

# Montículos de restauración: Experimento piloto para la siembra del manglar en el sector noroeste de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia

Jenny Alexandra Rodríguez Rodríguez<sup>1</sup>  
Lucía Victoria Licero Villanueva<sup>1</sup>  
Julian David Beltrán Pedraza<sup>1</sup>  
Sergio Daniel Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INVERMAR, Programa Calidad Ambiental Marina, Línea de  
Rehabilitación de Ecosistemas Marinos y Costeros

**Cita:** J. Rodríguez., L. Licero., J. Beltrán., S. Martínez. (2019)  
Montículos de restauración: Experimento piloto para la siembra del  
manglar en el sector noroeste de la Ciénaga Grande de Santa  
Marta, Colombia. Martha Molina Moreira (Comp.) Primer Congreso  
Manglares de América, Guayaquil, Ecuador

## RESUMEN

Para brindar insumos técnicos que permitan la restauración activa en zonas de la Ciénaga Grande de Santa Marta donde se ha colapsado el sustrato, se implementó un experimento piloto con montículos de restauración. El experimento fue completamente aleatorizado de dos factores con dos niveles: Exposición lumínica (plena exposición lumínica, sombra) y especie vegetal (*A. germinans* y *L. racemosa*). Se instalaron tres (3) réplicas por tratamiento. Se realizó el monitoreo de crecimiento a las plántulas (altura, diámetro No. hojas) y variables fisicoquímicas (Salinidad, pH, ORP) a los dos y tres meses de instalación. En todos los tratamientos se evidenció crecimiento en términos de altura y número de hojas, principalmente en *L. racemosa* y el mantenimiento de condiciones fisicoquímicas óptimas para el crecimiento. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de "sombra" y "plena exposición lumínica"; y la temperatura se identificó como un factor limitante para el crecimiento de las plántulas. En general, se destaca la potencialidad de la técnica para el crecimiento de plántulas en zonas perturbadas, la necesidad de implementar algunos ajustes para permitir una mayor sombra en futuros experimentos, y el seguimiento a largo plazo para observar el desempeño de los individuos.

**Palabras Clave:** manglar, experimentación, restauración, Caribe colombiano

## ABSTRACT

In order to provide technical inputs that allows active restoration in Cienaga Grande de Santa Marta where the substrate has collapsed, a pilot experiment with restoration mounds was implemented. The experiment was completely randomized with two factors and two levels: Light exposure (full light exposure, shade) and plant species (*A. germinans* and *L. racemosa*). Growth monitoring was carried out on seedlings (height, diameter No. of leaves) and physicochemical variables (Salinity, pH, ORP) at two and three months of installation. In all treatments growth was evidenced in terms of height and number of leaves, mainly in *L. racemosa* and the maintenance of optimal physicochemical

conditions for growth. No significant differences were found between the “shadow” and “full light exposure” treatments; and the temperature was identified as a limiting factor for seedling growth. In general, the technique has potential for the growth of seedlings in disturbed areas. Its needed implement some adjustments to allow greater shade in future experiments, and long-term follow-up to observe the performance of individuals.

**key words:** mangrove, experimentation, restoration, Caribbean, Colombia

## 1. Introducción

En la década de los 90, la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) se vio fuertemente afectada por interrupciones de flujo hídrico que generaron condiciones de hipersalinidad dentro del sistema. Como consecuencia, se produjo la pérdida de aproximadamente 28.570 ha de bosque de manglar y afectaciones en el recurso pesquero (INVEMAR, 2018). Una de las medidas para la rehabilitación de la CGSM fue la reapertura de algunos de los principales caños que antiguamente conectaban el sistema lagunar con el río Magdalena (Rivera-Monroy et al., 2001). Las obras culminaron en 1998, tiempo desde el cual el sistema ha venido recuperando su cobertura, alcanzando para 2013 un total de 39.535 ha. No obstante, desde 2015 hasta 2017 se perdieron 8.794,6 ha (INVEMAR, 2018), hecho que pone de manifiesto la necesidad de diseñar estrategias efectivas y adaptativas que faciliten la recuperación y estabilidad del bosque.

