

Variación espacial de la morfometría foliar en manglares de La Habana, Cuba

Dennis Denis Ávila^{1*}, Víctor Manuel Ramírez-Arrieta² & Ramón David Pérez-Lanyau¹

1. Dpto. Biología Animal y Humana, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba, calle 25 entre J e I, plaza, La Habana, Cuba; dda@fbio.uh.cu, rdperezlanyau@estudiantes.fbio.uh.cu
2. Instituto de Ciencias del Mar, ICIMAR, La Habana, Cuba; victorm1990a@gmail.com

* Correspondencia

Recibido 26-IX-2019. Corregido 12-XII-2019. Aceptado 04-III-2020.

ABSTRACT. Spatial variations of leaf morphometry in mangroves in La Habana, Cuba. Introduction: Mangroves represent 11 % of the emerged land of Cuba. There is no previous research describing foliar characteristics, but these variables can be used as health indicators in forest ecosystems. **Objective:** In the current study we describe foliar morphometry in four mangroves around Havana city: Bajos de Santa Ana, Cojímar, Rincón de Guanabo and El Cobre – Itabo lagoon. **Methods:** We collected 1 472 leaves' samples of *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* and *Laguncularia racemosa*, between April and July in 2019, to extract eight foliar variables: length, width, area, perimeter, lateral asymmetry, inner angles and shape index. **Results:** Geographic differences several variables of leaves in *R. mangle* and *A. germinans* were detected, but *L. racemosa* showed high similarity among localities. Differences can be explained by environmental differences in localities. **Conclusions:** There is a need for more extensive research on these kinds of foliar indicators to support its use in future monitoring or researches, and for that using digital pictures fotografías pose many advantages.

Key words: leaf, foliar morphometry, wetlands, ecological indicators.

Ávila, D.D., Ramírez-Arrieta, V.M., & Pérez-Lanyau, R.D. (2020). Variación espacial de la morfometría foliar en manglares de La Habana, Cuba. *Revista de Biología Tropical*, 68(2), 466-478.

Los manglares tropicales y subtropicales se encuentran entre los ecosistemas arbóreos de mayor importancia ecológica y mayor grado de amenaza (Ellison & Farnsworth, 1996; Valiela, Bowen, & York, 2001; Alongi, 2002; Gilman, Ellison, Duke, & Field, 2008). Son bosques perennes halófitos de arquitectura muy simple, dominados por muy pocas especies arbóreas, similares entre ellas y sin estratos inferiores de vegetación, que típicamente habitan la zona de transición entre tierra y mar, así como en los bordes de los estuarios. Estos ambientes se caracterizan por la presencia de fuertes vientos, regímenes de inundación variables,

altas temperaturas y suelos fangosos anaerobios (Lugo & Snedaker, 1974; Kathiresan & Bingham, 2001).

A pesar de su simplicidad estructural, los bosques de mangle presentan una productividad primaria muy elevada, que se expresa en valores promedios de producción de hojarasca de 5 MgC.ha⁻¹ año⁻¹ (Albuquerque-Ribeiro, Scarlate, Twilley, & Castañeda-Moya, 2019), con la cual soportan largas tramas alimenticias terrestres y marinas (pelágicas y bentónicas) y contribuyen significativamente al mantenimiento de los recursos pesqueros de la zona oceánica adyacente. Los manglares constituyen

una franja de bosque protectora de las costas ya que reduce la erosión costera. Además, capturan y almacenan grandes volúmenes de carbono atmosférico, con efectos ambientales a nivel global. La baja riqueza vegetal de estos ecosistemas se compensa con su función como hábitat de fauna (Krauss et al., 2008; Nagelkerken et al., 2008).

Cuba se encuentra entre los primeros países del mundo en cuanto a extensión relativa de sus manglares, que se estiman en 450 000 ha aproximadamente (5 % de la superficie del país), representando alrededor del 11 % del área boscosa (Roman, 2018). Estos ocupan el 77 % de su ecozona potencial, lo cual sugiere un alto grado de conservación (Galford et al., 2018). Sin embargo, 45 % de la superficie de Cuba está enfocada en la producción agropecuaria y la forma geográfica de la isla hace que las descargas agrícolas fluyan rápidamente hacia los manglares costeros. Además, el gran número de represas y embalses creadas para abastecer a la agricultura y consumo humano han reducido marcadamente el flujo de agua dulce hacia las zonas costeras, con un efecto negativo en los manglares (Galford et al., 2018).

Las características foliares se han demostrado indicadoras ecológicas de salud de muchos ecosistemas forestales (ej.: Burrows, 2001; Melo-Cruz, Martínez-Bustamante, & Correa-Londoño, 2012). También son variables que se emplean extensamente en taxonomía botánica y pueden emplearse en numerosos estudios ecológicos y conservacionistas. Sin embargo, las hojas tienen el inconveniente de que, como indicadoras, tienen una alta variabilidad en tiempo y espacio, suelen ser estructuras muy numerosas y variables en sus dimensiones incluso dentro de cada individuo, por lo que se hace difícil el establecimiento de una escala universal para su evaluación (Dale & Beyeler, 2001) y se requieren usualmente de grandes volúmenes de datos para su estudio. Sin embargo, las dimensiones de las hojas permiten caracterizar los ecosistemas boscosos de forma individual y pudieran servir en planes de monitoreo e investigaciones. No existen antecedentes de caracterizaciones

morfométricas de las hojas en manglares cubanos ni en otras formaciones vegetales, solo dos aproximaciones a la descripción de la forma de las hojas se han hecho empleando morfometría geométrica, en especies de *Morella* (Hernández & Hidalgo, 2014) y subespecies de *Magnolia* (Hernández, 2014). Ante este vacío de información básica, el objetivo del presente trabajo es caracterizar las variaciones espaciales de la morfometría foliar en tres especies de mangles en humedales costeros aledaños a la ciudad de La Habana, Cuba. El método empleado puede servir de referencia para su aplicación en otras localidades o formaciones vegetales y el trabajo sienta una línea base para continuar el monitoreo de estos manglares periurbanos, sometidos continuamente a numerosos factores antropogénicos estresantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en cuatro localidades de La Habana: Bajos de Santa Ana (23°03'39" N & 83°28'7.68" W), la laguna de El Cobre-Itabo (23°10'22.4" N & 83°49'50.5" W), la desembocadura del río Cojímar (23°09'48.01" N & 83°42'33.8" W) y el Rincón de Guanabo (23°10'19" N & 83°54'1.44" W) (Fig. 1) en abril y julio 2019. Los Bajos de Santa Ana están situados al oeste de la ciudad y están conformados por una llanura marina acumulativa, rodeada de terrazas costeras de origen calcáreo, que proveen un suministro de agua, nutrientes y energía de gran importancia para el mantenimiento de los manglares costeros. Estos manglares también están favorecidos por la existencia de un manantial de agua dulce, pero colindan directamente con zonas urbanas que drenan al mismo las aguas albañales, además de que en el límite interior existen numerosos vertederos de basura. El manglar está conformado por mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) (10 %) hacia el borde del mar, mangle prieto, *Avicennia germinans* (L.) L. (45 %) y patabán, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. F. (45 %) según evaluaron Ventura et al. (2017).

