

Estructura, composición florística, biomasa y carbono arriba del suelo
en los manglares Laguna de Gandoca
y Estero Moín, Limón, Costa Rica

Marilyn Manrow-Villalobos¹
Braulio Vilchez-Alvarado²

Resumen

Se delimitó el área de dos manglares del Caribe Sur de Costa Rica, se analizó su estructura horizontal y vertical y la composición florística. Se cuantificó la biomasa y el carbono arriba del suelo respecto al gradiente de distanciamiento al borde del canal; en ambos sitios. Sobre transeptos perpendiculares al borde del canal, se establecieron parcelas circulares de siete metros de radio, dispuestas cada 25 m. Se evaluó el diámetro (d) de cada individuo mayor a 5 cm (a 1,30 m del suelo o arriba de la raíz más alta de los individuos con raíces aéreas). Se determinó la densidad de árboles (árboles/ha), el área basal (m²/ha), la distribución de los individuos por clase diamétrica, la altura total (m), la densidad de árboles por pisos de altura, el índice de valor de importancia de las especies, los índices de diversidad de Shannon-Wiener (H') y Alpha de Fisher, la biomasa y la reserva de carbono arriba del suelo. Se utilizó un diseño experimental de bloques incompletos al azar (BIA). Se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) y pruebas Duncan. El área delimitada del manglar de Gandoca fue de 13,34 ha y

Abstract

Structure, floristic composition, aboveground biomass and carbon stock, in Laguna de Gandoca and Estero Moín mangroves, Limón, Costa Rica. The area of two Southern Caribbean mangroves of Costa Rica was delimited. Horizontal and vertical structure, floristic composition, above-ground biomass and carbon stock were analysed in respect to the distance gradient from the channel edge. Circular plots of seven meter radius were established every 25 m on perpendicular transects from the channel edge. Tree diameter (d) of each individual ≥ 5 cm was measured. In each plot the following parameters were calculated: tree density (n/ha), basal area (m²/ha), diameter class distribution of individuals, total height (m), tree densities per height storey, importance value index of species (IVI), Shannon-Wiener (H') diversity index, Fisher Alpha diversity index, above-ground biomass and carbon stock. An incomplete random block experimental design (IRBD) was employed for the statistical analysis. The mangrove surface areas were 13,34 ha and 10,73 ha for Gandoca and Moín

1. Escuela de Ing. Forestal (Estudiante) – Instituto Tecnológico de Costa Rica. detierra@gmail.com

2. Escuela de Ing. Forestal - Instituto Tecnológico de Costa Rica. Tel: (506) 2550-2288, bvilchez@itcr.ac.cr

10,73 ha en Moín. En Gandoca y Moín se encontraron diámetros promedio de los árboles de 21,43 cm y 20,01 cm, alturas totales promedio de 12,8 m y 10,5 m, densidades de 687 árboles/ha y 708 árboles/ha, áreas basales de 26,35 m²/ha y 26,37 m²/ha respectivamente. La especie más importante en Gandoca fue *Rhizophora mangle* y en Moín *Pterocarpus officinalis*. En ambos sitios también se encontraron *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans* junto a otras 20 especies asociadas. El sitio más diverso fue Moín. La biomasa fue de 330,27 Mg/ha y 257,10 Mg/ha, el carbono fue de 153,25 Mg/ha y 119,29 Mg/ha para Gandoca y Moín respectivamente. La composición florística y las variables estructurales se asemejaron a otras reportadas en manglares del Caribe y sugieren que los manglares estudiados son maduros y se encuentran en constante renovación; sin embargo, Moín presenta un grado de disturbio mayor. Las reservas de biomasa y carbono superaron a las reportadas para bosques secundarios y primarios de Costa Rica y las de algunos manglares del Indo - Pacífico. El manglar de Gandoca presentó un aumento de área, con respecto a lo reportado por Coll *et al.* (2001), para el manglar de Moín no se encontraron registros anteriores de este dato, por lo que este estudio no reporta aumento o disminución del área.

Palabras clave: manglares, estructura, composición florística, fijación de carbono, biomasa, Laguna de Gandoca, Estero Moín, Limón, Costa Rica.

Introducción

Los manglares son ecosistemas de zonas litorales tropicales y subtropicales, localizados en la franja intermareal de áreas protegidas por la acción directa del oleaje. Se caracterizan por poseer suelos planos y fangosos, inundados por las mareas y con altas concentraciones de salinidad. En ellos habitan especies de árboles, arbustos y otras plantas con adaptaciones especiales, que les permiten desarrollarse en estas condiciones (Mainardi 1990, Pizarro *et al.* 2004). Además, estos sitios juegan un papel importante en el ciclo de vida de especies de aves, peces, crustáceos, moluscos y otros organismos (Jiménez 1994). Laffoley y Grimsditch (2009) mencionan que las raíces de los mangles estabilizan los suelos, reducen la erosión y la contaminación en las costas, y así permiten la existencia de los arrecifes de coral. En el Caribe se ubican los arrecifes más desarrollados de Costa Rica y se encuentran al sur de la costa, desde Moín hasta Punta Mona (Who 2001).

Los manglares representan una fuente económica importante para las comunidades aledañas, que dependen de la pesca artesanal para su subsistencia (Bossi y Cintrón 1990). Además, funcionan como una

respectively. The tree average diameters were 21,43 cm and 20,01 cm, while the total tree height were 12,8 m and 10,5 m, with tree densities of 687 n/ha and 708 n/ha, and basal areas ranging 26,35 m²/ha and 26,37 m²/ha in Gandoca and Moín sites respectively. The most important specie in Gandoca was *Rhizophora mangle* and *Pterocarpus officinalis* in Moín. *Laguncularia racemosa* and *Avicennia germinans* with 20 other associated species were also observed in both sites. Moín was the most diverse one. The biomass was 330,27 Mg/ha and 257,10 Mg/ha while the carbon stock was 153,25 Mg/ha and 119,29 Mg/ha, for Gandoca and Moín respectively. Floristic composition and structure were similar to those reported in the Caribbean and suggest that both sites are mature and in constant renewal; however Moín shows some disturbance. The biomass and carbon stocks are higher than those reported for secondary and primary forests of Costa Rica and also for other mangroves of the Indo - Pacific. The mangrove of Gandoca showed an area increment. The Moín mangrove has not information about area variation because there was no previous estimation of surface area.

Key words: mangroves, structure, floristic composition, carbon storage, biomass, Laguna de Gandoca, Estero Moín, Limón, Costa Rica.

línea protectora ante la erosión del oleaje y los huracanes y tienen la capacidad de almacenar grandes cantidades de biomasa y carbono. Por esta razón forman parte de los ecosistemas más importantes en la mitigación del cambio climático (Lafolley y Grimsditch 2009, Kauffman 2010, Bouillon 2009 y 2011, Donato *et al.* 2011)

En la costa Caribe se encuentra aproximadamente el 1% del los manglares de Costa Rica. Se han identificado bosques de mangle en Tortuguero, Moín, Westfalia, Cahuita, y Gandoca. Sin embargo, no existe documentación que reporte el área exacta de estos sitios (Pool 1977, Coll *et al.* 2001, Pizarro *et al.* 2004, Zamora 2006). Debido a la falta de información y a la especulación sobre el área tan pequeña que representan estos bosques, se podría decir que se trata de un ecosistema frágil (Bossi y Cintrón 1990, Pizarro *et al.* 2004, Zamora 2006). Guariguata y Katan (2002) mencionan que la reducción de la cobertura boscosa, así como la fragmentación de ecosistemas son factores determinantes en los patrones de extinción de especies.

A nivel nacional se han desarrollado diversos estudios relacionados con los manglares; sin embargo, son pocos los que se han realizado en la zona Caribe (Pool *et al.* 1977, Jiménez 1994, Coll *et al.* 2001, Fonseca 2006, Zamora 2006).

El presente estudio tiene como objetivos delimitar el área, evaluar la estructura y composición florística, así como cuantificar la biomasa y el carbono arriba del suelo, respecto al gradiente de distanciamiento al borde del canal, en los manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín, Limón, Costa Rica.

Materiales y métodos

Área de estudio: Los manglares estudiados se encuentran en la costa caribe Sur de Costa Rica, que se extiende desde el cantón central de la Provincia de Limón hasta el Río Sixaola, en la frontera con Panamá (IMN 2008) (Figura 1).

El Manglar Laguna de Gandoca se encuentra en el cantón de Talamanca, dentro del Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca- Manzanillo (REGAMA) entre los 9°35'23" N y 82°35'54"O (Coll *et al.* 2001). De acuerdo con Bossi y Cintrón (1990), este bosque de mangle posee una formación de tipo riverino y se ha desarrollado en parches alrededor de la laguna de Gandoca, ubicada dentro del refugio. Coll *et al.* (2001) reportaron un aumento del área del manglar de 4,1 ha en 1976 a 12,5 ha en el 2000. En cuanto a aspectos biofísicos, se presentan dos estaciones lluviosas, una de noviembre a marzo y otra de junio a agosto; el microclima se caracteriza por lluvias nocturnas y amplios períodos de sol durante el día (Herrera 1985). La tasa de precipitación anual es de 2749,3 mm/año según Fonseca (2006) y la temperatura media es de 25,8° C (ITCR 2008). Los suelos son Entisoles y están formados por sedimentos aluviales del Valle del Río Sixaola (CCT 1989). Se ubica en la zona de vida Bosque húmedo Tropical Piso Basal según la clasificación de Holdridge (Holdridge 1987). En cuanto a la vegetación nuclear, han sido reportadas las especies *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Conocarpus erecta* (mangle botoncillo), tierra adentro los manglares gradualmente dan paso al bosque tropical lluvioso (Coll *et al.* 2001). El REGAMA forma parte de uno de los 11 sitios RAMSAR de Costa Rica (Wetlands International 1995). Este sitio representa uno de los principales hábitats de crianza del sábalo (*Megalops atlanticus*) (Chacón 1993) y el manatí (*Trichechus manatus*) (TNC 1998) y tiene el único banco natural de la ostra de mangle (*Crassostrea rhizophorae*) en el Caribe de Costa Rica. Además, la playa Gandoca es uno de los principales sitios de anidamiento para la tortuga baula (*Dermochelis coriacea*) (Chacón 1999).