Ante el aumento de la salinidad en el sector noroccidental del complejo estuarino y teniendo en cuenta que los altos niveles de salinidad constituyen un factor limitante para el desarrollo del arbolado; la Corporación Autónoma Regional del Magdalena (CORPAMAG), realizó el dragado de los caños La Caleta del Tambor, Cobado, Bristol, Ahuyama y Pajalaral (Bernal et al., 2017) entre 2016 y 2017, con el fin de contribuir a la recuperación hidráulica y al mejoramiento de la calidad ambiental del sector. Los trabajos de dragado permitieron la entrada de agua dulce al sistema, con lo cual, la salinidad en el sector noroccidental disminuyó en más de 10 unidades (Bernal et al., 2017). A pesar de ello, amplias zonas degradadas siguen observándose en el sector, principalmente por el deterioro de la microtopografía que genera

zonas de inundación permanente, no aptas para el reclutamiento de nuevos individuos.

Los montículos o módulos de restauración pueden convertirse en pequeñas islas de vegetación en zonas inundadas y a la vez favorecer la conectividad estructural del sistema. Estas técnicas han tenido éxito relativo en otros lugares del mundo (Benitez et al.; 2015) y Flebes et al.; 2009).); no obstante, deben ser probadas y ajustadas a las condiciones locales donde se esperan implementar (Reis et al., 2010; Corbin y Holl, 2012; Lewis y Brown, 2014; Santos y Soto, 2017).

Con el fin de brindar insumos técnicos para la implementación de técnicas de restauración activa en zonas donde el hidroperiodo ha sido fuertemente modificado por colapso del sustrato, tal como en el sector noroccidental de la CGSM, se realizó un experimento para evaluar el efecto de luz y algunas variables fisicoquímicas en el crecimiento de plántulas de *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans* sembradas en montículos de sedimento. Los resultados preliminares permiten generar recomendaciones para el uso de la técnica en futuros programas de restauración en la CGSM y en otros sistemas estuarios con condiciones similares.

## 2. Materiales y métodos

Para seleccionar el sitio de instalación del piloto de restauración, se realizó un análisis retrospectivo con imágenes LANDSAT del sector noroccidental de la CGSM que datan de mediados de los años 80, principios de los años 90, y los años 2000 y 2010. Con estos insumos se seleccionaron sectores con pérdida histórica de manglar. Salidas de inspección fueron realizadas a los sitios preseleccionados, para evaluar variables fisicoquímicas (salinidad, temperatura, Ph y ORP), estructurales de los bosques remanentes (densidad de plántulas, distancia a la zona degradada e IVI) y asociadas con el hidroperiodo (nivel de inundación promedio, duración de la inundación y frecuencia de la inundación). Para evaluar el hidroperiodo de los sitios, un HOBO fue instalado durante un ciclo lunar completo (1 mes). Para seleccionar el sitio de instalación se privilegió aquel que exhibiera inundación permanente, menores valores de salinidad y temperatura, y menor distancia a un bosque de referencia.

Una vez seleccionado el lugar de instalación, se diseñaron e instalaron estructuras para mejorar la condición micro topográfica

del lugar. Para ello, se seleccionaron las especies dominantes del sitio seleccionado y se sembraron en sacos de fique que fueron rellenas con el sedimento propio del sitio (montículos de restauración). El llenado del saco se dio hasta el nivel de inundación de referencia del sitio, estimado mediante el método de la manguera (Lewis y Brown, 2014).