La laguna de El Cobre-Itabo, se encuentra a 23 km al Este de la bahía de La Habana y constituye un área importante de bosques de mangle en la ensenada de Sibarimar. Está enclavada en un territorio con desarrollo turístico y contiene un hotel ubicado dentro de su extensión. Históricamente ha sido afectado por tala, vertimiento de materiales, rellenos en las diferentes isletas, construcción de terraplenes y viales. A pesar de ello, representa un ecosistema de elevada productividad que sustenta una importante diversidad biológica y, por sus valores naturales y funciones ecológicas, se considera el manglar mejor conservado y de mayor extensión del litoral norte de La Habana (Suárez, 2011). Este manglar está formado por extensas zonas de *L. racemosa* (50 %), bordeados de *R. mangle* (30 %) y *A. germinans* (10 %), con individuos dispersos de *Conocarpus erectus* L. (Yana) (3 %) (Ventura et al., 2017).

El Rincón de Guanabo se ubica en el extremo oriental del sector Playas del Este, a 28 km al este de la bahía de La Habana, y a 2 km del balneario Brisas del Mar. Aunque es una zona terrestre altamente antropizada, fue declarada Paisaje Natural Protegido desde el año 1999, precisamente por la importancia de sus manglares y la alta biodiversidad que sustentaba. El aumento de la urbanización y de la vegetación ruderal ha reducido la franja original continua de manglar a parches, y el efecto de los huracanes han afectado seriamente su estructura, cambiando la dinámica hídrica y produciendo una degradación severa de los manglares. Históricamente, estuvo formado por las cuatro especies

de mangles, pero en la actualidad *R. mangle* ha desaparecido y *A. germinans* está muy reducido, predominando *L. racemosa* hacia la zona marina y *C. erectus* hacia la zona interna.

Finalmente, el bosque de mangle de la desembocadura del río Cojímar se encuentra enclavado en el área del primer meandro del río, antes de su desembocadura en la bahía. Ocupa un área aproximada de siete hectáreas y se encuentra fisionómicamente bien conservado, al estar relativamente protegido por la restricción de acceso que supone la cooperativa pesquera ubicada en la desembocadura del río. Sin embargo, es directamente afectado por la intensa contaminación que arrastra el río Cojímar. Está formado mayormente por *R. mangle* en las vertientes del río y *A. germinans* hacia el interior.

Para la descripción de las características foliares se midieron nueve variables en una muestra de 1472 hojas, cuya distribución por especie y localidad se muestra en la tabla 1. Las hojas se identificaron, tanto por las características distintivas de los árboles (raíces en zancos, neumatóforos, color del tronco y corteza) como por las propias características de las hojas, siguiendo los criterios de Acevedo-Rodríguez y Strong (2012). Los sitios o puntos de recolecta fueron seleccionados a los lados de las vías de acceso, adentrándose en el manglar distancias variables según permitía la accesibilidad del terreno. Las hojas fueron seleccionadas aleatoriamente, cuidando que fuesen de árboles adultos, totalmente desarrolladas (evitando tomar hojas muy cercanas al extremo de las ramas)

TABLA 1

Número de hojas por especie, recolectadas y medidas para caracterizar las variables foliares de los cuatro principales manglares de La Habana, Cuba, entre abril y julio 2019

TABLE 1

Number of mangrove leaves per species, collected and measured to characterize foliar variables in the four main mangroves of Havana, Cuba, between April and July of 2019

Localidad (Abreviatura)	<i>Avicennia germinans</i>	<i>Rhizophora mangle</i>	<i>Laguncularia racemosa</i>	Total
Cojímar (COJ)	325	14		339
El Cobre-Itabo (IT)	193	98	486	777
Rincón de Guanabo (RG)			223	223
Bajos de Santa Ana (BSA)	54	31	48	133
Total	572	143	757	1 472

