto, M. Stidham y M. Kanninen. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience* 4(5): 293-297. DOI: <https://dx.doi.org/10.1038/NGEO1123>
- Duke, N. C. 1990. Phenological trends with latitude in the mangrove tree *Avicennia marina*. *Journal of Ecology* 78(1): 113-133. DOI: <https://dx.doi.org/10.2307/2261040>
- Duke, N. C., J. O. Meynecke, S. Dittman, A. M. Ellison, K. Anger, U. Berger, S. Cannicci, K. Diele, K. C. Ewel, C. D. Field, N. Koedam, S. Y. Lee, C. Marchand, I. Nordhaus y F. Dahdouh-Guebas. 2007. A world without mangroves? *Science* 317(5834): 41b-42b. DOI: <https://dx.doi.org/10.1126/science.317.5834.41b>
- Feller, I. C., D. F. Whigham, J. P. O'Neill y K. L. McKee. 1999. Effects of nutrient enrichment on within-stand cycling in a mangrove forest. *Ecology* 80(7): 2193-2205. DOI: [https://dx.doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080%5B2193:EONEOW%5D2.0.CO;2](https://dx.doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080%5B2193:EONEOW%5D2.0.CO;2)
- Flores-de-Santiago, F., J. M. Kovacs y F. Flores-Verdugo. 2012. Seasonal changes in leaf chlorophyll a content and morphology in a sub-tropical mangrove forest of the Mexican Pacific. *Marine Ecology Progress Series* 444: 57-68. DOI: <https://dx.doi.org/10.3354/meps09474>
- Flores-de-Santiago, F., J. M. Kovacs y F. Flores-Verdugo. 2013a. The influence of seasonality in estimating mangrove leaf chlorophyll-a content from hyperspectral data. *Wetlands Ecology and Management* 21(3): 193-207. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11273-013-9290-x>
- Flores-de-Santiago, F., J. M. Kovacs y F. Flores-Verdugo. 2013b. Assessing the utility of a portable pocket instrument for estimating seasonal mangrove leaf chlorophyll contents. *Bulletin of Marine Science* 89(2): 621-633. DOI: <https://dx.doi.org/10.5343/bms.2012.1032>
- Flores-Verdugo, F. J., J. W. Day y R. Briseño-Dueñas. 1987. Structure, litter fall, decomposition, and detritus dynamics of mangroves in a Mexican coastal lagoon with an ephemeral inlet. *Marine Ecology Progress Series* 35: 83-90. DOI: <https://dx.doi.org/10.3354/meps035083>
- Gill, A. M. y P. B. Tomlinson. 1971. Studies of the growth of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.) 3. Phenology of the shoot. *Biotropica* 3(2): 109-124. DOI: <https://doi.org/10.2307/2989815>
- Gilman, E. L., J. Ellison, N. C. Duke y C. Field. 2008. Threats to mangrove from climate change and adaptation options: A review. *Aquatic Botany* 89(2): 237-250. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.009>

- Gwada, P., T. Makoto y Y. Uezu. 2000. Leaf phenological traits in the mangrove *Kandelia candel* (L.) Druce. *Aquatic Botany* 68(1): 1-14. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/S0304-3770\(00\)00109-1](https://dx.doi.org/10.1016/S0304-3770(00)00109-1)
- Hegazy, A. K. 1998. Perspective on survival, phenology, litter fall and decomposition, and caloric content of *Avicennia marina* in the Arabian Gulf region. *Journal of Arid Environments* 40(4): 417-429. DOI: <https://doi.org/10.1006/jare.1998.0457>
- INEGI. 2013. Anuario estadístico del estado de Sinaloa. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D.F., México.
