

## Comparación de métodos de estructura forestal de especies de manglares semiáridos mediante una aproximación de campo

Francisco Flores-de-Santiago<sup>1\*</sup>, Francisco Flores-Verdugo<sup>2</sup>

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historial del artículo:

Recibido 08 de agosto de 2023

Aceptado 06 de diciembre de 2023

Publicado 27 de febrero de 2024

#### READ IN ENGLISH:

<https://doi.org/10.7773/cm.v2024.3432>

#### AUTOR DE CORRESPONDENCIA

\* E-mail: [ffloresd@cmarl.unam.mx](mailto:ffloresd@cmarl.unam.mx)

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Académica Procesos Oceánicos y Costeros, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México.

<sup>2</sup> Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Académica Mazatlán, Universidad Nacional Autónoma de México, 82040 Mazatlán, Sinaloa, México.

**RESUMEN.** Los datos de campo obtenidos de los inventarios forestales, principalmente área basal y densidad de fustes, son relevantes para el análisis de la biomasa aérea y la fragmentación forestal. Debido al suelo inundado, el trabajo de campo en los bosques de manglar requiere mucho tiempo y es complicado. Dado que los manglares son sensibles a los efectos del cambio climático, la selección de un método de campo ideal es de suma importancia. Con este fin, analizamos 4 clases de manglares: *Rhizophora mangle* (RM), *Laguncularia racemosa* (LR), *Avicennia germinans* (AG) y AG arbustivo. Georreferenciamos y contamos todos los fustes de mangle dentro de 4 parcelas cuadradas de 0.04 ha (20 × 20 m). Analizamos 3 áreas circulares y el método del punto cuadrante central (PCQM) basado en las parcelas cuadradas originales. Dependiendo de la clase de mangle, el PCQM sobreestimó el área basal hasta en un 34% y la densidad de fustes en un 21%. Los 3 muestreos en parcelas circulares subestimaron el área basal entre -1% y -29% y la densidad de fustes entre -3% y -25%. Basándonos en los resultados, sugerimos utilizar una parcela circular de 0.04 ha ( $r = 11.28$  m) en bosques menos densos (RM y AG) y una parcela circular de 0.015 ha ( $r = 6.9$  m) en densidades superiores a 3,500 fustes/ha (LR y AG arbustivo). Las ventajas de utilizar las parcelas circulares sobre el método PCQM son que los inventarios de mangle pueden cuantificarse rápidamente y no requieren un número mínimo de puntos de muestreo.

**Palabras clave:** método del punto cuadrante central, parcelas circulares, área basal, densidad de fustes.

## INTRODUCCIÓN

Los bosques de manglar están compuestos por árboles y arbustos que prosperan en zonas intermareales entre latitudes tropicales y subtropicales. Estos bosques proporcionan servicios ecosistémicos como protección contra la erosión costera y zonas de cría para especies comerciales (Ximenes et al. 2023). Las variables de los bosques de manglar obtenidas en campo, como el área basal y la densidad de fustes, son de suma importancia para estimar la complejidad estructural de los manglares y la cantidad de biomasa aérea (Tran et al. 2022), así como para corroborar los datos obtenidos por sensores remotos (Vizcaya-Martínez et al. 2022).

La diferencia entre las variables de los inventarios de manglares sobre el terreno depende de la especie, la región geográfica de interés y el tipo de bosque (Wang et al. 2018). Por ejemplo, los bosques de manglar en zonas tropicales con mayor tasa de precipitación pluvial anual tienden a presentar mayor área basal y menor densidad de fustes que los manglares de regiones áridas o semiáridas (Valderrama-Landeros et al. 2022). La logística de los trabajos de campo realizados en los bosques de manglar es mucho más complicada y requiere más tiempo que en otros bosques terrestres (Salum et al. 2020). Por ejemplo, el entorno costero donde prosperan los manglares es arduo para el trabajo de campo, principalmente debido a las fluctuaciones de las mareas y al suelo fangoso (Ferreira et al. 2022). Además, el suelo de los

Acceso abierto

En línea ISSN: 2395-9053

Verificado con Similarity Check impulsado por iThenticate

<https://doi.org/10.7773/cm.v2024.3432>



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite compartir y adaptar el trabajo, siempre y cuando se dé el crédito apropiado a los autores originales y la fuente, proporcione un enlace a la licencia Creative Commons e indique si se realizaron cambios. Las figuras, tablas y otros elementos del artículo están incluidos en la licencia CC BY 4.0 del artículo, a menos que se indique lo contrario. Debe solicitar permiso al titular de los derechos de autor para utilizar material no cubierto por esta licencia. El título de la revista está protegido por derechos de autor propiedad de la Universidad Autónoma de Baja California, y el título y el logotipo de la revista no están sujetos a esta licencia.

bosques de manglar degradados tiende a ser menos compacto que el de los manglares que viven en condiciones óptimas, lo que dificulta aún más el trabajo de campo (Flores-Verdugo et al. 2015). Por ello, es necesario identificar el método ideal para llevar a cabo de manera eficiente estudios de campo de los manglares para cada especie dentro de un bosque de manglar.