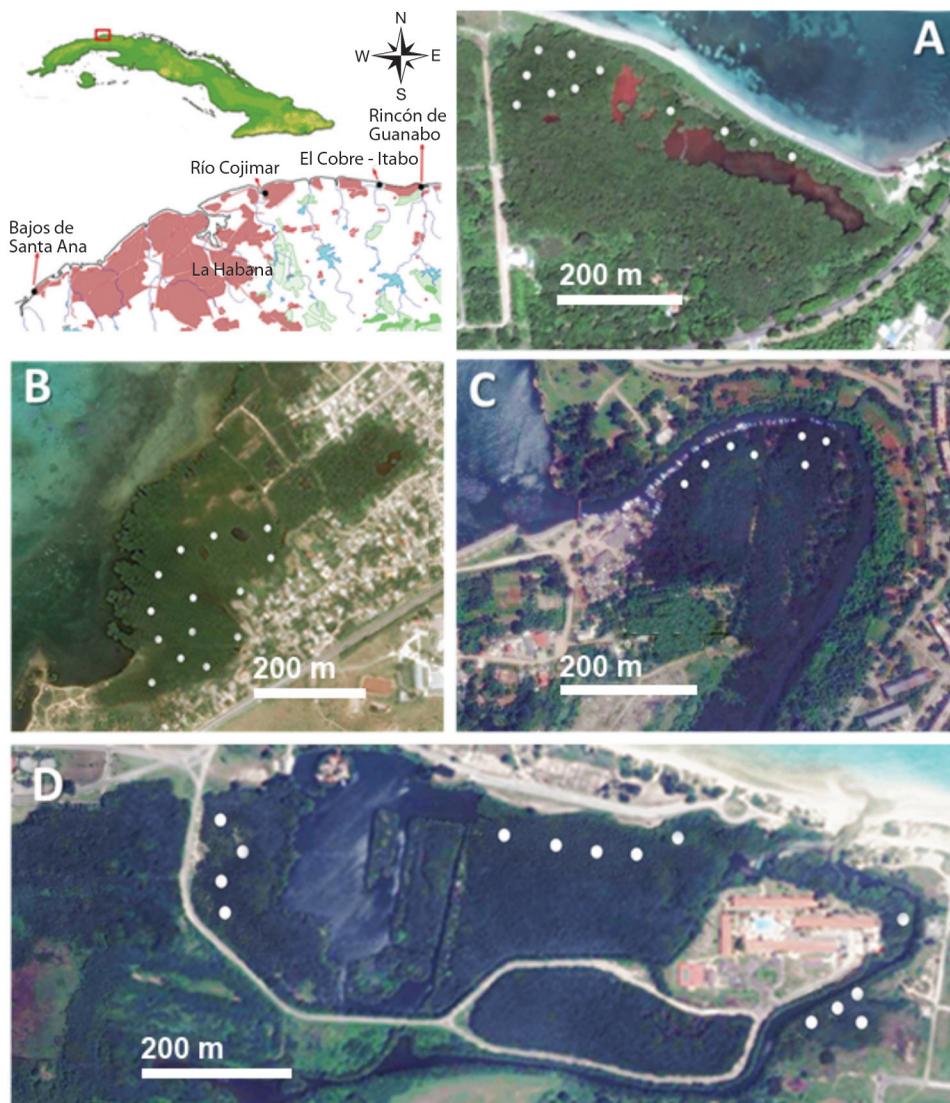


Fig. 1. Localización y vista aérea de los manglares de Rincón de Guanabo (A), Bajos de Santa Ana (B), Cojimar (C) y El Cobre-Itabo (D), La Habana, Cuba, donde se muestran de manera aproximada los sitios donde se tomaron muestras de hojas (puntos blancos).

Fig. 1. Location and aerial view of mangrove at Rincón de Guanabo (A), Bajos de Santa Ana (B), Cojimar (C) and El Cobre-Itabo (D), Havana, Cuba, where white dots show approximated stations from which leaves samples were taken.

pero no senescentes, verdes, a diferentes alturas entre 1 y 2 m de altura, sin roturas o signos de herbivoría que afectarían las medidas a tomar y que no procedieran de los mismos árboles (una sola por árbol para evitar pseudoréplica y no incluir la variabilidad individual). Este tipo de muestreo, obviamente no recoge toda la

posible variabilidad foliar al excluirse las hojas superiores del dosel, pero en la mayoría de los sitios estas eran inaccesibles.

Las variables se midieron a partir de fotografías digitales con una escala numérica por medio de la aplicación FoliometriK (<https://github.com/VMRA/foliometrik>). Esta es una

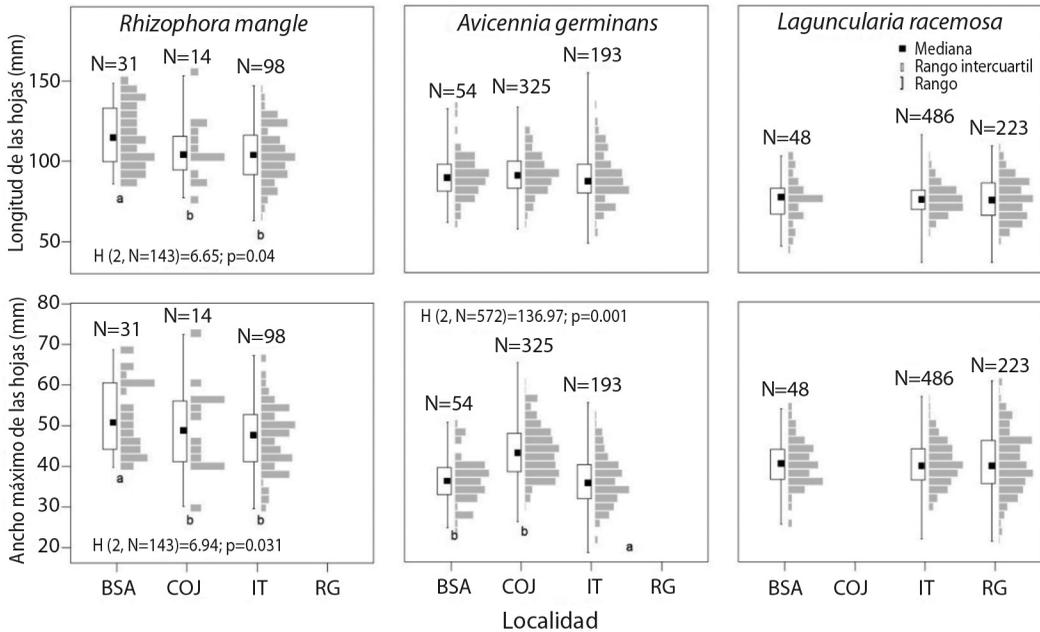


Fig. 2. Comparación de las dimensiones (largo y ancho) de las hojas de tres especies de mangle en cuatro localidades de La Habana, Cuba, entre abril y julio de 2019. Las abreviaturas de las localidades aparecen en la tabla 1.

Fig. 2. Comparison of main dimensions (length and width) of leaves of three mangrove species in four localities of Havana, Cuba, between April and July of 2019. Locality name abbreviation in Table 1.

aplicación web desarrollada en el entorno R (R Core Team, 2019) que permite la descripción de hojas de plantas, tanto a partir de medidas lineales como por variables de morfometría geométrica. Las variables seleccionadas fueron: Longitud de la hoja (L), Ancho máximo (An), Perímetro (P), Área (A), Área de asimetría Lateral (%) (AL), los ángulos apicales (Aap) y basales (Aba) y el Área del rectángulo externo mínimo (APM) con el cual se calculó un Índice de forma ($IF = A/APM$), que tiende a 1 mientras los extremos de la hoja se hacen más obtusos y su forma tiende a parecerse más a un rectángulo. Todas las fotografías y datos de este estudio están disponibles en el sitio figshare.com (<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9875945>).

Los datos obtenidos se describieron a partir de estadísticos tradicionales de tendencia central y variabilidad en el programa Statística 8.0 (StatSoft, 2007). Como estadístico de tendencia central se utilizó la mediana y para describir la variabilidad se calcularon los rangos e intervalos intercuantiles. Ante el no

cumplimiento de las premisas de normalidad y homogeneidad de varianza, necesarias para el empleo de estadística paramétrica se utilizaron pruebas de Kruskal-Wallis y pruebas de rangos *a posteriori* para las comparaciones univariadas de las variables foliares entre localidades y especies. Se utilizó una regresión lineal entre los ángulos de la base y ápice como medida de constancia de la forma.