- Kamruzzaman, M., S. Sharma, M. Kamara M. y A. Hagiwara. 2013. Phenological traits of the mangrove *Rhizophora stylosa* Griff. at the northern limit of its biogeographical distribution. *Wetlands Ecology and Management* 21(4): 277-288. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11273-013-9299-1>
- Komiyama, A., J. E. Ong y S. Poungparn. 2008. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forest: A review. *Aquatic Botany* 89(2): 128-137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.006>
- Kovacs, J. M., J. Malczewski y F. Flores-Verdugo. 2004. Examining local ecological knowledge of hurricane impacts in a mangrove forest using an Analytical Hierarchy Process (AHP) approach. *Journal of Coastal Research* 203: 792-800. DOI: [https://dx.doi.org/10.2112/1551-5036\(2004\)20%5B792:ELEKOH%5D2.0.CO;2](https://dx.doi.org/10.2112/1551-5036(2004)20%5B792:ELEKOH%5D2.0.CO;2)
- Kristensen, E., S. Bouillonn, T. Dittmar y C. Marchand. 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic Botany* 89(2): 201-219. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.005>
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academia Press. Amsterdam, Netherlands. 889 pp. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-473542-2.x5000-7>
- McKee, K. L. 1995. Interspecific Variation in Growth, Biomass Partitioning, and Defensive Characteristics of Neotropical Mangrove Seedlings: Response to Light and Nutrient Availability. *American Journal of Botany* 82(3): 299-307. DOI: <https://doi.org/10.2307/2445575>
- Medina, E., A. E. Lugo y A. Novelo. 1995. Contenido mineral del tejido foliar de especies de manglar de la Laguna de Sontecomapan (Veracruz, México) y su relación con la salinidad. *Biotropica* 27(3): 317-323. DOI: <https://doi.org/10.2307/2388917>
- Mehlig, U. 2006. Phenology of the red mangrove, *Rhizophora mangle* L., in the Caeté Estuary, Pará, equatorial Brazil. *Aquatic Botany* 84(2): 158-164. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.09.007>
- Nadia, T. L., L. P. Cerdeira-Morellato e I. C. Machado. 2012. Reproductive phenology of northeast Brazilian mangrove community: Environmental and biotic constraints. *Flora* 207(9): 682-692. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2012.06.020>
- Nagelkerken, I., S. J. M. Blaber, S. Bouillon, P. Green, M. Haywood, L. G. Kirton, J. O. Meynecke, J. Pawlik, H. M. Penrose, A. Sasekumar y P. J. Somerfield. 2008. The habitat function of mangrove for terrestrial and marine fauna: A review. *Aquatic Botany* 89(2): 155-185. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.007>
- Polidoro, B. A., K. E. Carpenter, L. Collins, N. C. Duke, A. M. Ellison, J. C. Ellison, E. J. Farnsworth, E. S. Fernando, K. Kathiresan, N. E. Koedam, S. R. Livingstone, T. Miyagi, G. E. Moore, V. N. Nam, J. E. Ong, J. H. Primavera, S. G. Salmo, J. C. Sanciangco, S. Sukardjo, Y. Wang y J. W. Hong Yong. 2010. The loss of species: mangrove extinction risk and geographic areas of global concern. *PLOS One* 5(4): e10095. DOI: <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0010095>
- Raven, P. H., R. F. Evert y S. E. Eichhorn. 2012. Biology of plants. 8th ed. W. H. Freeman & Company Press. New York, USA. 900 pp.
- Saenger, P. y J. Moverley. 1985. Vegetative phenology of mangroves along the Queensland coastline. *The Proceedings of the Ecological Society of Australia* 13: 257-265.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross 1992. Plant Physiology. 4th ed. Wadsworth Publishing Company. California, USA. 682 pp.

- Sobrado, M. A. 2005. Leaf characteristics and gas exchange of the mangrove *Laguncularia racemosa* as affected by salinity. *Photosynthetica* 43(2): 217-221. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11099-005-0036-8>
- Soto, R. 1992. Nutrient concentration and retranslocation in coastal vegetation and mangroves from the pacific coast of Costa Rica. *Brenesia* 37: 33-50.
- Valiela, I., J. L. Bowen y J. K. York. 2001. Mangrove forest: One of the world's threatened major tropical environments. *BioScience* 51(10): 807-815. DOI: [https://dx.doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051%5B0807:MFOOTW%5D2.0.CO;2](https://dx.doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051%5B0807:MFOOTW%5D2.0.CO;2)
- Wafar, S., A. G. Untawale y M. Wafar. 1997. Litter fall and energy flux in a mangrove ecosystem. *Estuarine Coastal Shelf Science* 44(1): 111-124. DOI: <https://dx.doi.org/10.1006/ecss.1996.0152>
- Walters, B. B., P. Rönnbäck, J. M. Kovacs, B. Crona, A. Hussain, R. Badola, F. Dahdouh-Guebas y E. Barbier. 2008. Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany* 89(2): 220-236. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.02.009>
- Wium-Andersen, S. 1981. Seasonal growth of mangrove trees in southern Thailand. III. Phenology of *Rhizophora apiculata* Lamk, and *Scyphiphora hydrophyllaceae* Gaertn. *Aquatic Botany* 10: 371-376. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(81\)90035-8](https://doi.org/10.1016/0304-3770(81)90035-8)
- Wium-Andersen, S. y B. Christensen. 1978. Seasonal growth of mangrove trees in southern Thailand. II. Phenology of *Bruguiera cylindrical*, *Ceriops tagal*, *Lumnitzera littorea* and *Avicennia marina*. *Aquatic Botany* 5: 383-390. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(78\)90078-5](https://doi.org/10.1016/0304-3770(78)90078-5)