Hay varias formas de realizar inventarios sobre el terreno, incluidas técnicas basadas en la distancia (aproximaciones sin parcelas), como el método del punto cuadrante central (PCQM), y enfoques basados en el área (parcelas cuadradas y circulares). En general, se prefieren las parcelas cuadradas permanentes de hasta 0.16 ha ( $40 \times 40$  m) para fines de seguimiento a largo plazo, donde se contabilizan todos los fustes dentro del área (Villeda-Chávez et al. 2018, Valderrama-Landeros et al. 2020). Sin embargo, dado que estas observaciones de campo se restringen a unas pocas parcelas instaladas de forma permanente, los datos adquiridos son espacialmente limitados (Flores-de-Santiago et al. 2023). Por esta razón, cuando se analiza espacialmente un sistema de manglar para corroborar estimaciones de biomasa a partir de sensores remotos, incluyendo radar de apertura sintética y vehículos aéreos no tripulados, o métricas existentes en la literatura, tales como el índice de área foliar, es mejor cubrir muchas estaciones más pequeñas tales como las parcelas circulares (Flores-de-Santiago et al. 2013, 2020). El enfoque PCQM utiliza transectos que atraviesan el bosque, eliminando así la necesidad de designar áreas de muestreo específicas. Sin embargo, la eficacia de este método depende del número de estaciones en los transectos. Además, el tamaño del bosque puede ser insuficiente para el PCQM.

El objetivo de este estudio fue determinar el grado de error entre los métodos tradicionales de inspección de campo de los bosques de manglar en un sistema semiárido del Golfo de California con datos obtenidos en campo. La hipótesis de trabajo es que el método óptimo dependerá de la densidad de fustes de las especies de manglar. Debido a los huecos disponibles dentro de las parcelas, se espera una relación inversa de error de estimación entre la densidad de fustes y el área basal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La laguna costera Urías (Fig. 1) es un cuerpo de agua pequeño ( $18 \text{ km}^2$ ) y somero ( $<4$  m de profundidad) localizado en la costa semiárida al este del Golfo de California, México ( $23^{\circ}09'06''$  N,  $106^{\circ}19'57''$  O). Tres especies de mangle bordean parcialmente la laguna costera: *Rhizophora mangle* L. (RM), *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn (LR) y *Avicennia germinans* (L.) L. (AG) (Valderrama-Landeros et al. 2018, 2021). La temporada de lluvias breve y la tendencia de la laguna costera a presentar condiciones hipersalinas, han dado lugar a una extensa comunidad de manglar AG de tipo

arbustivo en áreas con menor intercambio hídrico (Flores-Verdugo et al. 2015).

### Parcela cuadrada

Se recolectaron datos de estructura de bosque de manglar en campo, del 20 al 28 de febrero de 2022, a lo largo del extremo sur de la laguna costera de Urías, dentro de 4 bosques monoespecíficos de RM, LR, AG y AG arbustivo. Se instaló una cuerda a lo largo del perímetro de un área cuadrada ( $40 \times 40$  m, 0.16 ha) en cada clase de bosque de manglar, según lo descrito por Villeda-Chávez et al. (2018). Primero determinamos la estructura del área a analizar en cada parcela cuadrada calculando la posición de cada fuste con un láser portátil y midiendo su diámetro a la altura del pecho (DAP) con cinta diametral. Se subdividió cada parcela cuadrada en 4 secciones ( $20 \times 20$  m) para poderla analizar estadísticamente.

### PCQM sin parcela

Se instalaron 3 transectos lineales permanentes de 40 m de longitud a lo largo de las 4 parcelas de manglar monoespecíficas. Se dividió cada punto de muestreo a lo largo de la línea en 4 cuadrantes según las direcciones cardinales (Cintrón y Schaeffer-Novelli 1984). Para cada cuadrante, se midió la distancia al fuste de mangle más cercano. En otras palabras, se recolectaron 4 medidas de distancias, con su correspondiente DAP, por punto de muestreo. No se debe medir el mismo fuste entre 2 puntos de muestreo consecutivos.

### Método de parcelas circulares

De acuerdo con los métodos de Kovacs et al. (2010), se contaron los fustes dentro de 3 parcelas circulares de 0.04 ha ( $r = 11.28$  m), 0.03 ha ( $r = 9.77$  m) y 0.015 ha ( $r = 6.9$  m) para cada clase monoespecífica de manglar. En el caso de LR y AG en condición arbustiva, había fustes con diámetros inferiores a 2.5 cm, un valor que generalmente no se considera en los estudios sobre la estructura de los manglares. Por esta razón, LR y AG arbustivo se analizaron utilizando (1) el número total de fustes (i.e., todos los fustes) independientemente de su DAP y (2) los fustes mayores de un DAP de 2.5 cm. Se calcularon las áreas basales ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ) y las densidades (fustes/ha) para todos los métodos mencionados.