RESULTADOS

Las dimensiones externas de las hojas de los manglares fueron relativamente similares entre localidades en dos de las tres especies (Fig. 2). *Rhizophora mangle* tendió a presentar hojas de mayores dimensiones en Bajos de Santa Ana, superiores a las de El Cobre-Itabo pero incluidas en el rango de variación de las hojas de Cojímar. *Avicennia germinans* tuvo hojas de igual largo, pero las de Cojímar fueron significativamente superiores en ancho máximo. Las características foliares de

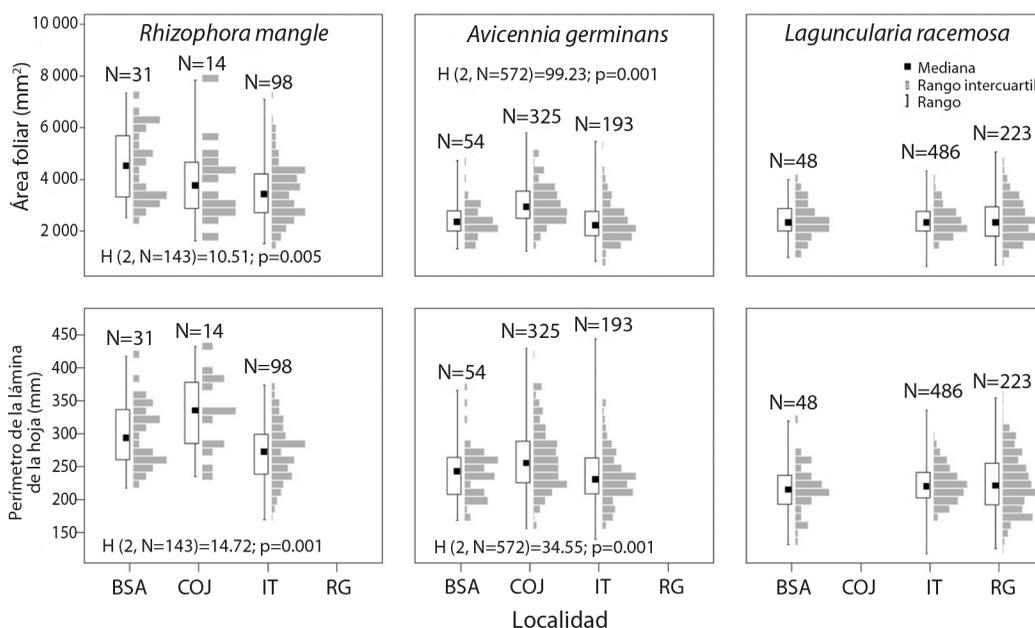


Fig. 3. Comparación de las áreas foliares y los perímetros de las hojas de tres especies de mangle en cuatro localidades de La Habana, Cuba, entre abril y julio de 2019. Las abreviaturas de las localidades aparecen en la tabla 1.

Fig. 3. Comparison of leaves area and perimeter in three mangrove species at four localities in Havana, Cuba, between April and July in 2019. Locality name abbreviation in table 1.

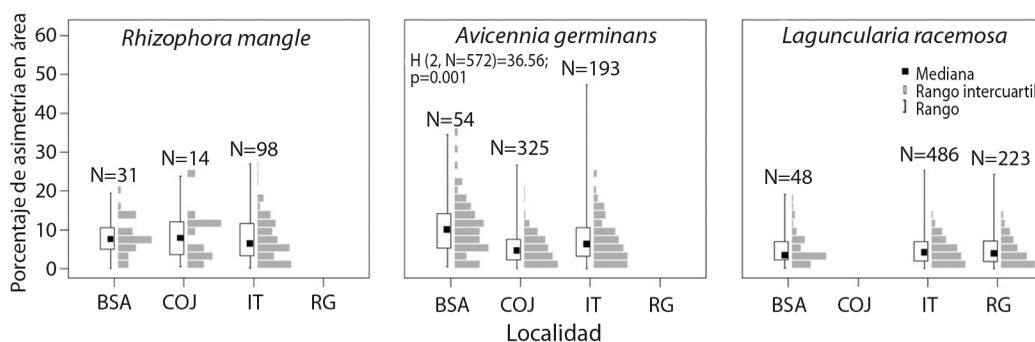


Fig. 4. Comparación de las áreas de asimetría lateral (expresadas como porcentaje del área foliar) en las hojas de tres especies de mangle en cuatro localidades de La Habana, Cuba, entre abril y julio 2019. Las abreviaturas de las localidades aparecen en la tabla 1.

Fig. 4. Comparison of lateral assymetry area (expressed as percentage of total area) in leaves of three mangrove species at four localities of Havana, Cuba, between April and July in 2019. Locality name abbreviation in Table 1.

Laguncularia racemosa fueron similares en las tres localidades donde se muestreó.

En relación al área de la lámina foliar se mantuvo la misma tendencia que para las dimensiones en *R. mangle* y *L. racemosa* (Fig. 3), aunque en el primer caso el perímetro tendió a ser superior en Cojimar, donde las hojas de

A. germinans también resultaron ser mayores que en las otras localidades. Entre especies, el área tendió a ser similar entre el *L. racemosa* y *A. germinans*, pero en *R. mangle* fue muy superior.