El Manglar de Estero Moín se encuentra en el cantón central de la provincia de Limón, entre los 10°00'23" N y 83°03'54"O. El estero posee una extensión aproximada de 12 kilómetros, sobre el cual se han establecido varios parches de manglar en conjunto con otras asociaciones vegetales tales como el bosque húmedo tropical y



Figura 1. Ubicación geográfica de los Manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín Limón, Costa Rica, 2011. Fuente: Atlas Digital 2008.

rodiales puros de *Pterocarpus officinalis*. Para efectos de este estudio únicamente fueron muestreados tres parches de manglar ubicados entre la desembocadura del Estero Moín y la boca del Río Blanco (Atlas Digital 2008). El manglar posee una formación de tipo riverino según Bossi y Cintrón (1990). Este manglar no se encuentra dentro de ningún área silvestre protegida; sin embargo, tiene conectividad con el Corredor Biológico Moín-Tortuguero (SINAC 2008). En cuanto a los aspectos biofísicos, la precipitación media anual es de 4000 mm/a y la temperatura promedio de 28,5 °C (ITCR 2004). Posee suelos entisoles y se encuentra sobre los cordones litorales de las llanuras del Atlántico Norte (CCT 1989). Según la clasificación de Holdridge (1987) el sitio se encuentra dentro de la zona de vida Bosque Muy Húmedo Premontano Transición Basal. La vegetación nuclear se caracteriza por la presencia de *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) en asociación con *Pterocarpus officinalis* (sangrillo) y *Acrostichum aureum* (helecho de manglar (Poll *et al.* 1977).

Delimitación del área: Se procedió a la georeferenciación de fotografías aéreas escala 1 : 2500, tomadas por la Misión Carta 2005, (PRIAS 2005). Se utilizaron puntos de control tomados en campo con un GPS Garmin e-trex, hojas cartográficas de Costa Rica 1 : 50000 tituladas Sixaola (136), Moín (130) y Río Banano (131). Además, las capas de calles del Atlas Digital de Costa Rica (2014 en prep). Se calculó el área de cada manglar según el número de parches que poseía y según diferentes distanciamientos al borde del canal (22,5, 47,5, 72,5, 97,5 y > 97,5 m). Los puntos centrales de estos distanciamientos corresponden a D₁₀, D₃₅, D₆₀, D₈₅, D_{>110}, respectivamente (ver el apartado diseño de muestreo). Para los procedimientos anteriores fue utilizado el Software de geoprocésamiento ArcGIS 10.0 de ESRI.

Diseño de muestreo: Se utilizó la metodología empleada por Murdiyarso *et al.* (2009) y Donato *et al.* (2011) en estudios de estructura y biomasa de manglares en el Indo-Pacífico (Indonesia y Micronesia). Se establecieron 32 transectos de longitud variable (20 en Gandoca y 12 en Moín), perpendiculares al borde del río o canal, sobre los cuales se disponían 61 parcelas circulares (40 en Gandoca y 21 en Moín) de siete metros de radio (153,86 m²), cada 25 m. El punto central de cada parcela se ubicó sobre el transecto. Se fijó el cero en el borde del canal y se estableció la primera parcela a los 10 m; las siguientes parcelas cada 25 m (10, 35, 60, 85, 110 y 135) hasta completar la colocación de parcelas en cada transecto, dependiendo de la longitud de los transectos. La distancia entre transectos varió según la longitud del borde de los parches y las posibilidades de acceso. La intensidad de muestreo fue de 4% del área total de cada manglar, aproximadamente. En el caso de Gandoca, se identificaron los parches de manglar con las letras A, B, C, D, E, FG, H, I y J (Figura 2), con base en un estudio de fotointerpretación y caracterización realizado por Coll *et al.* (2001). Se siguió la misma nomenclatura en el manglar de Moín.

Inventario de árboles: Se midió el diámetro (d) a 1,30 m del suelo de cada individuo mayor o igual a 5 cm (d ≥ 5 cm). En el caso de individuos con raíces aéreas la medición se realizó arriba de la raíz más alta, de acuerdo con Cintrón y Schaeffer (1984) y Murdiyarso *et al.* (2009). Se estimó el dato de altura de acuerdo con la metodología CARICOMP (2004), con una vara graduada o mediante la estimación visual cuando la cobertura de copas fuera densa. Se determinó la especie para todos los árboles medidos. Los árboles ubicados en los límites de la parcela fueron considerados en el muestreo siempre y cuando la mitad del tronco se encontrara dentro de la parcela. Cuando un árbol presentó varios tallos, se midió cada uno y luego se calculó el diámetro cuadrático (raíz cuadrada de la sumatoria de los diámetros de cada tallo) del individuo. Se consideraron especies de mangle a todos los árboles de *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. En el grupo de especies asociadas se introdujo a todos los individuos de varias familias que coexistían en esos ecosistemas.

Análisis de datos: Para caracterizar la estructura horizontal se siguió el método de Lamprecht (1990) y Louman y Nilsson (2001). Se calculó el área basal (G) y el número de individuos (N) por hectárea. Se calculó el índice de valor de importancia (IVI) de las especies presentes (Curtis y McIntosh 1951). Además, se graficó la distribución diamétrica del número total de individuos por hectárea, por sitio, por D_c y por especie. Para determinar la estructura vertical se utilizó la metodología de IUFRO (Leibundgut 1958, citada por Lamprecht 1990), en la cual se definen tres estratos de altura a partir de la altura superior del dosel de cada sitio. El análisis de la composición florística se realizó según la metodología

propuesta por Melo y Vargas (2002). Se calcularon los índices de diversidad de Shannon–Wiener (H') y Alpha de Fisher utilizando el software Past 2.09 (Harmer *et al.* 2001). Finalmente se realizó un análisis de conglomerados para resumir el comportamiento de las variables de estructura y composición florística de acuerdo con el gradiente de distanciamiento al borde del canal, utilizando el software InfoStat-e (Di Rienzo *et al.* 2011).

La biomasa arriba del suelo fue estimada por medio del método alométrico, un método no destructivo que permite estimar parte o la biomasa total de un árbol por medio de ecuaciones alométricas ajustadas para distintas especies o géneros. Para las especies de mangle se usó la ecuación desarrollada por Komiyama *et al.* (2005), la cual utiliza como variables independientes la densidad de la madera por especie y el diámetro del árbol (ver Ecuación 1). Para las otras especies, se utilizó la ecuación desarrollada por Ortiz (1997) para especies de bosques naturales, con base en la altura y diámetro del individuo (ver Ecuación 2).

Ecuación 1

$$Bt=0,251p*D^{2,46}$$

Bt = Biomasa total arriba del suelo (Kg/árbol)

p= densidad de la madera por especie: *Rhizophora mangle*: 0,80 (Richter y Dallwitz 2000). *Laguncularia racemosa*: 0,762 y *Avicennia germinans* 0,759 (MARENA 1994).

D = Diámetro a 1,30 m del suelo o arriba de la raíz más alta.

Ecuación 2

$$Bt=0,01689*(d)^{1,6651}(h)^{1,4412}$$

Bt = Biomasa total arriba del suelo (Kg/árbol)

h = Altura en metros (m)

d = Diámetro a 1,30 m de altura en centímetros

La cuantificación de la reserva de carbono se realizó únicamente en la biomasa arriba del suelo (Bas) de los fustales del manglar (d ≥ 5 cm), de acuerdo con Pearson *et al.* (2007). Una vez que se obtuvo la biomasa en megagramos (1 Mg = 1 ton), esta se multiplicó por un factor de conversión para obtener el contenido de carbono. En este estudio se utilizó un factor conservador de 0,464 g C por 1 g de biomasa, utilizado por Murdiyarso *et al.* (2009), Donato *et al.* (2011) Kauffman *et al.* (2010 y 2011).

Se ejecutaron pruebas de Shapiro-Wilks y de Levene sobre los residuos de los promedios de las variables diámetro, número de individuos, área basal, altura total, biomasa y carbono arriba del suelo, para comprobar la normalidad de las distribuciones y la homocedasticidad de las varianzas. Para analizar el comportamiento de

los manglares de acuerdo con el gradiente de distancia con respecto al borde del canal, se realizaron análisis de varianza para las diferentes variables, utilizando un Diseño en Bloques Incompletos al Azar (DBIA), donde los bloques fueron los dos sitios (Gandoca y Moín), los tratamientos fueron los distanciamientos (D_c) y las repeticiones las parcelas o unidades de muestreo (UM). Se aplicaron pruebas estadísticas Duncan, para comprobar si existían diferencias significativas en las variables analizadas entre cada sitio y a nivel de D_c . Se consideró un nivel de confiabilidad de 95% ($\alpha = 0.05$) y se utilizó el software InfoStat-e (Di Rienzo *et al.* 2011).

Resultados

Delimitación del área

La Figura 2 muestra los diferentes parches delimitados para el manglar de Gandoca de acuerdo con los distanciamientos al borde del canal.

El bosque de mangle se encuentra rodeado por una asociación de yolillo con árboles aislados, seguida por el bosque tropical. En los bordes de la laguna se suele encontrar manchas de helecho de manglar *Acrostichum aureum*. En este sector se delimitaron nueve parches de manglar, siete de ellos (A, B, C, D, E, FG y H) reportados por Coll *et al.* (2001) desde el año 1977, dos nuevos (I y J) encontrados en este estudio y cercanos al H.

El Cuadro 1 resume la información del área total delimitada del manglar de Gandoca, por parche y por distanciamiento del borde del canal.

Los parches más pequeños son H, I y J, seguidos por A, B y D con menos de 2 ha. Los parches más grandes son C y FG. La mayor parte del área de este manglar se concentra en los primeros 22,5 m.