### Análisis estadísticos

Para determinar si existían diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los 4 métodos de muestreo en relación con el área basal y la densidad de fustes, se aplicó un ANDEVA de una vía desequilibrado, utilizando la media aritmética, la desviación estándar y el número de muestras por método (Sokal y Rohlf 2012). En cuanto a las diferencias significativas, se procedió a la prueba *post hoc* de Tukey. Todos los análisis se realizaron en el software Matlab V.R2016a. Se calculó el coeficiente de

variación (CV), que es la relación entre la desviación estándar y la media, para el área basal y la densidad de fustes. Se estimó el porcentaje de error para los 4 métodos de muestreo restando el área basal total y la densidad de fustes de la parcela cuadrada principal.

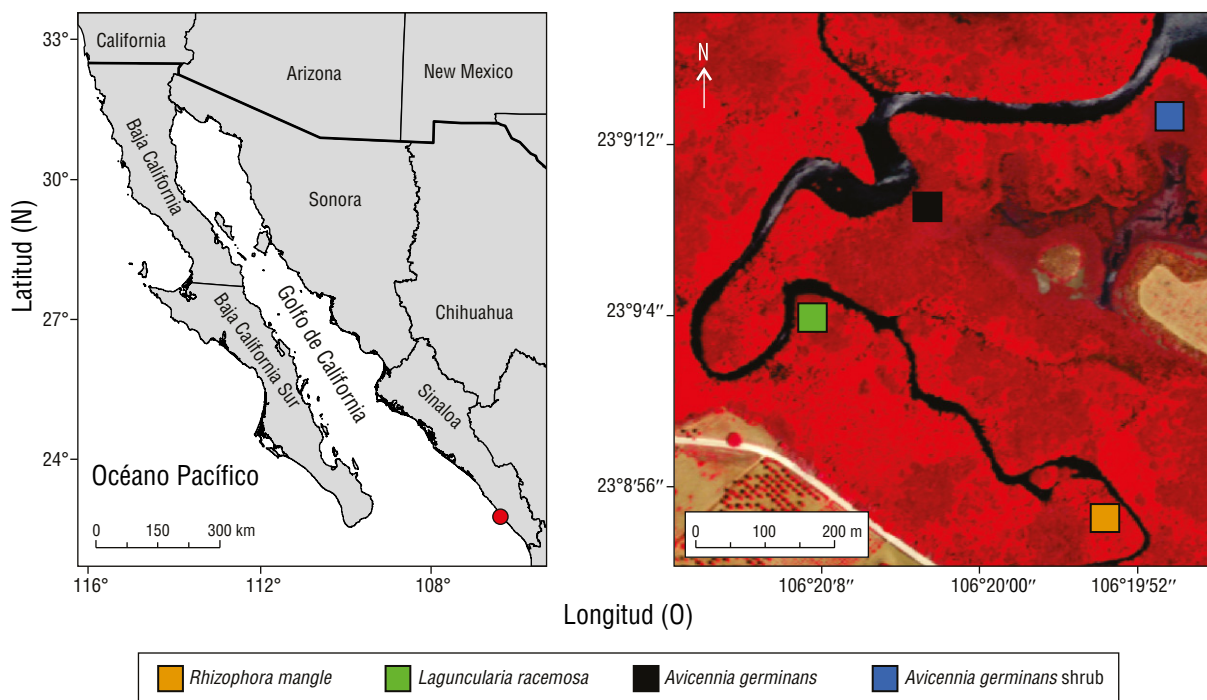
## RESULTADOS

Todas las clases de manglares presentaban un cierto grado de árboles con varios fustes (Fig. 2). Para el método de parcela cuadrada, la distribución espacial de los fustes varió según la especie; por ejemplo, el bosque RM presentó densidades bajas (444 fustes/ha), árboles dispersos y un área basal baja (4.8 m<sup>2</sup>/ha) (Tabla 1). El bosque LR presentó densidades más altas (3,225 fustes/ha) con árboles de fustes múltiples con un área basal relativamente alta (13.4 m<sup>2</sup>/ha). Por el contrario, el bosque AG tenía árboles dispersos (1,069 fustes/ha) con un área basal pequeña (5.7 m<sup>2</sup>/ha). Por último, AG arbustivo presentó una densidad alta (6,500 fustes/ha) y un área basal de 14.6 m<sup>2</sup>/ha distribuidos en agrupaciones densas y espacios entre los fustes analizados. Debido a la alta densidad de fustes de menor tamaño, la condición LR y la de AG arbustiva presentaron una densidad diferente al considerar todos los datos, pero con un área basal relativamente invariable. Por ejemplo, el bosque LR aumentó de 3,225 a 4,500 fustes/ha, y el área basal de 13.4 a 13.7 m<sup>2</sup>/ha. Por otro lado, la densidad