Rhizophora mangle presentó niveles de asimetría de la lámina foliar superiores a

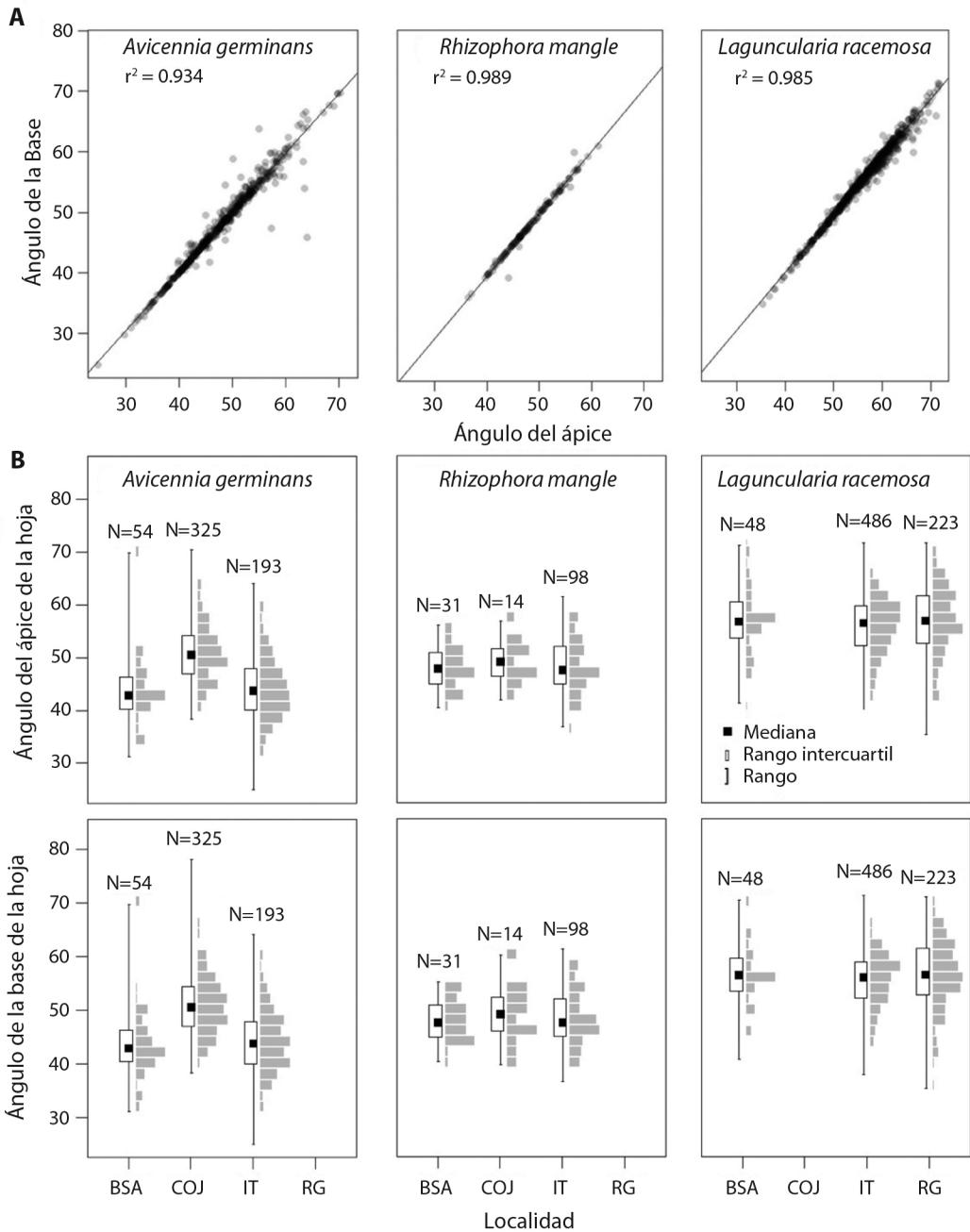


Fig. 5. Comparación de las relaciones entre los ángulos de la base y el ápice de las hojas de tres especies de mangle (A) y la comparación de estos ángulos entre cuatro localidades de La Habana, Cuba (B), entre abril y julio 2019. Las abreviaturas de las localidades aparecen en la tabla 1.

Fig. 5. Comparison of relationships among base and apical internal angles in leaves of three mangrove species (A) and comparison of leaves internal angles among four localities at Havana, Cuba (B), between April and July at 2019. Locality name abbreviation in Table 1.

L. racemosa, aunque se comportó de forma similar entre localidades en ambas especies (Fig. 4). En *A. germinans*, sin embargo, hubo notables diferencias de asimetría en todas las localidades. En Bajos de Santa Ana las hojas fueron mucho más asimétricas respecto a las

otras localidades (entre 9 y 13 % del área de la lámina foliar). En Cojímar la asimetría fue muy ligera, por debajo del 5 % del área.

Los ángulos apicales y basales de las hojas mostraron una alta correlación directa en todos los casos, en correspondencia con la

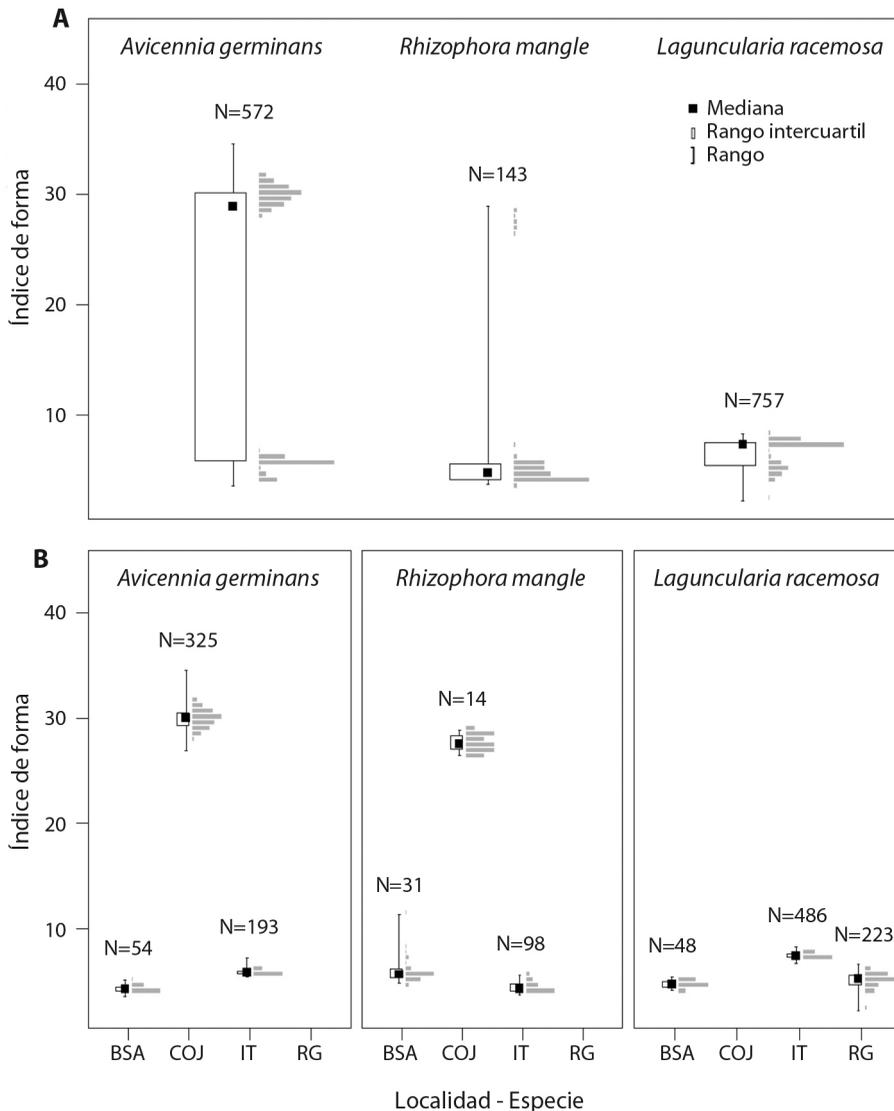


Fig. 6. Comparación de los índices de forma de las hojas entre tres especies de mangle en cuatro localidades de La Habana, Cuba, entre abril y julio 2019 (A) y entre localidades (B). En todos los casos, las diferencias fueron estadísticamente significativas. Las abreviaturas de las localidades aparecen en la tabla 1.

Fig. 6. Comparison of leaves shape indexes in three mangrove species at four localities in Havana, Cuba, between April and July in 2019 (A) and shape comparison between localities (B). In all cases difference were statistically significant. Locality name abbreviation in Table 1.

forma asimétrica de las hojas (Fig. 5A). Las hojas de *L. racemosa*, al ser más pequeñas y redondeadas presentaron los ángulos mayores. En la relación entre estas dos variables, fue *A. germinans* quien presentó mayor variabilidad, evidenciada por la mayor dispersión alrededor de la recta de regresión y un valor menor del coeficiente de determinación. Tanto *R. mangle* como *L. racemosa* mostraron una alta constancia en la forma de las hojas entre localidades, sin diferencias estadísticamente significativas (Fig. 5B). Sin embargo, las hojas de *A. germinans* mostraron formas mucho más ovaladas en la localidad de Cojímar.