Para evaluar el efecto de la luz y las variables fisicoquímicas en el crecimiento de las plántulas sembradas sobre los montículos de restauración, se diseñó un experimento completamente aleatorizado de dos factores con dos niveles: Exposición lumínica (plena exposición lumínica (PO) y sombra (PS)) y especie vegetal (*A. germinans* y *L. racemosa*). Se instalaron tres (3) réplicas por tratamiento, entendiéndose cada tratamiento como la combinación de factor y nivel. De acuerdo al diseño, un total de 12 módulos se instalaron con 10 plántulas sembradas en cada uno. Cada plántula sembrada se consideró como la unidad experimental ( $n=120$  plántulas). Posterior a la instalación y relleno de los montículos, se procedió a la siembra aleatoria de los individuos en cada módulo. Cada individuo se marcó para su posterior seguimiento en términos de altura, número de hojas (No.) y estado fitosanitario. Adicionalmente se evaluaron variables fisicoquímicas en el agua intersticial de manglar tanto al interior de los módulos como en el agua circundante (salinidad, temperatura, pH, Potencial Oxido Reducción -ORP). El seguimiento se realizó mensualmente y en dos oportunidades después de la siembra. Para el análisis de la información se utilizó estadística y gráficos descriptivos con el fin de evidenciar algunas tendencias preliminares relacionadas con el crecimiento de las plántulas a través del tiempo. Se ejecutó un modelo lineal mixto generalizado (MLMG) para explicar el crecimiento en altura de las plántulas en función de la especie, la intensidad lumínica, el tiempo y su interacción. Finalmente se realizó un análisis de correlación entre las variables fisicoquímicas y las de crecimiento de las plántulas para analizar su dependencia. Los análisis se realizaron con el software estadístico R @ <https://www.r-project.org/>

### 3. Resultados

Cinco zonas potenciales para la instalación del experimento fueron preseleccionadas a través de la inspección de las imágenes LANDSAT. La zona seleccionada para la instalación del

## Manglares de América

experimento se caracterizó por exhibir condiciones de inundación permanente con un nivel máximo de 27,3 cm y un nivel mínimo de 7,2 cm, bajos niveles de salinidad (superficial: 6,40, intersticial: 24,03) y ORP superficial de -119,00. La distancia al bosque de referencia más cercano fue de 12 metros. Estos bosques en buen estado se caracterizaron por la dominancia de *A. germinans*, seguido de *L. racemosa* (IVI= 286 y 14 respectivamente).

Doce módulos de sedimento se instalaron de manera aleatoria en el sitio seleccionado. Los montículos fueron construidos con fique y madera y contaron con dimensiones de 118 cm de diámetro y 84 cm de alto en promedio (Figura 1). Para el caso de los tratamientos sometidos a sombra, se añadió un techo con polietileno de alta densidad (polisombra). Las estructuras fueron rellenas con el sedimento propio del sitio de estudio hasta llegar a un nivel promedio de 59cm.



Figura 1 Aspecto general del sitio de instalación del piloto y de los montículos de restauración construidos.

De acuerdo a los resultados del experimento en la zona instalada, en todos los tratamientos se evidenció crecimiento de plántulas en términos de altura (cm) y número de hojas (No.) luego de tres meses de siembra (Figura 2). Diferencias significativas tanto en número de hojas como en altura de *L. racemosa* se encontraron entre el primer y tercer mes tanto en el tratamiento de plena exposición lumínica como en el tratamiento de sombra. El

aumento en el número de hojas fue significativamente mayor en *L. racemosa* que en *A. germinans*.

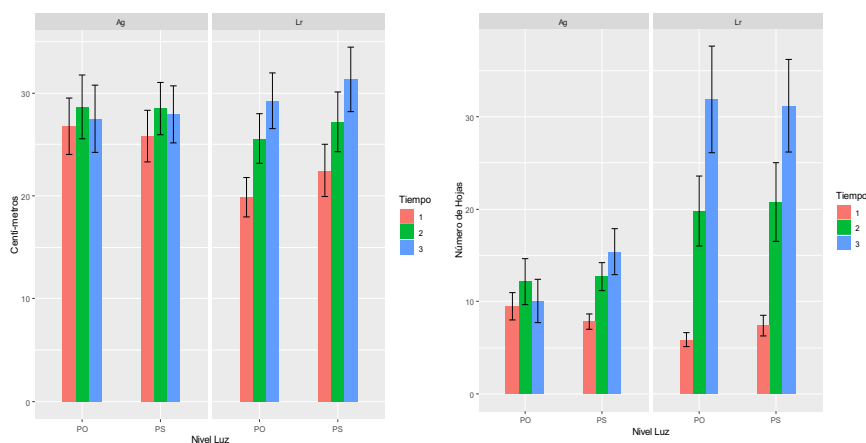


Figura 2 Cambios en altura (A) y número de hojas (B) en plántulas de *Ag* y *Lr* creciendo en montículos bajo sombra y plena exposición.