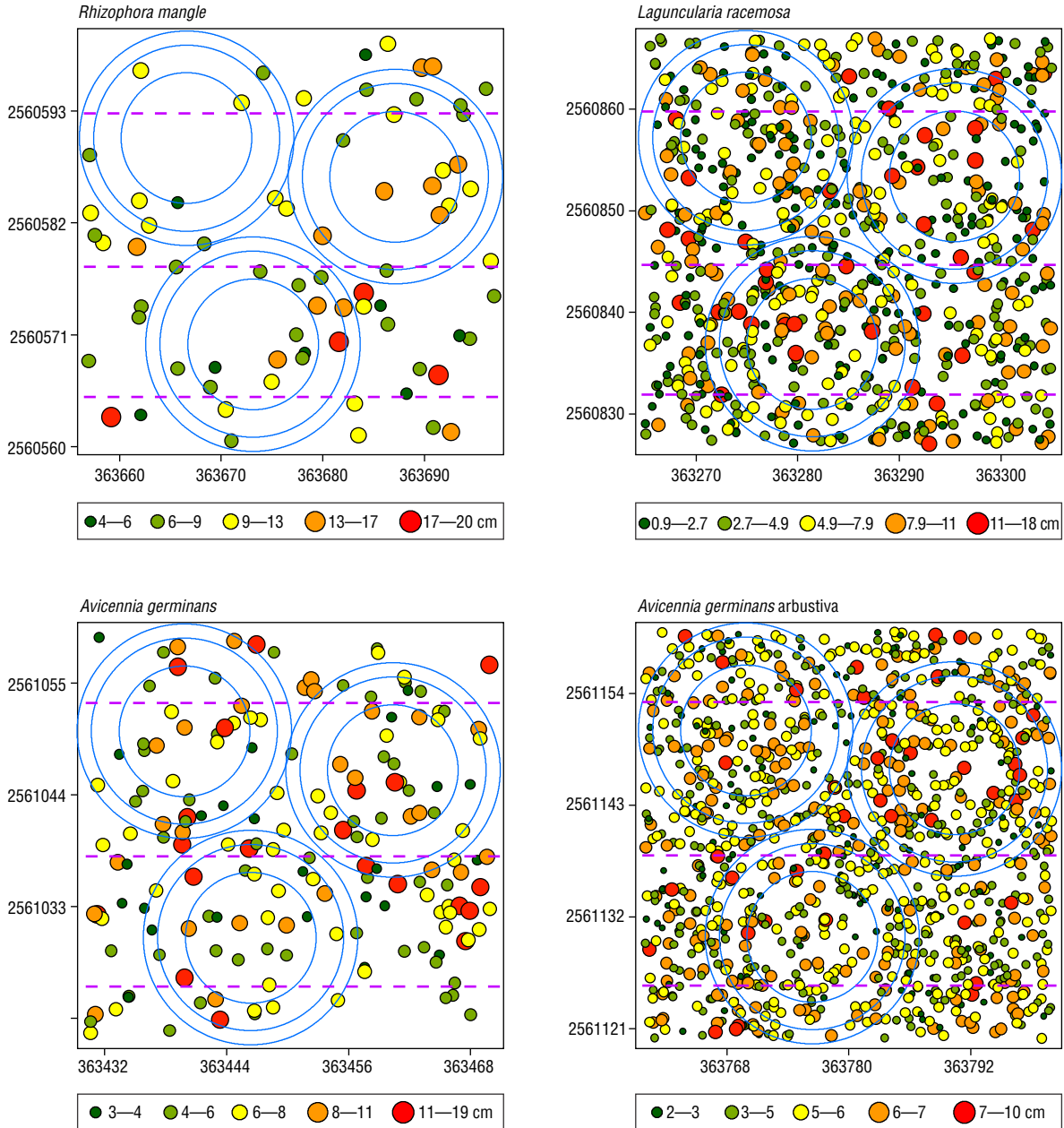
de AG en estado arbustivo pasó de 6,269 a 6,500 fustes/ha, mientras que su área basal sólo aumentó de 14.5 a 14.6 m<sup>2</sup>/ha.

Para completar el inventario de manglares sobre el terreno dentro de la parcela cuadrada (0.16 ha), 4 personas requirieron 1 h y 20 min para MR, 1 h para LR, 20 min para AG y 2 h para AG en estado arbustivo. La distribución del DAP de las 4 clases de manglares mostró diferencias notables. Por ejemplo, la mayoría de los fustes del MR presentó frecuencias de DAP entre 8 y 10 cm, seguida por un segundo grupo entre 12 y 14 cm. El bosque LR mostró una mayor densidad de fustes de menos de 4 cm. El bosque AG presentó una distribución normal con frecuencias entre 4 y 6 cm, mientras que el AG en estado arbustivo presentó densidades mucho mayores entre 4 y 6 cm.

La clase RM no mostró diferencias significativas entre los 4 métodos de muestreo en comparación con el método de parcela cuadrada en el área basal ( $F_{(4,116)} = 2.6$ ,  $P = 0.04$ ) y la densidad de fustes ( $F_{(4,116)} = 4.1$ ,  $P = 0.004$ ). El menor error estimado se produjo con la parcela circular de 0.04 ha y el PCQM. El método PCQM también dio como resultado el CV más bajo para el área basal y la densidad de fustes; sin embargo, el tiempo necesario para terminar el PCQM fue mayor que el de la parcela circular. La clase LR (DAP > 2.5 cm) mostró diferencias significativas entre los métodos para el área basal ( $F_{(4,799)} = 184.2$ ,  $P = 0.0$ ), pero el análisis *post hoc* no mostró diferencias significativas entre las parcelas



**Figura 1.** Ubicaciones de los inventarios de manglares sobre el terreno en el suroeste del Golfo de California en el Pacífico mexicano. La línea gruesa indica la frontera internacional entre EE. UU. y México y el círculo rojo representa la ubicación del sistema de Urías. Cada rectángulo de color indica el área de muestreo de 0.16 ha para cada clase de manglar sobre una imagen GeoEye compuesta de falso color (infrarrojo cercano, rojo, verde).