En el año 2001 Coll *et al.* reportaron un aumento del área de este manglar de 4,5 a 12,5 ha, entre los años

Cuadro 1. Área delimitada de manglar (ha), por parches y distancia al borde del canal de la Laguna de Gandoca. Limón, Costa Rica, 2011.

| Parche | Distancia al borde del canal (m) | | | | | Total |
|--------|----------------------------------|------|------|------|-------|-------|
| | 22.5 | 47.5 | 72.5 | 97.5 | >97.5 | |
| A | 0,84 | 0,35 | 0,03 | | | 1,21 |
| B | 0,46 | | | | | 0,46 |
| C | 0,67 | 0,66 | 0,58 | 0,56 | 0,61 | 3,08 |
| D | 0,67 | 0,28 | | | | 0,94 |
| E | 1,08 | 0,42 | 0,04 | | | 1,53 |
| FG | 2,40 | 1,69 | 1,10 | 0,57 | 0,13 | 5,88 |
| H | 0,18 | | | | | 0,18 |
| I | 0,03 | | | | | 0,03 |
| J | 0,03 | | | | | 0,03 |
| Total | 6,33 | 3,39 | 1,74 | 1,13 | 0,74 | 13,34 |

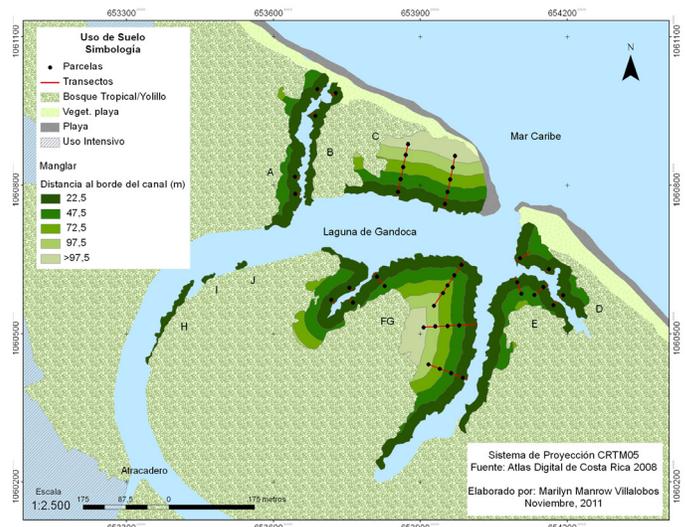


Figura 2. Uso de suelo en las áreas circundantes y parches de manglar en la Laguna de Gandoca, Limón, Costa Rica, 2011. Fuente: Atlas Digital 2008.

1976 y 2000, alrededor de 0,3 ha por año. El área total de este manglar aumentó de 12,5 ha en el año 2000 (Coll *et al.* 2001) a 13,34 ha en la medición del presente estudio, el cual utilizó una fotografía aérea de la Misión Carta 2005 (PRIAS 2005), lo que representa 0,2 ha/año aproximadamente o un aumento del 7% respecto al área anterior. El mayor crecimiento del área se dio en el borde, entre el canal de agua y los parches de vegetación. El área pudo ser aún mayor; sin embargo, los vecinos del lugar indican que fuertes incrementos en las lluvias en enero del 2005 provocaron que gran parte del parche C desapareciera; lo cual se pudo comprobar en el campo ya que este parche posee expuesta parte de la franja interna, donde suele existir una asociación con helecho de manglar (*Acrostichum aureum*). Otro cambio observado fue la unión de los parches F y G en la parte interna del canal, por esta razón estos parches se evaluaron conjuntamente y se les llamó FG.

La Figura 3 muestra los diferentes usos del suelo y los parches de manglar en las regiones circundantes al Estero Moín.

En el caso de Moín, los manglares se encuentran mezclados con un bosque ribereño, dominado por *Pterocarpus officinalis*. A orillas del estero las especies de mangle forman franjas o parches alargados más homogéneos. Se delimitaron tres parches (A, B y C). En el parche A la cobertura se delimitó hasta los 22,5 m al borde del canal. Luego de esta distancia, la cobertura correspondió a bosque ribereño intervenido. En los parches B y C el manglar se delimitó hasta los 47,5 m, después de esta distancia se presentó un bosque ribereño con árboles de mangle en menor proporción (grupos de árboles viejos aislados, de *R. mangle* y *A. germinans*).

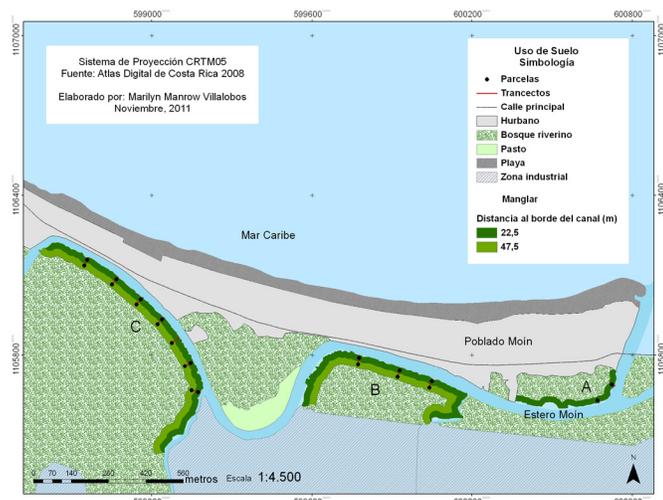


Figura 3. Uso de suelo en las áreas circundantes y parches de manglar en Estero Moín, Limón, Costa Rica, 2011.

El Cuadro 2 resume la información del área total delimitada del manglar de Moín, por parche y por distanciamiento al borde del canal.

El parche A es el más pequeño con aproximadamente 1 ha. Los parches B y C tienen un área total similar, con aproximadamente 5 ha cada uno. De este manglar no existe documentación cartográfica anterior, por lo cual no se puede brindar datos de incrementos o disminución del área.

Estructura Horizontal

El Cuadro 3 resume los valores promedio y el error estándar de las variables diámetro, número de individuos y área basal de los manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín según los distanciamientos al borde del canal (D_c).

Cuadro 2. Área (ha) delimitada del manglar por parches y por distanciamientos al borde del canal en Estero Moín, Limón, Costa Rica, 2011.

| Parche | Distancia al borde del canal (m) | | Total |
|--------------|----------------------------------|-------------|--------------|
| | 22,5 | 47,5 | |
| A | 1,06 | | 1,06 |
| B | 2,21 | 2,12 | 4,33 |
| C | 2,53 | 2,81 | 5,33 |
| Total | 5,80 | 4,93 | 10,73 |

Se encontró normalidad y homocedasticidad en todas las variables de respuesta: diámetro, número de individuos, área basal, altura total, biomasa y carbono arriba del suelo. El diámetro promedio y el error estándar fueron respectivamente, en el manglar de Gandoca de $21,43 \pm 1,50$ cm y en Moín de $20,01 \pm 1,62$ cm. Estos valores fueron estadísticamente similares según el análisis de varianza ($F= 0,35$, $p= 0,5547$, $n= 61$). El análisis de varianza mostró que no existen diferencias significativas en el diámetro del manglar de Gandoca entre los diferentes D_c al borde del canal ($F= 1,65$, $p= 1,1831$, $n= 40$), sin embargo al aplicar las pruebas Duncan a estos datos si se encontraron diferencias. El diámetro promedio en $D_{>110}$ difiere con los valores encontrados en los demás distanciamientos, excepto con D_{60} . En Moín no se reflejaron diferencias entre distanciamientos, según el análisis de varianza ($F= 1,44$, $p= 1,245$, $n= 21$). Al comparar los diámetros entre sitios y distanciamientos no se encontraron diferencias en D_{10} ($F= 0,67$, $p= 0,4206$, $n= 30$), ni en D_{35} ($F= 0,94$, $p= 0,3468$, $n= 17$).

Cuadro 3. Diámetro (d), número de árboles (N), área basal (G), error estándar (EE) y pruebas Duncan *, según distanciamientos al borde del canal (D_c) en los manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín. Limón, Costa Rica. 2011.

| Manglar/ D_c | d (cm) | | | N (árboles/ha) | | | G (m^2/ha) | | |
|----------------|--------|-------|----|----------------|-----|----|----------------|------|----|
| | Media | EE | D | Media | EE | D | Media | EE | D |
| Gandoca | | | | | | | | | |
| 10 | 19,50 | 10,82 | ab | 892 | 103 | A | 32,92 | 2,01 | a |
| 35 | 28,86 | 7,43 | b | 472 | 91 | Ab | 20,20 | 4,51 | b |
| 60 | 21,65 | 2,57 | ab | 541 | 149 | Ab | 24,30 | 5,49 | ab |
| 85 | 21,60 | 3,21 | ab | 624 | 114 | Ab | 24,38 | 3,68 | ab |
| >110 | 15,60 | 1,73 | a | 282 | 57 | B | 6,48 | 2,53 | c |
| Media | 21,43 | 1,50 | A | 687 | 66 | A | 26,35 | 1,92 | A |
| Moín | | | | | | | | | |
| 10 | 18,18 | 1,60 | a | 880 | 881 | A | 25,22 | 5,06 | a |
| 35 | 22,03 | 22,03 | ab | 520 | 266 | Ab | 27,63 | 6,02 | b |
| Media | 20,01 | 20,01 | A | 708 | 151 | A | 26,37 | 3,81 | A |

* Medias con una letra común, son estadísticamente similares ($p > 0,05$). Letras mayúsculas corresponden a comparaciones entre media general (manglar) y minúsculas a pruebas entre D_c e interacción D_c /manglar.

El manglar de Gandoca presenta un promedio de 687 árboles/ha con un error estándar de 66 árboles/ha y en Moín 708 árboles/ha con un error estándar de 151 árboles/ha, valores estadísticamente similares ($F=0,02$, $p=0,8780$, $n=60$).

En Gandoca, el número de árboles según Dc, mostró diferencias significativas luego de realizar un análisis de varianza a los datos obtenidos ($F=13,12$, $p=0,0268$, $n=40$). Las diferencias corresponden al $D_{>110}$, el cual posee el menor número de árboles respecto al D_{10} . En Moín, el número de árboles fue estadísticamente similar a nivel Dc ($F=1,44$, $p=0,2446$, $n=21$). Al comparar el número de árboles entre sitios y distanciamientos no se encontraron diferencias en D_{10} ($F=2,5E^{-3}$, $p=0,9606$, $n=30$), ni tampoco en D_{35} ($F=0,09$, $p=0,7666$, $n=17$).