El 91% de las plántulas sembradas, permanecieron en estado "sano" hasta el primer monitoreo (tiempo 2), en todos los tratamientos. Para *A. germinans* creciendo bajo sol, se detectó la primera plántula muerta en el primer monitoreo ( $n=1$ ). Para el segundo monitoreo, la mortalidad de plántulas de *A. germinans* aumentó, reportándose un 10% en este estado, mientras que un 33% se reportaron "afectadas", la mayoría de ellas bajo el tratamiento a plena exposición lumínica. El 69% de las plántulas de *L. racemosa* permanecieron en estado "Sano", y solo una plántula reportó estado "Afectado". Los principales síntomas fitosanitarios observados durante los monitoreos estuvieron asociados a la presencia de algunas hojas secas y principalmente a la herbivoría.

El MLMG ejecutado permitió corroborar que las diferencias en altura observadas de las plántulas sembradas se explican por la especie (valor  $p=0.00201^{**}$ ), el tiempo (valor  $p=1.66e-05$ ) y el efecto del nivel de luz en cada especie (valor  $p=0.057032^{*}$ ).

El análisis de las variables fisicoquímicas medidas al interior de cada montículo permitió observar una relación negativa entre la temperatura al interior de los módulos con la altura y el diámetro, así mismo un aumento de salinidad fue relacionado con un menor número de hojas (Figura 2)

## Manglares de América

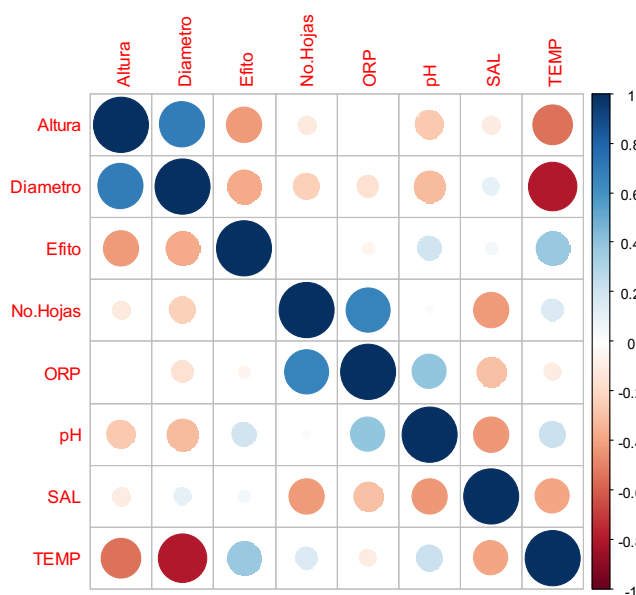


Figura 3 Análisis de correlación entre las variables de crecimiento observadas en plántulas creciendo sobre montículos de restauración y las variables fisicoquímicas del agua intersticial

#### 4. Discusión

Considerando que ligeros cambios en la configuración de terreno, pueden originar la degradación y muerte de extensas áreas de manglar (Middleton et al. 2006; Flores-Verdugo et al. 2007); la generación artificial de zonas elevadas de sedimento puede constituirse como una alternativa de restauración eficiente para la recuperación de áreas donde el sustrato ha colapsado. En este experimento la elevación de más de 50 centímetros del sustrato, mediante el apilado del sedimento en una estructura confinada, permitió conceder las condiciones necesarias para la siembra y desarrollo exitoso de plántulas de *A. germinans* y *L. racemosa* en una zona permanentemente inundada, donde históricamente ha sido inviable su recolonización natural.

Los resultados de los componentes fisicoquímicos mostraron que dentro de las unidades de muestreo (montículos de restauración), el potencial Redox tuvo valores entre -315 y -330 mV, lo que concuerda con lo reportado en la literatura para bosques de manglar con rangos de entre -110 y -400 mV, lo que se debe a la inundación permanente dentro de estos (Mitsch y Gosselink 2000). Valores de ORP menores a <-250 mV sugieren que la degradación de la materia orgánica está sucediendo en condiciones de muy



poco oxígeno (Herrera-Silveira et al 2012). Cárdenas del Angel (2014) reportó un valor de ORP promedio en núcleos de vegetación similares a los desarrollados en este proyecto con valores de -303.07 mV para la especie *Rhizophora mangle*.