**Figura 2.** Distribución espacial de los fustes de mangle según el diámetro a la altura del pecho (DAP; círculos pequeños) medido para las 4 clases de mangle (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Avicennia germinans* arbustivo). Cada cuadrado mide 40 × 40 m. Los 3 círculos azules indican la ubicación de las parcelas circulares (0.04, 0.03 y 0.015 ha). Las líneas moradas indican la ubicación de los 3 transectos del método del punto cuadrante central (PCQM).

circulares de 0.04 ha y 0.03 ha ( $P = 0.43$ ). No obstante, todos los métodos mostraron diferencias significativas ( $F_{(4,799)} = 145.9$ ,  $P = 0.0$ ) en el caso de la densidad de fustes para la clase LR. Además, PCQM mostró los mayores errores de área basal y densidad de fustes, y se registraron los menores errores estimados con la parcela circular de 0.015 ha.

La clase AG mostró diferencias significativas tanto en el área basal ( $F_{(4,285)} = 25.1$ ,  $P = 0.0$ ) como en la densidad de fustes ( $F_{(4,285)} = 21.3$ ,  $P = 0.0$ ), pero el análisis *post hoc* indicó que no

había diferencias significativas entre la parcela cuadrada y el PCQM ( $P = 1$ ) y tampoco con la parcela circular de 0.04 ha ( $P = 0.98$ ) para ambas variables. Todos los métodos mostraron diferencias significativas en cuanto al área basal ( $F_{(4,1543)} = 41.3$ ,  $P = 0.0$ ) y la densidad de fustes ( $F_{(4,1543)} = 244.2$ ,  $P = 0.0$ ) con respecto a la clase de arbustos AG. Sin embargo, se estimó un error mínimo para ambas variables dentro de la parcela circular de 0.015 ha. Los resultados estadísticos para la clase de LR (todos los fustes) y del AG arbustivo (todos los

**Tabla 1.** Resumen del área basal y de la densidad de fustes según los métodos de muestreo en las clases de manglares *Rhizophora mangle* (RM), *Laguncularia racemosa* (LR), *Avicennia germinans* (AG) y AG arbustivo.

Clase de manglar y método	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	Área basal CV	Densidad (fustes/ha)	Densidad CV	Número de fustes	Error del área basal (%)	Error de densidad
RM–Parcela cuadrada (0.04 ha)	4.8 ± 1.7	0.4	444 ± 120	0.3	72		
RM–PCQM	4.3 ± 0.9	0.2	385 ± 74	0.2	20	–11	–13
RM–Parcela circular (0.04 ha)	4.3 ± 3.6	0.9	378 ± 214	0.6	13 ± 4	–11	–15
RM–Parcela circular (0.03 ha)	3.7 ± 1.7	0.5	333 ± 145	0.4	10 ± 4	–23	–25
RM–Parcela circular (0.015 ha)	3.4 ± 1.2	0.4	333 ± 101	0.3	6 ± 3	–29	–25
LR (>2.5 cm)–Parcela cuadrada (0.04 ha)	13.4 ± 0.5	0.0	3,225 ± 172	0.1	516		
LR (>2.5 cm)–PCQM	17.9 ± 3.0	0.2	3,909 ± 447	0.1	40	34	21
LR (>2.5 cm)–Parcela circular (0.04 ha)	12 ± 1.6	0.1	2,833 ± 427	0.2	113 ± 17	–10	–12
LR (>2.5 cm)–Parcela circular (0.03 ha)	12.3 ± 2.1	0.2	2,933 ± 416	0.1	88 ± 12	–8	–9
LR (>2.5 cm)–Parcela circular (0.015 ha)	13.5 ± 1.3	0.1	3,445 ± 234	0.1	47 ± 6	1	7
AG–Parcela cuadrada (0.04 ha)	5.7 ± 0.1	0.0	1,069 ± 24	0.0	172		
AG –PCQM	5.7 ± 1.4	0.2	1,076 ± 275	0.3	32	1	1
AG –Parcela circular (0.04 ha)	5.8 ± 2.0	0.4	1,033 ± 34	0.0	37 ± 4	2	12
AG –Parcela circular (0.03 ha)	5.1 ± 0.7	0.1	1,200 ± 241	0.2	31 ± 1	–11	–3
AG –Parcela circular (0.015 ha)	4.4 ± 0.8	0.2	917 ± 101	0.1	18 ± 4	–23	–14
AG arbustivo (>2.5 cm)–Parcela cuadrada (0.04 ha)	14.5 ± 1.1	0.1	6,269 ± 499	0.1	1,027		
AG arbustivo (>2.5 cm)–PCQM	13 ± 1.7	0.1	5,467 ± 416	0.1	56	–10	–13
AG arbustivo (>2.5 cm)–Parcela circular (0.04 ha)	16.5 ± 7.0	0.4	5,408 ± 413	0.1	216 ± 17	14	–14
AG arbustivo (>2.5 cm)–Parcela circular (0.03 ha)	13.2 ± 1.5	0.1	555 ± 329	0.1	167 ± 10	–9	–11
AG arbustivo (>2.5 cm)–Parcela circular (0.015 ha)	14 ± 0.3	0.0	5,720 ± 394	0.1	82 ± 6	–1	–9
LR (todos los fustes)–Parcela cuadrada (0.04 ha)	13.7 ± 0.5	0.0	4,500 ± 225	0.1	720		
LR (todos los fustes)–PCQM	15.2 ± 2.8	0.2	3,909 ± 447	0.1	40	11	–13
LR (todos los fustes)–Parcela circular (0.04 ha)	12.3 ± 1.6	0.1	4,100 ± 541	0.1	164 ± 22	–10	–9
LR (todos los fustes)–Parcela circular (0.03 ha)	12.7 ± 2.1	0.2	4,267 ± 367	0.1	128 ± 11	–8	–5
LR (todos los fustes)–Parcela circular (0.015 ha)	13.8 ± 1.4	0.1	4,334 ± 757	0.2	65 ± 11	1	–4