En Gandoca el área basal promedio y el error estándar fueron $26,35 \pm 12,16$ m²/ha, respectivamente. En el caso de Moín, este valor alcanzó los $26,37 \pm 17,47$ m²/ha. Ambos valores resultaron estadísticamente similares ($F=2,6E^{-5}$, $p=0,9960$, $n=60$). En Gandoca las áreas basales en los diferentes Dc mostraron diferencias significativas ($F=5,85$, $p=0,0010$, $n=40$). Desde D_{10} a D_{85} el área basal es estadísticamente similar, sin embargo a D_{35} hay una leve disminución en esta variable. $D_{>110}$ fue el sitio con menor área basal. En Moín, el área basal promedio de los dos distanciamientos fue estadísticamente similar ($F=0,09$, $p=0,7618$, $n=21$). Al comparar el área basal entre sitios y distanciamientos no se encontraron diferencias en D_{10} ($F=2,75$, $p=0,1085$, $n=30$), ni tampoco en D_{35} ($F=0,83$, $p=0,3771$, $n=17$).

La Figura 4 muestra las distribuciones por categoría diamétrica del número de individuos promedio por hectárea (N/ha) en los manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín.

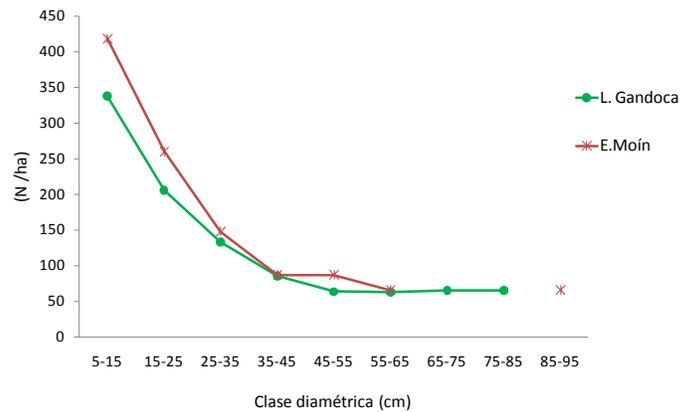


Figura 4. Distribución diamétrica del número de individuos promedio (N/ha) en los manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín. Limón, Costa Rica. 2011.

Gandoca muestra un comportamiento de J invertida ($J_{inv.}$), donde el 35% de los árboles se ubicó en las clases entre 5 y 35 cm. La clase diamétrica mayor fue la de 75-85 cm. En Moín se encontró un comportamiento similar de $J_{inv.}$, con un 37% de los individuos ubicados en las clases menores a 35 cm. No hubo individuos en las clases de 65 a 85 cm, pero sí en la clase 85 a 95 cm.

Las Figura 5 muestra la distribución diamétrica del número de individuos según la distancia al borde del canal en los sitios estudiados.

En Gandoca, el comportamiento en $J_{inv.}$ se mantuvo en todos las Dc. La distancia D_{35} presentó una baja en la categoría inferior y ausencia de plantas en la clase 45-55 cm. En el caso de Moín, la D_{10} mostró el comportamiento en $J_{inv.}$ y D_{35} tiene un ligero incremento en los individuos de la categorías entre 25-35 y 45-55, sin embargo faltan árboles en las clases que van desde 65 a 85 cm.

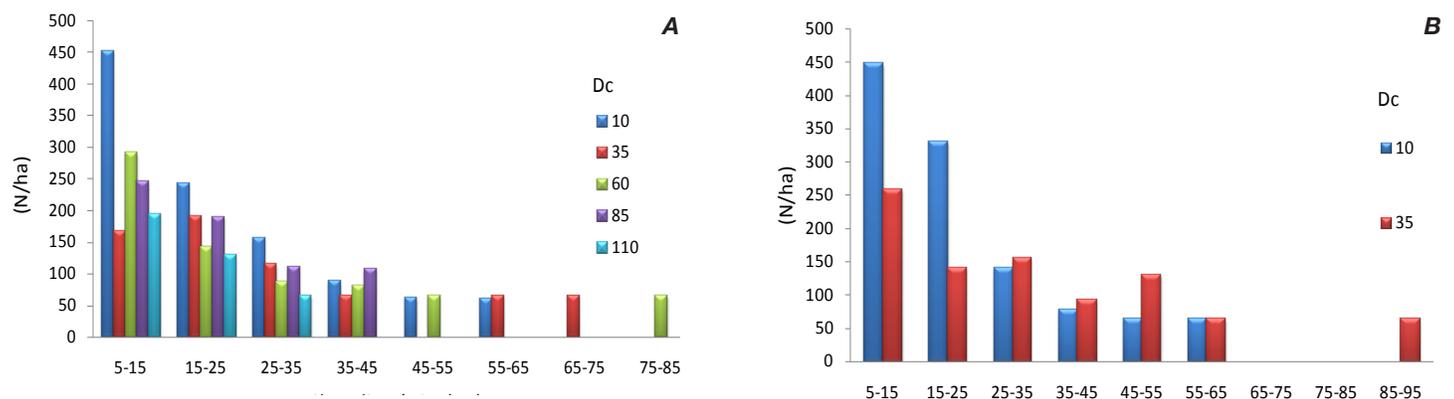


Figura 5. Distribución diamétrica (cm) del número de individuos promedio (N/ha) según distanciamientos al borde del canal (Dc). Manglares Laguna de Gandoca (a) y Estero Moín (b). Limón, Costa Rica. 2011.

Las Figura 6 muestra la distribución diamétrica del número de individuos por especies de mangle y otros árboles asociados en los sitios estudiados

En Gandoca, la distribución diamétrica por especie destacó el comportamiento en forma de J_{inv} de las especies de mangle *L. racemosa* y *R. mangle*, siendo esta última la que alcanzó los mayores diámetros. Las especies asociadas, se ubicaron siempre en las clases inferiores (d menor a 25 cm) representadas con muy pocos individuos. En Moín las especies de mangle reflejaron estructuras irregulares, sin embargo en las especies *R. mangle* y *L. racemosa* el número de árboles en la clase de 5 a 15 cm fue inferior que en las clases de 15 a 35 cm y las clases mayores a 35 cm estuvieron representadas por muy pocos árboles. *A. germinans* mostró individuos en todas las clases, excepto de 55 a 75 cm, además las clases estaban representadas por muy pocos individuos. Las especies asociadas presentaron un patrón similar al manglar de Gandoca a excepción del *P. officinalis* que mostró un claro comportamiento en J_{inv} , con una estructura disetánea y diámetros hasta 47 cm.

El Cuadro 4 resume el índice de valor de importancia (IVI) de las diferentes especies encontradas en el manglar Laguna de Gandoca.

La especie más importante fue *R. mangle* seguida por *L. racemosa*. Las especies menos importantes pertenecen al grupo de las asociadas. Entre ellas *P. officinalis*, *Erythrina poeppigiana*, *Thevetia ahouai*, *Spondias mombin*, *Hieronyma alchorneoides* y *Amphitecna latifolia*.

El Cuadro 5 resume el índice de valor de importancia (IVI) de las diferentes especies encontradas en el manglar Estero Moín. Aquí, la especie más importante fue la especie asociada *P. officinalis*, seguida por los mangles *R. mangle*, *L. racemosa*, y *A. germinans*.

Las especies menos importantes pertenecen al grupo de las asociadas. Entre ellas *Zygia latifolia*, *Lonchocarpus glabrecens* y *Salacea sp.*

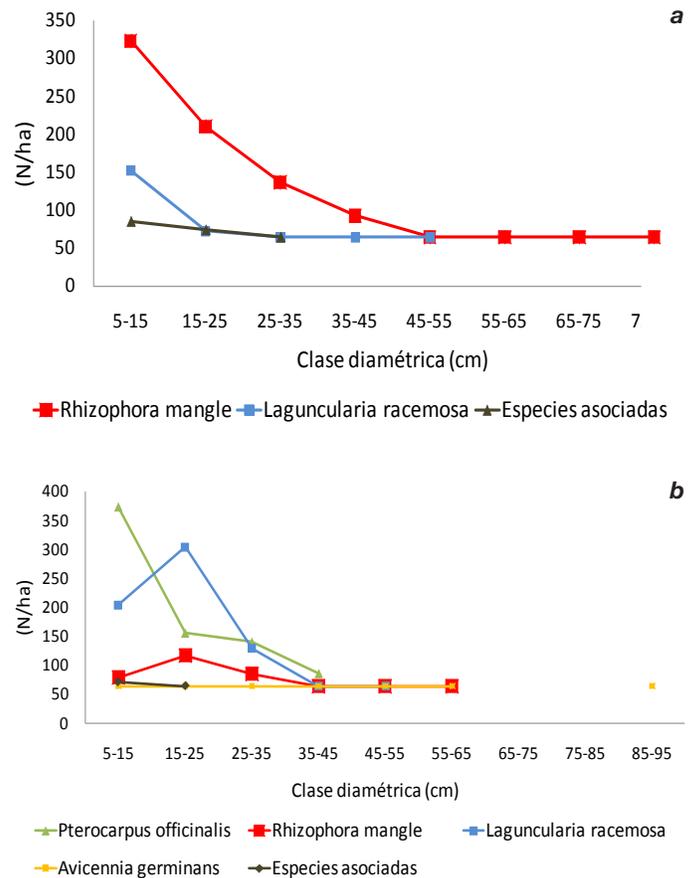


Figura 6. Distribución diamétrica del número de individuos promedio (N/ha) según especies de mangle y asociadas presentes en los manglares Laguna de Gandoca (a) y Estero Moín (b). Limón, Costa Rica. 2011.