Los valores de salinidad intersticial dentro de las unidades de muestreo nunca sobrepasaron las 17 unidades de salinidad lo que permitió un buen desarrollo de las plantas, encontrándose dentro de los valores óptimos para el crecimiento que han sido reportados entre las 0 y 25 unidades (López-López et al, 2016). Cuando la salinidad es superior a 70‰ provoca la disminución del desarrollo de los bosques de mangle, llegando a causar su muerte (Cintrón-Molero y Shaeffer-Novelli, 1983). Los valores de salinidad fuera de las unidades de muestreo son bajos y presentan valores similares a los encontrados superficialmente en algunas estaciones de bosque de manglar monitoreadas por el INVEMAR como Aguas Negras y Caño Grande durante sus labores de seguimiento (INVEMAR 2018). El pH observado dentro de las estructuras (Figura 15) es relativamente básico con valores en promedio desde los 7.27 a los 7.55. Para *A. germinans* no se han reportado diferencias con respecto a la biomasa con valores de pH entre 5.7 y 8, pero se ha observado que la mayor cantidad de materia seca, tallos vigorosos y mayores grados de ramificación se presenta en un pH ligeramente básico (Schnetter, 1986). En general las condiciones fisicoquímicas favorables que se observaron dentro de los montículos de restauración se mantuvieron sin una variación significativa durante los 3 meses que duró el experimento, hecho que explica el crecimiento adecuado de las plántulas en el periodo de análisis (Figura 2).

*Laguncularia racemosa*, presentó el mayor crecimiento en términos de altura y número de hojas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). De acuerdo a McKee (1995), en un ambiente rico en recursos con alta disponibilidad de luz y nutrientes, ésta especie podría tener un éxito superior a *A. germinans*, dada la resistencia a la herbívora por los altos contenidos de fenoles solubles presentes en sus hojas y sus patrones de crecimiento y particionamiento de biomasa. Consistente con ello, fue evidente el mayor impacto de la herbivoría en *A. germinans*, donde se observaron varias plántulas muertas y con afectaciones por este factor, mientras que *L. racemosa* permaneció "sano" o poco afectado.

*L. racemosa* ha sido reportada como especie pionera que domina en ambientes disturbados, principalmente por su alta capacidad de dispersión, alta tolerancia a la salinidad y capacidad estabilizadora de sustrato (Rabinowitz, 1978; Tomlinson, 1986, Smith III, 1992); este hecho junto con su buen desempeño bajo las condiciones de alta luminosidad típicas de ambientes de manglar disturbados, sugiere que esta especie podría ser utilizada favorablemente en ejercicios de restauración a mayor escala como facilitadora del proceso de sucesión.

## 5. Conclusiones

Los montículos de restauración pueden proveer el espacio físico necesario para favorecer el crecimiento y desarrollo de plántulas de manglar en zonas inundadas donde el colapso del sedimento no permite el establecimiento de nuevos individuos.

Las condiciones fisicoquímicas al interior de los módulos en términos de ORP, salinidad y pH fueron adecuadas para favorecer el crecimiento de las plántulas de mangle. Adicionalmente, el recurso hídrico durante el transcurso del experimento siempre estuvo disponible, lo que aseguró la accesibilidad del mismo para las plántulas en desarrollo.

*L. racemosa* fue la especie más exitosa en el crecimiento sobre módulos de sedimento, bajo las condiciones de la CGSM, y potencialmente puede seguir siendo usada para la reforestación de zonas degradadas con alta exposición lumínica, siempre y cuando se cuente con un nivel topográfico adecuado para su crecimiento.

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de "sombra" y "plena exposición lumínica"; y la temperatura se identificó como un factor limitante para el crecimiento de las plántulas. Esto sugiere la implementación de algunas mejoras, ajustes y variaciones en las estructuras diseñadas, con el fin de permitir una mayor sombra en futuros experimentos.