Tabla 1 (Cont.)

Clase de manglar y método	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	Área basal CV	Densidad (fustes/ha)	Densidad CV	Número de fustes	Error del área basal (%)	Error de densidad
AG arbustivo (todos los fustes)–Parcela cuadrada (0.04 ha)	14.6 ± 1.1	0.1	6,500 ± 497	0.1	1,040		
AG arbustivo (todos los fustes)–PCQM	14.1 ± 0.3	0.0	5,720 ± 394	0.1	56	–3	–12
AG arbustivo (todos los fustes)–Parcela circular (0.04 ha)	16.6 ± 7.0	0.4	5,608 ± 388	0.1	224 ± 16	14	–14
AG arbustivo (todos los fustes)–Parcela circular (0.03 ha)	13.3 ± 1.5	0.1	5,789 ± 334	0.1	174 ± 10	–9	–11
AG arbustivo (todos los fustes)–Parcela circular (0.015 ha)	13.1 ± 1.7	0.1	5,733 ± 437	0.1	86 ± 7	–10	–12

CV: Coeficiente de variación

PCQM: método del punto cuadrante central

fustes) no variaron en comparación con los resultados de los análisis anteriores cuando se consideraron los fustes mayores de 2.5 cm.

## DISCUSIÓN

Dado que los costes son elevados, inspeccionar una parcela entera de 0.16 ha podría no ser lo ideal, a menos que se trate de un monitoreo continuo o a largo plazo (Villeda-Chávez et al. 2018). Es importante seleccionar el método más fácil, rápido y fiable para obtener datos estructurales de manglares sobre el terreno con el menor número de personas posible, especialmente cuando se trabaja en grandes áreas con muchas estaciones de campo (Flores-Verdugo et al. 1992). El método de parcela circular puede llevarse a cabo rápidamente, mientras que el PCQM suele necesitar más mano de obra y requiere al menos un árbol individual en cada cuadrante. Por otro lado, el PCQM depende de un transecto lineal o semilineal según la configuración del bosque de manglar (Flores-Verdugo et al. 1990). En los análisis de este estudio, el número máximo de puntos PCQM varió de la siguiente manera: 5 en RM, 10 en LR, 8 en AG y 14 en AG arbustivo. Por lo tanto, cubrir el número mínimo de 20 puntos de muestreo a lo largo del transecto para el PCQM (Cottam y Curtis 1956) es a menudo imposible porque el bosque probablemente puede abarcar otras especies. Por ejemplo, la selección de varias parcelas circulares paralelas sobre el terreno podría ser una opción más factible, ya que los manglares marginales del sistema de Urías cubren aproximadamente 50 m desde el borde del canal de marea.

En cuanto al área basal y la densidad de fustes, los resultados indicaron diferencias entre PCQM y las 3 parcelas circulares, excepto para la clase RM. El método PCQM sobreestimó el área basal en un 34% en algunas clases de

manglares, muy probablemente debido a la alta densidad y distribuciones dispersa de los fustes (e.g., la clase LR). Hijbeek et al. (2013) también reportaron grandes diferencias de densidad de fustes con el PCQM en otros sitios debido a errores causados cuando 2 clases de manglar se mezclaron dentro del mismo transecto. Las clases de manglares semiáridos exhibieron una alta densidad de fustes que podría resultar en errores similares. Sin embargo, existen otras condiciones de manglar en áreas tropicales con áreas basales mucho mayores y densidades de fustes menores (Kovacs et al. 2010). Por lo tanto, el método PCQM podría ser adecuado en esos manglares más altos, como sugirieron Araújo y Shideler (2019) y Dookie et al. (2022).