El índice de forma calculado, dado por la relación entre el área de la lámina foliar y el área del rectángulo externo mínimo que la contiene, a nivel de especie mostró valores muy superiores en *A. germinans* que en las otras dos especies (Fig. 6A). La comparación entre localidades mostró nuevamente que las dos especies de mangles presentes en la desembocadura del río Cojímar (*A. germinans* y *R. mangle*) tendieron a tener formas foliares significativamente distintas a sus conespecíficos en las otras estudiadas (Fig. 6B).

DISCUSIÓN

A pesar de su extensión y lo común de estas especies de mangles, existen pocos estudios que refieran las dimensiones precisas de las hojas de los mangles. Soto y Corrales (1987) estudiaron la variación de algunas características foliares de *A. germinans* en un gradiente climático y de salinidad en localidades de la costa pacífica de Costa Rica. Las longitudes de las hojas de *A. germinans* en el presente trabajo coinciden con los intervalos reportadas por estos autores en tres localidades de costa Rica: 8.50 ± 1.13 cm (Puerto Soley), 10.97 ± 1.43 cm (Abangaritos) y 12.56 ± 3.80 cm (Tivives). El área de las hojas reportadas por estos autores estuvo entre 18.99 ± 2.00 cm² (Puerto Soley), 28.65 ± 7.04 cm² (Abangaritos), 17.56 ± 4.73 cm² (Salinas), 32.85 ± 4.47 cm² (Tivives) y 39.78 ± 7.21 cm² (Parrita).

Peel, Mandujano, López y Golubov (2017) en su estudio de la densidad estomática en las hojas de *R. mangle*, utilizaron como covariables al área de las hojas y la altura de las plantas. Estos autores, en mangles rojos del caribe mexicano, encontraron promedios del largo de las hojas entre 11.2 cm y 12.6 cm, que coinciden en el rango de variación encontrado en el presente trabajo (63.2-163.2 mm). Los valores medios de los anchos de las hojas dados por estos autores (3.8-5.5 cm) también coinciden con el rango valores hallado en las localidades estudiadas (2.9-7.2 cm). Las áreas foliares también coinciden en el rango obtenido en el presente trabajo, sin embargo, no son directamente comparables ya que estos autores no las miden sino las estiman por analogía geométrica, con la fórmula $LA = \Pi * (LL/2) * (LW/2)$. Las dimensiones de las hojas estuvieron correlacionadas entre sí, pero solo el ancho de las hojas mostró asociación con la altura del árbol y el diámetro del tronco, no así el largo.

El área foliar de *A. germinans* fue inferior en Bajos de Santa Ana y El Cobre - Itabo, que en Cojímar y ello puede estar relacionado a diferencias microclimáticas entre estas localidades. Según Gnoerr & Gay (1965) la reducción del área de las hojas permite una pérdida más eficiente de calor por convección y a la vez permite obtener una mayor ganancia fotosintética por gramo de agua invertido en el proceso. Estos autores también observaron que las hojas más pequeñas, también lograban mantener una temperatura más cercana a la del medio. Soto & Corrales (1987) sugieren que la reducción del área foliar en esta especie de mangle es una respuesta de aclimatación en poblaciones de lugares con mayor escasez de agua y elevada radiación solar que generen altas temperaturas alrededor de las hojas. También sugieren que las modificaciones en la forma general y el ápice de las hojas se modifican en condiciones extremas de salinidad y ambientes xéricos, para conferirles un mayor valor adaptativo, en concordancia con lo descrito, de manera general, por Parkhurst y Loucks (1972).

Numerosos factores aparecen en la literatura como causantes de la variabilidad foliar en

plantas. Se sabe que las hojas que se desarrollan expuestas al sol presentan una menor área foliar y un mayor grosor que aquellas que crecen bajo la sombra (Mitchell, Bolstad, & Vose, 1999; Valladares, Skillman, & Pearcy, 2000; Taiz & Zeiger, 2002). Las precipitaciones también pueden influir en las dimensiones de las hojas y la disponibilidad de agua, además de modificar los caracteres morfológicos foliares, tiene un efecto sobre el desarrollo y productividad de las especies vegetales (McDonald, Fonseca, Overton, & Westoby, 2003). Hasta el clima en general se ha relacionado con la forma de las hojas: en ambientes tropicales y subtropicales, en las formas de crecimiento arbóreo dominan hojas con márgenes enteros, mientras que en climas templados son más frecuentes las hojas con bordes dentados (Velásquez-Rosas, Meave, & Vázquez, 2002).

Las diferencias entre localidades en las dimensiones externas de las hojas de estas especies deben reflejar características ambientales distintas, pero en relación directa a la sensibilidad de cada especie. *Laguncularia racemosa* mostró ser poco sensible en relación a sus características foliares, mostrando poca o nulas diferencias entre localidades.

La variabilidad individual en las dimensiones de las hojas ha sido muy poco estudiada. Existen diferencias morfométricas foliares causadas por los distintos estados de crecimiento de las hojas, pero, independientemente de estas, Soto y Corrales (1987) estimaron el rango de variación de las hojas dentro de un mismo árbol, en la especie *A. germinans*. En 10 muestras aleatorias de hojas en diez árboles, estos autores estimaron áreas entre 5.8 cm² y 26.2 cm², largos entre 1.3 cm y 3.8 cm y anchos entre 0.76 cm y 1.2 cm. En el presente estudio, *R. mangle* rojo presentó la máxima variabilidad en sus dimensiones y sobre todo en el área foliar, coincidiendo con lo reportado por Araujo, Jaramillo y Snedaker (1997).

El área foliar en *R. mangle* disminuye en condiciones subóptimas por lo cual puede ser considerada como indicadora de estrés ambiental crónico (Canoy, 1975; Snedaker & Brown, 1981; Araujo, Jaramillo, & Snedaker, 1997).

A pesar de ser especies halófitas, los cambios extremos en la salinidad pueden tener efecto sobre las morfologías foliares (Longstreth & Novel, 1979). Camilleri y Ribí (1983) encontraron que el espesor de las hojas y la relación peso húmedo a peso seco en *Rhizophora mangle* era mayor en plantas en sitios de salinidad constantemente alta. El tamaño de las hojas responde a la salinidad, con hojas más pequeñas en lugares más salinos.