Cuadro 4. Índice de Valor de importancia (IVI) de las especies presentes en el manglar de Laguna de Gandoca. Limón, Costa Rica. 2011.

| Especie | A (%) | D (%) | F (%) | IVI (%) |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| <i>Rhizophora mangle</i> | 85,01 | 89,96 | 54,17 | 76,38 |
| <i>Laguncularia racemosa</i> | 8,90 | 7,61 | 20,83 | 12,45 |
| <i>Pterocarpus officinalis</i> | 1,17 | 0,23 | 6,94 | 2,78 |
| <i>Picramia sp</i> | 1,41 | 0,91 | 4,17 | 2,16 |
| <i>Annona glabra</i> | 0,94 | 0,53 | 4,17 | 1,88 |
| <i>Calyptantes chytraculia</i> | 1,17 | 0,15 | 2,78 | 1,36 |
| <i>Hibiscus tiliaceus</i> | 0,70 | 0,34 | 2,78 | 1,27 |
| <i>Salacea sp</i> | 0,23 | 0,14 | 1,39 | 0,59 |
| <i>Lonchocarpus glabrecens</i> | 0,23 | 0,11 | 1,39 | 0,58 |
| <i>Zygia latifolia</i> | 0,23 | 0,02 | 1,39 | 0,55 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |

Nota: A: abundancia, D:dominancia, F: frecuencia

Cuadro 5. Índice de Valor de importancia (IVI) de las especies presentes en el manglar de Estero Moín. Limón, Costa Rica. 2011.

| Especie | A (%) | D (%) | F (%) | IVI (%) |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| <i>Pterocarpus officinalis</i> | 48,94 | 32,17 | 32,17 | 36,13 |
| <i>Laguncularia racemosa</i> | 25,96 | 23,97 | 23,97 | 21,49 |
| <i>Rhizophora mangle</i> | 12,77 | 20,75 | 20,75 | 19,05 |
| <i>Avicennia germinans</i> | 4,26 | 19,41 | 19,41 | 10,92 |
| <i>Annona glabra</i> | 1,28 | 0,28 | 0,28 | 2,34 |
| <i>Lonchocarpus glabrecens</i> | 0,43 | 2,02 | 2,02 | 1,42 |
| <i>Terminalia catappa</i> | 1,70 | 0,39 | 0,39 | 1,30 |
| <i>Zygia latifolia</i> | 0,85 | 0,35 | 0,35 | 1,01 |
| <i>Inga ruiziana</i> | 0,85 | 0,10 | 0,10 | 0,92 |
| <i>Luehea seemanni</i> | 0,43 | 0,24 | 0,24 | 0,83 |
| <i>Conostegia xalapensis</i> | 0,43 | 0,12 | 0,12 | 0,79 |
| <i>Amphitecna latifolia</i> | 0,43 | 0,04 | 0,04 | 0,76 |
| <i>Hieronyma alchomeoides</i> | 0,43 | 0,04 | 0,04 | 0,76 |
| <i>Spondias mombin</i> | 0,43 | 0,04 | 0,04 | 0,76 |
| <i>Thevetia ahouai</i> | 0,43 | 0,03 | 0,03 | 0,76 |
| <i>Erythrina poeppigiana</i> | 0,43 | 0,03 | 0,03 | 0,76 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |

Nota: A: abundancia, D:dominancia, F: frecuencia

Estructura Vertical

La Figura 7 muestra la altura total promedio (Ht) según las distancias al borde del canal en los sitios estudiados.

La Ht promedio y el error estándar fueron respectivamente, para el manglar de Gandoca de $12,8 \pm 2,6$ m y en Moín de $10,5 \pm 2,6$ m, valores estadísticamente diferentes, según el análisis de varianza ($F= 10,16$, $p= 0,0023$, $n= 60$). En Gandoca, hubo diferencias entre las Dc ($F= 2,68$, $p= 0,0477$, $n= 40$). $D_{>110}$ resultó diferente a los demás distanciamientos, con la Ht más baja (9,4 m).

En Moín D_{10} y D_{35} presentaron alturas estadísticamente similares ($F= 2,30$, $p= 0,1463$, $n= 60$). Al comparar la Ht promedio por sitio y por distanciamiento se encontraron diferencias significativas. En D_{10} Gandoca presentó la mayor Ht ($F= 27,01$, $p= 0,0001$, $n= 30$).

La Figura 8a ilustra el número de individuos promedio por estrato según la metodología de IUFRO (Leibundgut 1958, citada por Lamprecht 1990) en los manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín. Las Figuras 8b y 8c, señalan la cantidad de árboles promedio en los tres pisos de altura, según distancias al borde del canal.

En Laguna de Gandoca, los estratos de altura de dosel fueron 7, 14 y 21 m para los pisos inferior, medio y superior, respectivamente. En el caso de Moín estos pisos correspondieron a 6, 12 y 18 m. Los manglares presentaron más del 50% de los individuos en el estrato medio del dosel, entre 7 y 13 m para Gandoca y entre 6 y 12 m para Moín. Seguido por aproximadamente el 30% de los árboles en el estrato superior, y menos

del 15% de los individuos en el estrato más bajo. Este patrón se manifestó de igual forma para los distintos distanciamientos al borde del canal en los manglares.

Composición florística

En Gandoca se observaron 10 especies, entre ellas dos de mangle *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*; pertenecientes a las familias taxonómicas *Rhizophoraceae* y *Combretaceae*, respectivamente; además de ocho especies asociadas *Pterocarpus officinalis*, *Picramia sp.*, *Annona glabra*, *Calyptantes chytraculia*, *Hibiscus tiliaceus*, *Salacea sp.*, *Lonchocarpus glabrecens* y *Zygia latifolia*, pertenecientes a las familias Annonaceae, Fab-papilionoideae, Hippocrateaceae, Malvaceae, Fab-mimosoideae, Myrtaceae, Picramniaceae.

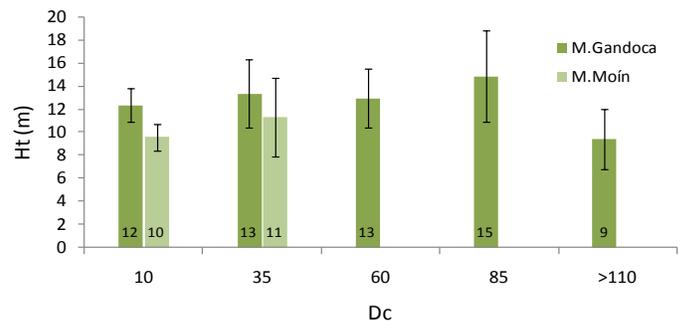


Figura 7. Altura total promedio (Ht) y desviación estándar, según las distancias al borde del canal (Dc) en los Manglares Laguna de Gandoca (G) y Estero Moín (M), Limón – Costa Rica.

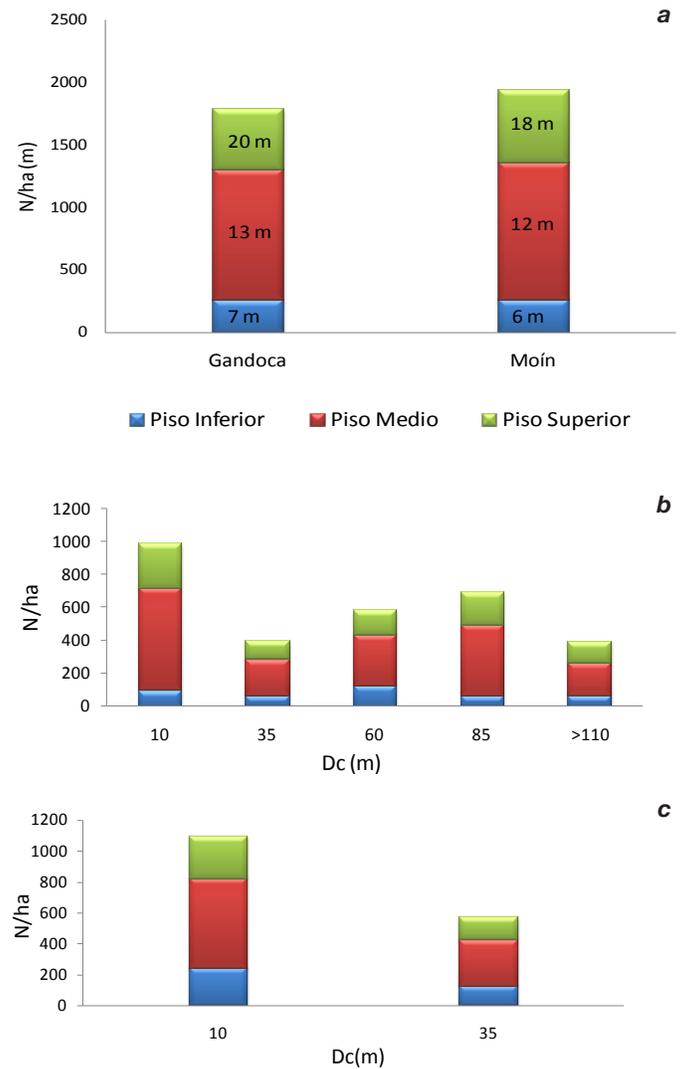
En Moín se encontraron 16 especies, entre ellas tres de mangle *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*, pertenecientes a las familias taxonómicas Rhizophoraceae, Combretaceae y Avicenniaceae; así como 13 especies asociadas, *Pterocarpus officinalis*, *Annona glabra*, *Lonchocarpus glabrecens*, *Terminalia catappa*, *Inga ruiziana*, *Luehea seemannii*, *Conostegia xalapensis*, *Amphitecna latifolia*, *Hieronyma alchorneoides*, *Spondias mombin*, *Thevetia ahouai*, *Erythrina poeppigiana*, *Zygia latifolia*; pertenecientes a las familias Anacardiaceae, Annonaceae, Apocynaceae, Bignoniaceae, Combretaceae, Euphorbiaceae, Fab-papilionoideae, Melastomataceae, Fab-mimosoideae y Tiliaceae. Las especies en común en ambos manglares fueron *R. mangle*, *L. racemosa*, *P. officinalis*, *A. glabra*, *Z. latifolia* y *L. glabrecens*.

El Cuadro 6 indica el total de árboles por especie de mangle y otras especies asociadas encontradas en los diferentes distanciamientos al borde del canal (Dc) en los manglares estudiados.

En Gandoca *R. mangle* se encontró en todos los distanciamientos y *L. racemosa* se encontró hasta D_{60} . Las especies asociadas estuvieron presentes en todos los Dc y fueron más abundantes a partir de D_{60} . En Moín, *L. racemosa* se observó con mayor frecuencia en D_{10} , y presentó muy pocos individuos en D_{35} . *A. germinans* presentó más individuos en D_{35} y menos individuos en D_{10} . *R. mangle* se encontró en ambos distanciamientos.