La distribución y composición de las clases de manglar son similares a las encontradas en otras regiones del Pacífico mexicano bajo condiciones áridas y semiáridas (Kovacs et al. 2013). Por lo tanto, los resultados de este análisis de inventario de manglar en campo pueden ser utilizados en otros sitios de esta región o en otras zonas áridas o semiáridas a nivel mundial. El método que arrojó mejores resultados fue la parcela circular de 0.04 ha en lugares donde la densidad de árboles fue menor a 3,500 fustes/ha (RM y AG) y la parcela circular de 0.015 ha, donde la densidad de fustes fue mucho mayor. Además, el tiempo de muestreo necesario aumentó directamente con la cantidad de superficie muestreada (RM y AG en estado arbustivo). Sin embargo, el uso de parcelas de área de muestreo podría no ser factible en un inventario de campo cuando se evalúan manglares dispersos o bosques de dosel abierto, como los que se encuentran en ambientes degradados (Villeda-Chávez et al. 2018). Por lo tanto, la selección del método óptimo beneficiará a las estimaciones de campo de la biomasa aérea con ecuaciones alométricas diseñadas para cada especie de manglar en bosques naturales y rehabilitados. Además, estos resultados podrían ser de

suma importancia como información adicional para mejorar las estrategias de restauración y rehabilitación de manglares y como información complementaria para el desarrollo de políticas de conservación (Ávila-Flores et al. 2020). Se necesita una validación adicional de esta comparación de métodos estructurales en otros sitios de manglar con diversas composiciones fisonómicas, incluyendo petenes (suelo cárstico), áreas sobrelavadas (e.g., islas) y sistemas ribereños. Los resultados de estudios de validación adicionales proporcionarán una comprensión más completa de la aplicabilidad de los métodos a diferentes ecosistemas de manglares.

## AGRADECIMIENTOS

La investigación que condujo a estos resultados recibió financiamiento del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT, UNAM, México) bajo los acuerdos de subvención IA100218 y No IA100521. Se recibió apoyo financiero parcial del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM, México) bajo el acuerdo ICML-622. L.A. Díaz-Lara y R. Cruz-García colaboraron en la recolección de datos en campo. D. Daniel-Ramírez procesó parte de los resultados. G. Feher editó el texto en inglés. M. Reguero revisó el texto en español y los nombres taxonómicos de las especies involucradas.

Traducido al español por los autores.