No solo las dimensiones, sino las formas de las hojas mostraron diferencias notables en la localidad de Cojimar con respecto a las demás localidades, lo cual también puede estar relacionado a las condiciones microclimáticas, incluida la insolación y la temperatura. El índice de forma empleado es una medida de la circularidad de la hoja (tiende a 1 en formas de largo y anchos iguales). Vogel (1968) mencionó que el círculo es la figura menos eficiente como radiador de calor (comparado con otras figuras con área similar).

El área de asimetría lateral de las hojas, normalmente simétricas, puede ser un indicador de problemas ambientales. Las diferencias encontradas entre especies en los niveles de asimetría posiblemente se deriven de diferencias genéticas en los mecanismos de control del desarrollo, pero las diferencias en el caso de *A. germinans* entre localidades, pueden ser indicadoras de otros efectos ambientales negativos que merecen más atención en próximos estudios. Son muy pocos los estudios de asimetría fluctuante en plantas (Moller & Shykoff, 1999) pero este fenómeno ha emergido como una importante herramienta para evaluar las respuestas biológicas al estrés ambiental. Estudios previos han relacionado la asimetría fluctuante con el estrés hídrico, nutrientes del suelo, contaminación radioactividad y muchos otros factores y perturbaciones (e.g. Espino, 2008).

Las localidades estudiadas no son referentes en relación a la situación de los manglares a nivel nacional por el efecto de la antropización impuesta por la cercanía a la ciudad más poblada del país. Por ello, la ampliación del estudio a localidades menos impactadas es un paso obligatorio para poder estandarizar el empleo

de los indicadores utilizados en este trabajo. De las cuatro localidades, Cojímar es la que muestra evidencias de mayor impacto por contaminación, pero desde el punto de vista estructural los mangles no tienen las mismas afectaciones que en otras regiones. Ello se manifiesta en el porte superior de los árboles. Posiblemente ello esté relacionado a su ubicación geográfica al fondo de una laguna, que limita el efecto del oleaje extremo y en un valle relativamente protegido de los vientos extremos. El resto de los manglares no cuenta con esta protección y por ello, estructuralmente, tienen diferentes características. Las mayores afectaciones físicas se han producido en el Rincón de Guanabo, cuya extrema degradación producto del efecto de los ciclones, se refleja en cambios en la composición de especies, en la intrusión de la duna, cambios hidrológicos que afectan el recambio de agua de la laguna interior y salinización progresiva de los suelos.

Los manglares de El Cobre-Itabo y Bajos de Santa Ana muestran las mejores condiciones, en las características foliares, pero se diferencian naturalmente por la combinación de especies y la distribución espacial. Las elevadas dunas de la costa de Itabo protegen al manglar contra el oleaje extremo pero la fragmentación impuesta por los viales y el efecto del hotel y sus descargas pueden representar amenazas potenciales a largo plazo a este ecosistema, considerado por Suárez (2011) como el manglar mejor conservado del litoral de La Habana. El manglar de Bajos de Santa Ana, paradójicamente, representa un estado secundario al haber sido seriamente afectado por el dragado del río de Santa Ana en 1983 (Menéndez, Guzmán, & Capote, 2002), y su utilización como depósito de arena hasta el año 1989. Al inicio de los años 90 en la región occidental el manglar había desaparecido totalmente, pero una década más tarde mostró una notable recuperación natural.

Este trabajo presenta, por primera vez, una caracterización morfométrica detallada, con una muestra grande, de las hojas de las especies de mangles estudiadas, que no tiene antecedentes para las poblaciones cubanas ni

para el Caribe en general. Por el valor conservacionista de las evaluaciones de salud o impacto sobre los ecosistemas, este método pudiera ser aplicado a otros manglares y otras formaciones vegetales en general. El monitoreo sobre las localidades estudiadas debe continuarse a fin de describir las tendencias a largo plazo y detectar tempranamente alteraciones que requieran una intervención conservacionista. El empleo de fotografías digitales para las mediciones de las hojas presenta numerosas ventajas, como la trazabilidad de errores, la automatización que disminuye el esfuerzo en tiempo del investigador, una mayor estabilidad en la toma de medidas y la potencial continuidad del estudio.

Declaración de ética: los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Arianna Ponce-Parrado, Luis J. Madrigal-Roca y Pedro A. Valdés-Cuadra por la colaboración en la recolecta de las muestras.

RESUMEN

Introducción: Los manglares representan cerca del 11 % de la superficie forestal de Cuba. No existen estudios previos que describan sus características foliares, a pesar de que estas variables pueden constituir indicadores del estado de los ecosistemas boscosos. **Objetivo:** En el presente trabajo se describen las características morfométricas de las hojas en cuatro manglares periurbanos de la ciudad de La Habana: Bajos de Santa Ana, Cojímar, Rincón de Guanabo y la laguna El Cobre-Itabo. **Métodos:** Se emplearon 1 472 muestras de hojas de *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*, recolectadas entre

abril y julio 2019, a las cuales se les extrajeron ocho variables: largo de la lámina, ancho máximo, área, perímetro, asimetría lateral, ángulos interiores anterior y posterior y un índice de forma. **Resultados:** Se detectaron diferencias geográficas en varias de las dimensiones de las hojas en *R. mangle* y *A. geminans*, pero *L. racemosa* mostró características altamente constantes entre localidades. Las diferencias se relacionaron con las características geográficas y ambientales de las localidades. Las dimensiones de las hojas fueron consistentes con estudios realizados en otros países. **Conclusiones:** Es necesario continuar evaluando de forma precisa estos indicadores foliares para sustentar su uso en futuros monitoreos o investigaciones, y para ello el empleo de fotografías digitales presenta numerosas ventajas, que fundamentan su uso.

Palabras clave: hojas, morfometría foliar, humedales, indicadores ecológicos.