## Referencias bibliográficas

Bernal, C., Nieto, Y., Arbeláez, N., Insuasty-Osorio, F., Rodríguez-Atara, J.; Rodríguez-Rodríguez A.; Herrera, S., Constanza, R. 2017. Diagnóstico de la respuesta del ecosistema de la ciénaga grande

de santa marta a la intervención de algunos caños en el sector noreste, Informe técnico

Benítez-Pardo, D., Flores-Verdugo, F. J., Casas-Valdez, M., Hernández-Carmona, G., Valdez- Hernández, J. I., & Gómez-Muñoz, V. 2015. Forestación de isletas de dragado utilizando dos especies de mangles, en una laguna costera del Golfo de California, México. *Botanical Sciences*, 93(1), 165-174.

Cárdenas del Angel. 2014. ensayos de reforestación en un área degradada de manglar en el sitio RAMSAR No.1602. Tesis de Maestría Inédita. México: Universidad Veracruzana, Campus Tuxpan.

Cintrón-Molero, G. y Y. Schaeffer-Novelli. 1983. Introducción a la ecología del manglar. UNESCO/ROSLAC. Montevideo. 109 p

Febles-Patrón, J. L., Novelo López, J., & Batllori Sampedro, E. 2009. Pruebas de reforestación de mangle en una ciénaga costera semiárida de Yucatán, México. *Madera y bosques*, 15(3), 65-86.

Middleton, B., A. Grootjans, K. Jensen et al. 2006. Fen Management and Research Perspective: An overview. En: *Ecological studies*. R. Bobbink, B. Beltman, J.T.A. Verhoeven, D.F. Whigham (eds.). *Wetlands: Functioning, Biodiversity Conservation, and Restoration*, 191. Springer-Verlag, Berlin.

Flores-Verdugo, F., P. Moreno-Casasola, C. Agraz-Hernández et al. 2007. La topografía y el hidropereodo: dos factores que condicionan la restauración de los humedales costeros. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 80 (suplemento): 33 – 47

Herrera-Silveira, J.A., Zaldivar-Jimenez, A., Teutli-Hernández, C., Pérez-Ceballos, R., Caamal, J. y T. Andueza. 2012. Rehabilitación de manglares en el estado de Yucatán sometidos a diferentes condiciones hidrológicas y nivel de impacto: el caso de Celestún y Progreso. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados. Unidad Mérida. Informe Final SNIB-CONABIO. Proyecto GH009. México, D.F.

INVEMAR. 2018. Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe Técnico Final 2017, Volumen 16. Santa Marta 174p.+ anexos.

Lewis, R y B. Brown. 2014. Ecological mangrove rehabilitation: a field manual for practitioners. En:

## Manglares de América

<http://www.mangroverestoration.com/pdfs/Final%20PDF%20-%20Whole%20EMR%20Manual.pdf>. 151pg.

López López J.E., Morales A. S., Soberanis Paz H. F. Ramirez Posadas M.F. 2016. RESTAURACIÓN ECOLÓGICA PARTICIPATIVA DEL ECOSISTEMA DE MANGLAR EN LA RESERVA NATURAL DE USOS MÚLTIPLES MONTERRICO. Informe Final. Universidad de San Carlos de Guatemala. Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas – IIQB. Centro de Estudios Conservacionistas –CECON. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

McKee, 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

Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2000). The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological economics*, 35(1), 25-33.

Rivera-Monroy, V. H., E. Mancera-Pineda, R. Twilley, O. Casas, E. Castañeda, J. Restrepo ... y M. Villamil. 2001. Estructura y función de un ecosistema de manglar a lo largo de una trayectoria de restauración: El caso de la región de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe final, Univ. of Louisiana-Lafayette-INVEMAR, Santa Marta

Schnetter, M. (1986). La influencia del pH y de la salinidad en el crecimiento de *Avicennia Germinans* (L.) L. en cultivo hidropónico. *Caldasia*, 15(71-75), 381-391.

Smith III. 1992. Forest Structure. In: Robertson AI, AlongiDM (eds) *Coastal and estuarine studies 41: tropical Mangrove ecosystems*. American Geophysical Union, Washington, pp 101–136

Tomlinson, P. B. 1986. *The Botany of mangroves*. London: Cambridge University Press, 413 p.