## REFERENCIAS

- Araújo RJ, Shideler GS. 2019. Un paquete de R para el cálculo de parámetros estructurales de bosques de manglar utilizando métodos con y sin parcelas. *Madera Bosques*.25(1):e2511696. <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2019.2511696>
- Ávila-Flores G, Juárez-Mancilla J, Hinojosa-Arango G, Cruz-Chávez P, López-Vivas JM, Arizpe-Covarrubias O. 2020. A practical index to estimate mangrove conservation status: The forests from La Paz, Mexico as a case study. *Sustainability*. 12(3):858. <http://dx.doi.org/10.3390/su12030858>
- Cintrón G, Schaeffer-Novelli Y. 1984. Methods for studying mangrove structure. In: Snedaker SC, Snedaker JG (eds.), *The mangrove ecosystem: research methods*. Paris: Unesco. p. 91-113.
- Cottam G, Curtis JT. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecol*. 37(3):451-460. <http://dx.doi.org/10.2307/1930167>
- Dookie S, Jaikishun S, Ansari AA. 2022. A comparative study of mangroves in degraded, natural, and restored ecosystems in Guyana. *Biodivers*. 23(2):40-48. <https://doi.org/10.1080/14888386.2022.2107570>
- Ferreira AC, Morais Freire FA, Machado Rodrigues JV, Arruda Bezerra LE. 2022. Mangrove recovery in semiarid coast shows increase of ecological processes from biotic and abiotic drivers in response to hydrological restoration. *Wetlands*. 42:80. <https://doi.org/10.1007/s13157-022-01603-0>
- Flores-de-Santiago F, Kovacs JM, Lafrance P. 2013. An object-oriented classification method for mapping mangroves in Guinea, West Africa, using multipolarized ALOS PALSAR L-band data. *Int J Remote Sens*. 34:563-586. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2012.715773>
- Flores-de-Santiago F, Rodríguez-Sobreyra R, Álvarez-Sánchez LF, Valderrama-Landeros L, Amezcua F, Flores-Verdugo F. 2023. Understanding the natural expansion of white mangrove (*Laguncularia racemosa*) in an ephemeral inlet based on geomorphological analysis and remote sensing data. *J Environ Manage*. 338:117820. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117820>
- Flores-de-Santiago F, Valderrama-Landeros L, Rodríguez-Sobreyra R, Flores-Verdugo F. 2020. Assessing the effect of flight altitude and overlap on orthoimage generation for UAV estimates of coastal wetlands. *J Coastal Conserv*. 24:35. <https://doi.org/10.1007/s11852-020-00753-9>
- Flores-Verdugo F, González-Farías F, Ramírez-Flores O, Amezcua-Linares F, Yáñez-Arancibia A, Alvarez-Rubio M, Day JW. 1990. Mangrove ecology, aquatic primary productivity, and fish community dynamics in the Teacapán-Agua Brava lagoon-estuarine system (Mexican Pacific). *Estuaries*. 13:219-230. <https://doi.org/10.2307/1351591>
- Flores-Verdugo F, González-Farías F, Zamorano DS, Ramirez-García P. 1992. Mangrove ecosystems of the Pacific coast of Mexico: Distribution, structure, litterfall, and detritus dynamics. *Physiol Ecol*. 17:269-288. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-092567-7.50023-4>
- Flores-Verdugo F, Zebadua-Penagos F, Flores-de-Santiago F. 2015. Assessing the influence of artificially constructed channels in the growth of afforested black mangrove (*Avicennia germinans*) within an arid coastal region. *J Environ Manage*. 160:113-120. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.024>
- Hijbeek R, Koedam N, Khan MNI, Kairo JG, Schoukens J, Dahdouh-Guebas F. 2013. An Evaluation of Plotless Sampling Using Vegetation Simulations and Field Data from a Mangrove Forest. *PLoS ONE*. 8:e67201. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0067201>
- Kovacs JM, Flores-de-Santiago F, Bastien J, Lafrance P. 2010. An assessment of mangroves in Guinea, West Africa, using a field and remote sensing based approach. *Wetlands*. 30:773-782. <http://dx.doi.org/10.1007/s13157-010-0065-3>
- Kovacs JM, Jiao X, Flores-de-Santiago F, Zhang C, Flores-Verdugo F. 2013. Assessing relationships between Radarsat-2 C-band and structural parameters of a degraded mangrove forest. *Int J Remote Sens*. 34:7002-7019. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2013.813090>
- Salum RB, Souza-Filho PWM, Simard M, Silva CA, Fernandes MEB, Cougo MF, Junior WN, Rogers K. 2020. Improving mangrove aboveground biomass estimates using LiDAR. *Estuarine Coastal Shelf Sci*. 236:106585. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106585>
- Sokal RR, Rohlf FJ. 2012. *Biometry*, 4th Ed. New York (NY): WH Freeman and Company. 960 p.
- Tran TV, Reef R, Zhu X. 2022. A review of spectral indices for mangrove remote sensing. *Remote Sens*. 14(19):4868. <https://doi.org/10.3390/rs14194868>
- Valderrama-Landeros L, Flores-Verdugo F, Flores-de-Santiago F. 2022. Assessing the coastal vulnerability by combining field surveys and the analytical potential of CoastSat in a highly impacted tourist destination. *Geographies* 2:642-656. <https://doi.org/10.3390/geographies2040039>
- Valderrama-Landeros L, Flores-Verdugo F, Rodríguez-Sobreyra R, Kovacs JM, Flores-de-Santiago F. 2021. Extrapolating canopy phenology information using Sentinel-2 data and the Google Earth Engine platform to identify the optimal dates for remotely sensed image acquisition of semiarid mangroves. *J Environ Manage*. 279:111617. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111617>
- Valderrama-Landeros L, López-Portillo J, Velázquez-Salazar S, Alcántara-Maya JA, Troche-Souza C, Rodríguez-Zúñiga MT, Vázquez-Balderas B, Villeda-Chavez E, Cruz-López MI, Ressler

- R. 2020. Regional distribution and change dynamics of mangroves in Mexico between 1970/80 and 2015. *Wetlands*. 40:1295-1305.  
<https://doi.org/10.1007/s13157-020-01299-0>
- Valderrama-Landeros L, Flores-de-Santiago F, Kovacs JM, Flores-Verdugo F. 2018. An assessment of commonly employed satellite-based remote sensors for mapping mangrove species in Mexico using an NDVI-based classification scheme. *Environ Monit Assess*. 190:23.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-017-6399-z>
- Villeda-Chávez E, Lara AL, González-Zamorano P, Rubio EA, Valderrama L, Ramírez-García P, García-Calva L, Argüello-Velázquez J, Cruz-López MI. 2018. Muestreo de variables estructurales. In: Rodríguez-Zúñiga MT, Villeda-Chávez E, Vázquez-Lule AD, Bejarano M, Cruz-López MI, Olguín M, Villela-Gaytán SA, Flores R (eds.), *Métodos para la caracterización de los manglares mexicanos: un enfoque espacial multiescala*. Ciudad de México (Mexico): Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. p. 71-130.
- Vizcaya-Martínez DA, Flores-de-Santiago F, Valderrama-Landeros L, Serrano D, Rodríguez-Sobreyra R, Álvarez-Sánchez LF, Flores-Verdugo F. 2022. Monitoring detailed mangrove hurricane damage and early recovery using multisource remote sensing data. *J Environ Manage*. 320:115830.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115830>
- Wang M, Cao W, Guan Q, Wu G, Wang F. 2018. Assessing changes of mangrove forest in a coastal region of southeast China using multi-temporal satellite images. *Estuarine Coastal Shelf Sci*. 207:283-292.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.04.021>
- Ximenes AC, Cavanaugh KC, Arvor D, Murdiyarso D, Thomas N, Arcoverde GFB, Bispo PC, Stocken TV. 2023. A comparison of global mangrove maps: Assessing spatial and bioclimatic discrepancies at poleward range limits. *Sci Total Environ*. 860:160380.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160380>