REFERENCIAS

- Acevedo-Rodríguez, P., & Strong, M. (2012). *Catalogue of seed plants of West Indies*. Washington, USA: Smithsonian Institution Scholarly Press.
- Albuquerque-Ribeiro, R., Scarlate, A., Twilley, R.R., & Castañeda-Moya, E. (2019). Spatial variability of mangrove primary productivity in the neotropics. *Ecosphere*, 10(8), 1-13.
- Alongi, D.M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29, 331-349.
- Araujo, R.J., Jaramillo, J.C., & Snedaker, S.C. (1997). LAI and leaf size differences in two red mangrove forest types in south Florida. *Bulletin of Marine Science*, 60(3), 643-647.
- Burrows, G.E. (2001). Comparative anatomy of the photosynthetic organs of 39 xeromorphic species from subhumid New South Wales, Australia. *International Journal of Plant Sciences*, 162(2), 411-430.
- Camilleri, J.C., & Ribí, G. (1983). Leaf thickness of mangroves (*Rhizophora mangle*) growing in different Salinities. *Biotropica*, 15, 139-141.
- Canoy, M.J. (1975). Diversity and stability in a Puerto Rican *Rhizophora mangle* L. forest. En G. Walsh, S.C. Snedaker, & H. Teas (Eds.), *Proceedings of International Symposium on Biology and Management of Mangroves* (pp. 344-356). Gainesville, Florida: Institute for Food and Agricultural Science.
- Dale, V.H., & Beyeler, S.C. (2001). Challenges in development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, 1, 3-10.
- Ellison, A.M., & Farnsworth, E.J. (1996). Anthropogenic disturbance of Caribbean mangrove ecosystems: past impacts, present needs, and future predictions. *Biotropica*, 28, 549-565.
- Espino, B. (2008). *La asimetría fluctuante foliar como indicador de perturbación en encinares de la cuenca de Cuitzeo, Michoacán, México* (Tesis de Diploma). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.
- Galford, G.L., Fernandez, M., Roman, J., Monasterolo, I., Ahamed, S., Fiske, G., ... Kaufman, L. (2018). Cuban land use and conservation, from rainforests to coral reefs. *Bulletin of Marine Science*, 94(2), 0-0. DOI: 10.5343/bms.2017.1026
- Gilman, E., Ellison, J., Duke, N.C., & Field, C. (2008). Threats to mangroves from climate change and adaptation options: a review. *Aquatic Botany*, 89(2), 237-250.
- Gnoerr, H.R., & Gay, L.W. (1965). Leaf energy balance. *Ecology*, 46, 17-24.
- Hernández, M., & Hidalgo, B.F. (2014). Variabilidad inter e intra específica en la morfología foliar de las especies cubanas de Morella (Myricaceae). *Biológicas*, 16(1), 43-52.
- Hernández, M. (2014). Identificación de las subespecies de *Magnolia cubensis* (Magnoliaceae) mediante análisis digital de imágenes de las hojas. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 3(2), 53-60.
- Kathiresan, K., & Bingham, B.L. (2001). Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems. *Advances in Marine Biology*, 40, 81-251.
- Krauss, K.W., Lovelock, C.E., Mckee, K.L., Lopez-Hoffman, L., Ewe, S.M.L., & Sousa, W.P. (2008). Environmental drivers in mangrove establishment and early development: A review. *Aquatic Botany*, 89, 105-127.
- Longstreth, D.J., & Novel, P.S. (1979). Salinity effects on leaf anatomy consequences for photosynthesis. *Plant Physiology*, 63, 700-703.
- Lugo, A.E., & Snedaker, S.C. (1974). The ecology of mangroves. *Annual Review Ecology and Systematic*, 5, 39-64.
- McDonald, P.G., Fonseca, C.R., Overton, J.M., & Westoby, M. (2003). Leaf-size divergence along rainfall and soil-nutrient gradients: Is the method size reduction common among clades. *Functional Ecology*, 17, 50-57.
- Melo-Cruz, O., Martínez-Bustamante, E., & Correa-Londoño, G. (2012). Indicadores morfométricos foliares para la detección temprana del estrés hídrico de *Gmelina arborea* Roxb. en sistemas agroforestales, Santafé de Antioquia. *Colombia Forestal*, 15(2), 215-226.

- Menéndez, L., Guzmán, J.M., & Capote, R.T. (2002). Los manglares del archipiélago cubano: aspectos de su funcionamiento. En J.J. Neiff (Ed.), *Humedales de Iberoamérica* (pp. 237-251). Buenos Aires, Argentina: CYTED Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- Mitchell, K.A., Bolstad, P.V., & Vose, J.M.C. (1999). Interspecific and environmentally induced variation in foliar dark respiration among eighteen southeastern deciduous tree species. *Tree physiology*, *19*, 861-870.
- Moller, A.P., & Shykoff, J.A. (1999). Morphological developmental stability in plants: patterns and causes. *International Journal of Plant Sciences*, *160*, 135-146.
- Nagelkerken, I., Blaber, S.J.M., Bouillon, S., Green, P., Haywood, M., & Kirton, L.G. (2008). The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: A review. *Aquatic Botany*, *89*, 155-185.
- Parkhurst, D.F., & Loucks, O.L. (1972). Optimal leaf size interactions to environment. *Ecology*, *60*, 505-532.
- Peel, J.R., Mandujano, M.C., López Portillo, J., & Golubov, J. (2017). Stomatal density, leaf area and plant size variation of *Rhizophora mangle* (Malpighiales: Rhizophoraceae) along a salinity gradient in the Mexican Caribbean. *Revista Biología Tropical*, *65*(2), 701-712.
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org>
- Roman, J. (2018). The ecology and conservation of Cuba's coastal and marine ecosystems. *Bulletin of Marine Science*, *94*(2), 149-169.
- Snedaker, S.C., & Brown, M.S. (1981). *Water quality and mangrove ecosystem dynamics*. Florida, USA: United States Environmental Protection Agency, Gulf Breeze.
- Soto, J., & Corrales, A. (1987). Variación de algunas características foliares de *Avicennia germinans* (L.) L. (Avicenniaceae) en un gradiente climático y de salinidad. *Revista Biología Tropical*, *35*(2), 245-256.
- StatSoft, Inc. (2007). *STATISTICA (data analysis software system)* (Version 8.0). Retrieved from <http://www.statsoft.com/textbook>
- Suárez, R. (2011). *Estado de salud de los ecosistemas de manglar de La Habana, Cuba* (Tesis de Diploma). Universidad de La Habana, Cuba.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant physiology* (3^{ra} Ed.). Massachusetts, USA: Editorial Sinauer Associates.
- Valiela, I., Bowen, J.L., & York, J.K. (2001). Mangrove forests: one of the world's threatened major tropical environments. *BioScience*, *51*(10), 807-815.
- Valladares, F., Skillman, J.B., & Pearcy, R.W. (2000). Convergence in light capture efficiencies among tropical forest understory plants with contrasting crown architectures: a case of morphological compensation. *American Journal of Botany*, *89*(8), 1275-1284.
- Velásquez-Rosas, N., Meave, J., & Vázquez, S. (2002). Elevational variation of leaf traits in Montane rain forest tree species at Chinantla southern México. *Biotropica*, *34*, 534-546.
- Ventura, D., Fuente, A., Vicente, P., Isse, M., Fontes, E.A., Abreu, Y., & Pita, T. (2017). *Evaluación cuantitativa de las afectaciones en la estructura de la vegetación en dos manglares de La Habana, Cuba* (Informe de Trabajo Biológico de Campo II). Cuba: Universidad de La Habana.
- Vogel, S. (1968). "Sun leaves" and "shade leaves": differences in convective heat dissipation. *Ecology*, *49*, 1203-1204.