En Moín, *P. officinalis* fue la especie más abundante en ambos distanciamientos. Sin embargo en Gandoca esta especie estuvo representada únicamente por 5 individuos encontrados en D_{10} , D_{35} y D_{60} .

En Gandoca la mayoría de especies asociadas se encontró en D_{85} . En Moín estas especies se encontraron en los dos Dc estudiados.



Cuadro 6. Cantidad de árboles por especie según los distanciamientos al borde del canal (Dc) en los manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín. Limón, Costa Rica. 2011.

| Manglar/Dc | <i>A. germinans</i> | <i>L. racemosa</i> | <i>R. mangle</i> | <i>P. officinalis</i> | Otras asociadas | Total |
|----------------|---------------------|--------------------|------------------|-----------------------|-----------------|-------------|
| Gandoca | | | | | | |
| 10 | | 71 | 726 | 2 | 7 | 805 |
| 35 | | 3 | 118 | 1 | 5 | 127 |
| 60 | | 38 | 94 | 2 | 13 | 148 |
| 85 | | | 112 | | 30 | 142 |
| >110 | | | 21 | | 18 | 38 |
| Total | | 112 | 1071 | | 77 | 1260 |
| Moín | | | | | | |
| 10 | 9 | 177 | 65 | 159 | 30 | 440 |
| 35 | 21 | 3 | 21 | 168 | 24 | 236 |
| Total | 30 | 180 | 86 | 327 | 53 | 676 |

Cuadro 7. Índices promedio de diversidad de Shannon-Weiner y Fisher-Alpha y error estándar (EE) para los diferentes distanciamientos al borde del canal (Dc), en los Manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín. Limón, Costa Rica. 2011.

| Manglar/Dc | H' | | | F-alpha | | |
|----------------|-------|------|-----|---------|------|----|
| | Media | EE | D | Media | EE | D |
| Gandoca | | | | | | |
| 10 | 0,24 | 0,07 | Ab | 0,58 | 0,11 | a |
| 35 | 0,15 | 0,10 | A | 0,57 | 0,20 | a |
| 60 | 0,66 | 0,17 | Bc | 1,58 | 0,41 | ab |
| 85 | 0,31 | 0,25 | Abc | 0,74 | 0,35 | A |
| >110 | 0,71 | 0,36 | C | 1,93 | 1,76 | B |
| Media | 0,33 | 0,06 | A | 0,85 | 0,16 | A |
| Moín | | | | | | |
| 10 | 0,82 | 0,14 | D | 2,30 | 0,78 | C |
| 35 | 0,55 | 0,20 | Ad | 2,54 | 1,36 | Ac |
| Media | 0,69 | 0,12 | B | 2,42 | 0,74 | B |

* Medias con una letra común son estadísticamente similares ($p > 0,05$), de acuerdo con la Prueba de Duncan las letras mayúsculas corresponden a comparaciones entre media general (manglar) y minúsculas a pruebas entre Dc e interacción Dc/manglar.

El Cuadro 7 resume los índices de diversidad de Shannon (H') y Alpha de Fisher promedios según la distancia al borde del canal para los sitios estudiados.

El índice de Shannon – Wiener (H') promedio para los manglares de Gandoca y Moín fue 0,33 y 0,69 respectivamente, valores con diferencias altamente significativas, según el análisis de varianza ($F= 8,51$, $p= 0,0050$, $n= 61$). En Gandoca, el análisis de varianza no detectó diferencias significativas en los valores promedio del índice entre los distanciamientos ($F= 2,62$, $p= 0,0517$, $n= 40$). Sin embargo, de acuerdo con la prueba Duncan, $D_{>110}$ es el distanciamiento más diverso ($H' = 0,71$) y D_{35} el menos diverso ($H' = 0,15$). En el caso de Moín, el índice no mostró diferencias significativas entre Dc ($F= 1,19$, $p= 0,2897$, $n= 21$). Al comparar la diversidad entre sitios y distanciamientos hubo diferencias únicamente en D_{10} ($F= 17,85$, $p= 0,0002$, $n= 30$).

El índice F-alpha medio fue 0,85 y 2,42 para Gandoca y Moín, respectivamente. Estos valores son estadísticamente diferentes ($F=7,31$, $p= 0,0090$, $n= 61$). En Gandoca, el análisis de varianza no detectó diferencias significativas en los valores promedio de este índice entre los distanciamientos ($F=2,38$, $p= 0,0699$, $n= 40$). Sin embargo, las pruebas Duncan muestran diferencias. $D_{>110}$ y D_{60} son los sitios más diversos. En Moín, no se encontraron diferencias significativas en la diversidad entre los distanciamientos ($F= 0,03$, $p= 0,8738$, $n= 21$). Al comparar la diversidad entre sitios y distanciamientos hubo diferencias únicamente en D_{10} ($F= 8,17$, $p= 0,0079$, $n= 30$).

Análisis de Conglomerados

La Figura 9 muestra el análisis de conglomerados para las variables de estructura (9a) y diversidad (9b) según los

distanciamientos con respecto al borde del canal en los manglares de Laguna de Gandoca y Estero Moín.

Tomando únicamente las variables de estructura (N, G y Ht), fueron identificados tres grupos principales (CC = 0,824). Los distanciamientos D_{10} de ambos manglares conformaron un conglomerado, que coincidió con los Dc con mayor densidad de árboles. Luego el segundo grupo comprendió los distanciamientos desde D_{35} a D_{85} . Finalmente el último grupo estuvo compuesto únicamente por $D_{>110}$ de Gandoca, que fue el distanciamiento con el menor desarrollo estructural.

Al realizar el mismo procedimiento pero contemplando únicamente los índices de diversidad de Shannon–Wiener y Alpha de Fisher se identificaron tres grupos (CC = 0,934): el primero correspondió a los D_{10} y D_{35} de Moín donde hubo alta presencia de *P. officinalis*, (especie con mayor IVI en el manglar de Moín). El segundo grupo estuvo compuesto por los D_{60} y $D_{>110}$ de Gandoca, distanciamientos que presentaron la menor cantidad de individuos de *R. mangle* (especie con mayor IVI en el manglar de Gandoca). El tercer grupo correspondió a D_{35} , D_{85} y D_{10} en Gandoca, que fueron distanciamientos con alta presencia de *R. mangle*.

Biomasa y carbono arriba del suelo

El Cuadro 8 muestra los valores promedios de las reservas de biomasa (Bas) y carbono (Cas) arriba del suelo encontradas en los manglares estudiados, según la distancia al borde del canal.

El manglar de Gandoca posee $330,27 \pm 29,01$ Mg/ha de biomasa arriba del suelo y Moín $257,10 \pm 51,80$ Mg/ha; valores estadísticamente similares según el análisis de varianza ($F= 1,78$, $p= 0,1869$, $n= 61$). En Gandoca se

encontraron diferencias significativas en las distancias al borde del canal ($F= 3,92, p= 0,0099, n= 40$). $D_{>110}$ es estadísticamente diferente a los demás Dc. En Moín, no hubo diferencias estadísticas entre la cantidad de biomasa en los distintos distanciamientos ($F= 0,08, p= 0,7751, n= 21$). Al comparar la cantidad de biomasa entre sitios y distanciamientos, hubo diferencia únicamente en D_{10} donde Gandoca presentó mayor biomasa que Moín ($F= 10,40, p= 0,0032, n= 30$).

El manglar de Gandoca presentó $153,25 \pm 85,13$ Mg/ha de biomasa arriba del suelo y Moín $119,29 \pm 110,14$ Mg/ha; valores estadísticamente similares ($F=1,78, p= 0,1869, n= 61$). En Gandoca se encontraron diferencias altamente significativas en las distancias al borde del canal ($F= 3,92, p= 0,0099, n= 40$). $D_{>110}$ es estadísticamente diferente a los demás Dc. En Moín, no hubo diferencias estadísticas entre la cantidad de carbono en los distintos distanciamientos ($F= 0,08, p= 0,7751, n= 21$). Al comparar la cantidad de carbono entre sitios y distanciamientos, hubo diferencias altamente significativas en el distanciamiento D_{10} , donde Gandoca presentó mayor biomasa que Moín ($F=10,40, p= 0,0032, n= 30$).

Biomasa arriba del suelo por especie

La Figura 10 indica la cantidad de biomasa de fustales por especie en el Manglar de Laguna de Gandoca.

La especie que aportó más biomasa es *R. mangle* con casi el 80% de la biomasa total del manglar, seguida por *L. racemosa*, con apenas el 20% del total. La Figura 11 indica la cantidad de biomasa de fustales por especie en el Manglar de Laguna de Gandoca.

La especie que aportó más biomasa es *A. germinans* aproximadamente 50% de la biomasa total del manglar, seguida por *L. racemosa*, y *R. mangle* con entre 25 y 19 % respectivamente. *P. officinalis* aporta poca biomasa a pesar de ser especie con mayor abundancia.

Discusión

Delimitación del área

Varios métodos cartográficos han sido utilizados en la delimitación de cobertura de manglares entre ellas la fotointerpretación de fotografías aéreas y la clasificación de imágenes satelitales (Acosta y Ruiz 2007, Kovacs *et al.* 2008). Green *et al.* (2000) mencionan que muchas de las comunidades de manglar se diferencian poco por datos de satélites, debido a su complejidad y a las pequeñas dimensiones de las mismas. Hernández *et al.* (2006) sugirieron la utilidad de las fotografías aéreas para el levantamiento a escala detallada de estas comunidades; además señalaron que decidir entre el uso de fotografías aéreas o imágenes de satélites para emprender la

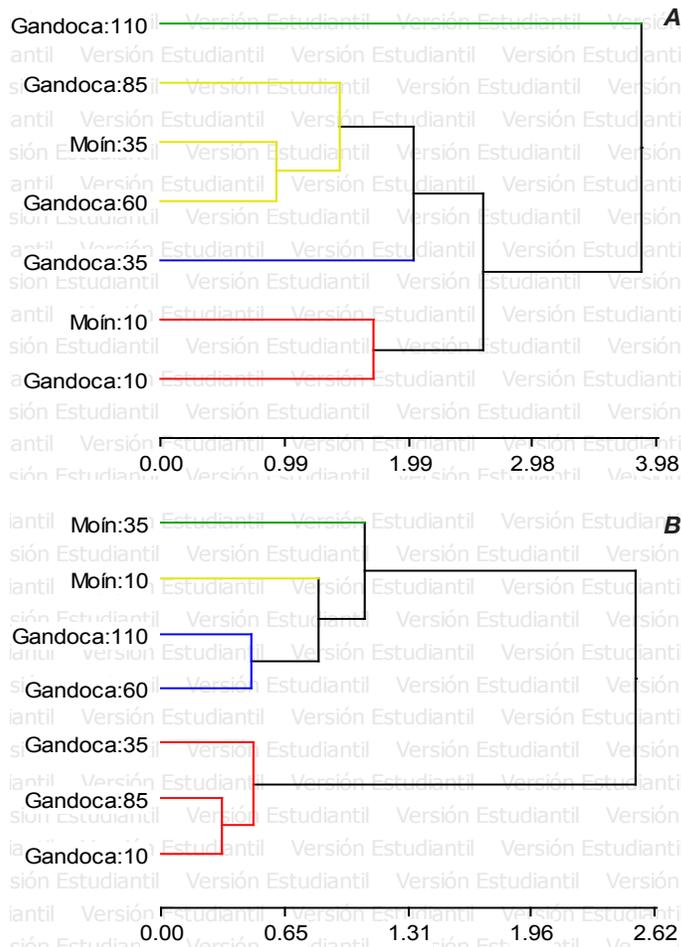


Figura 9. Análisis de conglomerados para a las variables de estructura (a) y composición florística (b), según los distanciamientos con respecto al borde del canal para los manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín. Limón, Costa Rica. 2011.

Cuadro 8. Biomasa y carbono promedio arriba del suelo y error estándar según distanciamientos al borde del canal (Dc) en los Manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín. Limón, Costa Rica. 2011.

| Manglar/ Dc | Bas (Mg/ha) | | D | Cas (Mg/ha) | | D |
|----------------|-------------|-------|----|-------------|-------|----|
| | Media | EE | | Media | EE | |
| Gandoca | | | | | | |
| 10 | 412.01 | 29.90 | a | 191.18 | 13.88 | a |
| 35 | 264.33 | 77.68 | a | 122.65 | 36.05 | a |
| 60 | 329.99 | 94.88 | a | 153.11 | 44.03 | a |
| 85 | 280.67 | 59.13 | a | 130.23 | 27.44 | a |
| 110 | 49.68 | 35.67 | b | 23.05 | 16.55 | b |
| Media | 330.27 | 29.01 | A | 153.25 | 12.46 | A |
| Moín | | | | | | |
| 10 | 242.44 | 46.06 | c | 112.49 | 21.37 | c |
| 35 | 273.21 | 99.36 | ac | 126.77 | 46.10 | ac |
| Media | 257.10 | 51.80 | A | 119.29 | 24.03 | A |

*Medias con una letra común, son estadísticamente similares ($p > 0,05$), de acuerdo con la Prueba de Duncan Letras mayúsculas corresponden a comparaciones entre media general (manglar) y minúsculas a pruebas entre Dc e interacción Dc/manglar

cartografía de manglares, dependerá de factores como la disponibilidad de recursos, la superficie del área de estudio y las limitaciones de tiempo. En este estudio, la interpretación de fotografías aéreas permitió delimitar varios parches de manglar en cada sitio e identificar un aumento de área en el Manglar de Laguna de Gandoca con respecto al último dato reportado.

Con respecto a la forma de crecimiento de los parches del manglar de Gandoca Ortiz (2008) indicó que la costa Caribe de Costa Rica ha variado su morfología en los últimos años y que esto se puede atribuir al aumento en el nivel del mar producto del calentamiento global. Por otro lado, Yañez *et al.* (1998) mencionaron que el aumento en el nivel del mar puede provocar la migración de las franjas de borde del manglar hacia tierra adentro. Lamprecht (1990) mencionó que el factor medioambiental más importante que determina la cobertura de los manglares es la inundación más o menos periódica de la marea alta. Sin embargo el aumento de área en el manglar de Gandoca fue mayormente en las áreas de borde lo que podría sugerir que el sitio presenta condiciones óptimas para el desarrollo del ecosistema en ese sentido y que depende en su mayoría de la presencia de agua dulce en la Laguna.

Estructura horizontal

La estructura horizontal de un bosque responde al arreglo espacial de los individuos presentes (Louman y Nilsson 2001). Varios autores han utilizado el diámetro promedio, densidad de individuos y área basal como variables de medición de la estructura horizontal en bosques de manglar (Cintrón y Shafer-Novelly 1984, UNESCO 1998).

En manglares mixtos de la Reserva de la Biosfera Río Celestún en Yucatán, México se han encontrado densidades desde 1108 a 3125 árboles/ha (Zaldivar *et al.* 2004). En Palau y Yap, Micronesia, Kauffman *et al.* (2011) reportan densidades de 780 y 2421 árboles/ha respectivamente. En cuanto al área basal, Rodríguez *et al.* (2004) encontraron valores de 17,3m²/ha en el Manglar Bahía de Chengue, Caribe Colombiano, dominado por la especie *A. germinans* con d promedio de 11,3 cm. En el manglar Río Celestún se reportan áreas basales entre 23,6 y 41,5 m²/ha. Meléndez *et al.* (2006) encontraron valores muy altos de G de hasta 59,02 m²/ha en diferentes cayos de manglar del Archipiélago de Sabana Camaguey, Cuba. De acuerdo con los estudios mencionados los manglares estudiados poseen pocos individuos, pero grandes valores de área basal. Las diferencias entre los valores promedio de las variables estructurales encontradas en este trabajo y los de otros autores, se pueden deber a la variación entre los métodos de muestreo utilizados. En algunos de los trabajos mencionados se utilizaron unidades de muestreo muy pequeñas (1 parcela de 10 x 10 m) ubicadas en una única zona del manglar. Al utilizar unidades de muestreo tan pequeñas se podría incurrir en errores por sobreestimación, que además incrementan

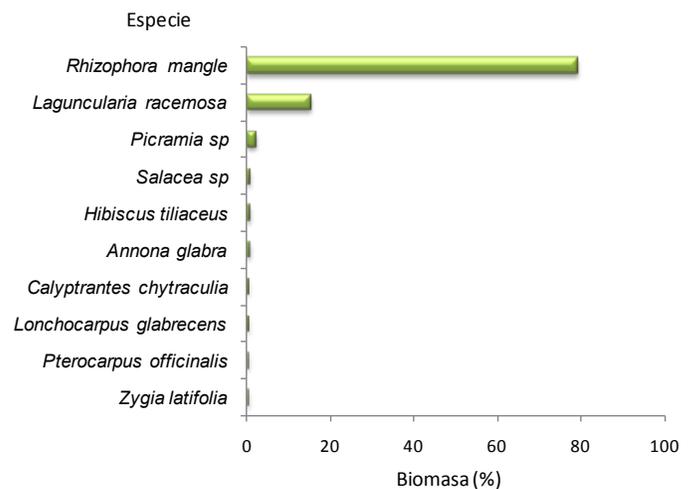


Figura 10. Porcentaje de biomasa arriba del suelo, según las especies presentes en el manglar Laguna de Gandoca. Limón, Costa Rica. 2011.

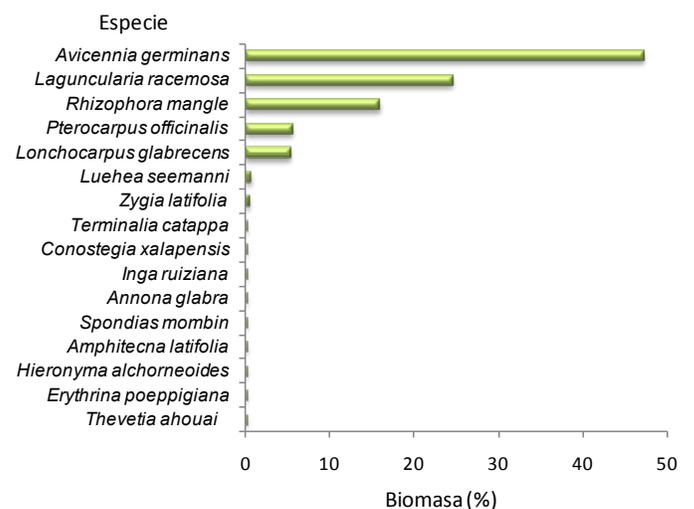


Figura 11. Porcentaje de biomasa arriba del suelo, según las especies presentes en el manglar Estero Moín. Limón, Costa Rica. 2011.

cuando los valores son extrapolados para el total del área.

Lamprecht (1990) y Louman y Nilsson (2001) señalan que el análisis basado en la distribución de los individuos por clase diamétrica, reflejan el estado demográfico de las poblaciones de árboles. En Gandoca y Moín la distribución por clase diamétrica correspondió a una estructura en forma de jota invertida, con más del 50% de individuos jóvenes, menores a 25 cm de diámetro y pocos árboles viejos. Se podría sugerir que son poblaciones en renovación, o bien, que han sufrido a lo largo del tiempo eventos que hacen que la dinámica de sucesión tenga regresiones. El paisaje costero donde

se desarrollan los manglares, es vulnerable por fuerzas naturales episódicas de alto impacto, p.e. huracanes, deslizamientos de tierras, subsidencia, diapirismo de lodo, aumento acelerado del nivel medio del mar, entre otras, que provocan que estos ecosistemas tarden o nunca alcancen un estado climácico (Yañez *et al.* 1998).

Al analizar la distribución de individuos por categoría diamétrica de las diferentes especies en cada uno de los sitios, se logró detectar que las especies de mangle (*R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans*) tienden a presentar estructuras irregulares. Sin embargo en Moín, *L. racemosa* y *R. mangle* parecen tener problemas de regeneración y además poseen pocos individuos en las clases mayores. *A. germinans* presenta muy pocos árboles en todas las clases y poseen huecos en algunas de ellas. Cuando se encuentran huecos en los histogramas para ciertas clases de tamaño, se puede inferir que corresponden a determinadas épocas de crisis de la población forestal, una tala excesiva continua o la muerte de los árboles viejos por alguna causa epidémica o climática (Ajbilou *et al.* 2003). En ambos sitios, las especies asociadas rara vez sobrepasan los 25 cm de diámetro, y están representadas por muy pocos individuos, aproximadamente 6% del total de árboles/ha, a excepción de *P. officinalis* en Moín que se distribuye en la mayoría de clases con una estructura disetánea y alcanza diámetros de hasta 47 cm. De acuerdo con este comportamiento el manglar de Moín parecen estar siendo invadido por la especie *Pterocarpus officinalis*, sin embargo, Poll *et al.* 1977 reportaron dominancia de esta especie en el manglar de Moín, hace ya más de 30 años.

Estructura vertical

La estructura vertical del bosque está determinada por la distribución de los organismos tanto plantas como animales, a lo alto de su perfil; además responde a las características de las especies que la componen y a las condiciones microambientales presentes en las diferentes alturas o estratos (Louman y Nilsson 2001). El análisis de la estructura vertical de los manglares se ha basado principalmente en la estimación de la altura total promedio del bosque (Ht) y en ocasiones mediciones de cobertura de copas (Cintrón y Shafer-Novelly 1984, UNESCO 1998, CARICOMP 2001). Según diversos estudios, estos bosques se caracterizan por formar rodales monoespecíficos o mixtos, con árboles de tamaños similares y alturas medias que rondan de 7 hasta 15 metros (Bossi y Cintrón 1990, Rodríguez *et al.* 2004, Meléndez *et al.*, 2006, Zaldivar *et al.* 2004), rara vez sobrepasen los 20 m de Ht (Mainardi 1996; Murdiyarso *et al.* 2009). En el presente estudio, la Ht media fue de 10 y 12 m en Moín y Gandoca respectivamente. De acuerdo con el análisis de los pisos de altura, los manglares estudiados poseen más del 50% individuos en el estrato medio del dosel. Se podría decir, que poseen un piso medio denso, que posiblemente limita el establecimiento de muchos individuos en pisos inferiores, y en donde la

competencia es tan alta que la cantidad de árboles que alcanzan su madurez es poca.

Respecto a los cambios observados en las diferentes variables estructurales según el gradiente de distanciamiento; las mayores variaciones se dan a más de 110 m tierra adentro. A esta distancia hay una disminución del área basal, número de individuos por ha, altura promedio de los árboles, y biomasa, y a su vez un aumento en el número de especies presentes. Varios autores indican que la estructura de los manglares según este gradiente se ve afectada por las concentraciones de salinidad (Jiménez y Sauter 1991). En un manglar en el Golfo de Nicoya, Soto y Jiménez (1985), encontraron una relación inversa entre la salinidad y la altura del dosel y el área basal; la vegetación disminuyó en altura y área basal según aumentó la salinidad.

Composición florística

De acuerdo con Jiménez y Soto 1985 (citados por FAO 2003) los ecosistemas de manglar no están compuestos únicamente por especies de mangle, sino que comprenden un complejo florístico de especies de distintos géneros y familias con cierta distribución espacial: la vegetación marginal con especies que están corrientemente asociadas con los manglares en la fila del lado de tierra; la vegetación accidental marginal, que corresponde a individuos que accidentalmente lograron establecerse entre el manglar, pero que suelen pertenecer estrictamente a otros ecosistemas; y finalmente la vegetación nuclear, que constituye los manglares en sentido estricto, especies de la zona intermareal dependientes de las influencias salinas tales como *R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans*.

La composición florística encontrada en los manglares estudiados se asemeja a lo mencionado por estos autores, con franjas de vegetación nuclear y algunas especies marginales (especies asociadas descritas). Sin embargo en el manglar de Moín se presenta una situación poco usual donde especies que han sido catalogadas como vegetación marginal, tal es el caso de *P. officinalis*; claramente forman parte de la vegetación nuclear junto a especies como como *R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans*. Por lo que Lamprecht (1990) menciona que la zonación de las especies está determinada por la frecuencia y altura de las mareas, la salinidad del agua y las condiciones edáficas y Zaldivar (2003) propone que dicha zonación puede ser consecuencia conjunta del potencial de dispersión de sus propágulos, de la respuesta de las especies a factores abióticos y de las interacciones competitivas intra específicas.

Biomasa y carbono arriba del suelo

Los líderes mundiales reconocen que la reducción urgente de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero es necesaria si se quieren evitar

los posibles efectos del calentamiento global (Bouillon 2009, Lafolley y Grimsditch 2009). Por lo tanto, existe la necesidad de gestionar adecuadamente los hábitats particulares que actúan como sumideros y reservorios de carbono naturales como lo son los manglares.

A raíz de esto se han desarrollado diversos estudios que pretenden cuantificar las reservas de carbono en diferentes niveles de estos bosques, ya sea arriba o debajo del suelo (Bouillon *et al.* 2011, Donato *et al.* 2011). En bosques de manglar de Yap y Palau, Micronesia, Kauffman *et al.* (2011) encontraron valores de 204 a 363 Mg/ha de biomasa arriba del suelo. Murdiyarso *et al.* (2009) reportaron reservas de carbono en un manglar lacustrino del Parque Nacional Tanjung Puting, Kalimantan, Micronesia de $124,3 \pm 20,8$ Mg/ha. Los valores encontrados en este trabajo, se asemejan y en ocasiones superan los valores reportados por estos autores. Esto se debe a que en del Indo- Pacífico hay gran variedad de especies, en cambio los manglares estudiados son más homogéneos y están dominados por especies con alta densidad específica de la madera, por lo que aportan gran cantidad de biomasa.

Los valores de carbono y biomasa encontrados en este trabajo también superan las reservas reportadas para algunos bosques secundarios del país. Chacón *et al.* (2007) reportaron en bosques secundarios de la región tropical húmeda en Guácimo, Limón valores de $39,4 \pm 7,1$ Mg/ha de carbono en fustales. Fonseca (2011) reporta valores en bosques secundarios que no sobrepasan los 87,1 Mg/ha. Sin embargo, cabe rescatar que estas comparaciones no son del todo confiables. Existe cierta controversia en cuanto a las estimaciones de biomasa por medio de ecuaciones alométricas (Komiya *et al.* 2007). En el caso de los bosques se suelen utilizar ecuaciones generales para el total o por grupos de especies, que omiten variables importantes como lo es la densidad de la madera. Lo mismo sucede para el factor de conversión de carbono. En bosques tropicales se ha utilizado un factor de carbono igual al 50% de la biomasa seca. Sin embargo, Martin y Thomas (2001) mencionan que es grave error utilizar este factor para todas las especies ya que los valores a lo interno de las especies de bosques tropicales pueden variar hasta en $47,4 \pm 2,51$ %, por lo que señalan que se podría estar incurriendo en un error por sobreestimaciones o subestimaciones de las reservas verdaderas de carbono reales.

Una situación similar sucedió en la cuantificación de la biomasa del manglar de Moín, donde el *P. officinalis* a pesar de ser la especie más importante, aporta valores muy bajos de biomasa. Esto se debe probablemente a que la ecuación utilizada para estimar la biomasa de esta especie no considera la densidad de la madera, como en el caso de las ecuaciones utilizadas para las especies de mangle.

Las reservas de carbono según el gradiente de distanciamiento mostraron diferencias importantes hasta los 110 m del borde del canal. La mayor cantidad de carbono se concentra en las primeras franjas, del lado del borde. Murdiyarso *et al.* 2009 evaluaron este gradiente en manglares de Micronesia y en los 140 m evaluados no encontraron diferencias significativas. Esto puede deberse a que estos bosques son mucho más extensos que los estudiados y se pueden extender kilómetros tierra adentro desde el borde del canal u océano.

Conclusiones

En el manglar Laguna de Gandoca se encontró un aumento de aproximadamente 7% del área en cinco años, con respecto a lo reportado por Coll *et al.* (2001).

La estructura horizontal sugirió que los manglares estudiados son bosques maduros pero en renovación.

La estructura horizontal del manglar Estero Moín indicó que este sitio presentó disturbio.

La estructura vertical indicó que los manglares estudiados presentaron un dosel medio definido y denso, con pocos árboles grandes y pequeños.

El manglar de Estero Moín presentó mayor riqueza e índice de diversidad que el manglar de Laguna de Gandoca.

Las reservas de carbono encontradas en estos manglares se encontraron dentro de los valores reportados para otros manglares del Indo-Pacífico.

Las reservas de carbono encontradas en estos manglares superaron los valores reportados para bosques primarios y secundarios del Costa Rica.

Recomendaciones

Establecer una base de monitoreo con parcelas permanentes de muestreo y cartografía digital para observar futuros cambios en el desarrollo estructural y en la cobertura de ambos sitios, y de otros manglares del país.

Complementar con otros estudios, como análisis de salinidad intersticial y cuantificación de carbono en el suelo.

Transmitir el conocimiento científico a los pobladores de las comunidades aledañas, con el fin de fortalecer los mecanismos de conservación y/o restauración, principalmente en el manglar de Moín.

Agradecimientos

Proyecto Biodiversidad Marina y Costera en el Caribe de Costa Rica: Contribución a la Gestión ambiental para la Adaptación al cambio climático, de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional,

en especial a Lilliana Piedra por su apoyo carisma y confianza en cada etapa del proyecto.

Referencias

- Acosta, J; Ruiz, A. 2007. Variación en la cobertura, distribución y estructura de los manglares del complejo lagunar Bahía Magdalena-Bahía Almejas (1990-2005). (en línea). En: Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. Eds. R. Funes Rodríguez; J. Gómez Gutiérrez; R. Palomares García. CICIMAR-IP. Baja California Sur, MX. p.127-141. Consultado 22 nov. 2011. Disponible en http://www.cnf.gob.mx:8080/webHumedales/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=13&Itemid=12.
- Ajbiolou, R; Marañón, T; Arroyo, J. 2003. Distribución de clases diamétrica y conservación de bosques en el norte de Marruecos. Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales. 12(2): 111-123. Consultado 20 nov. 2011. Disponible en [http://www.inia.es/gcontrec/pub/111-123-\(750S-Distribucion_1059569877234.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/111-123-(750S-Distribucion_1059569877234.pdf).
- Bossi, R; Cintrón, G. 1990. Manglares del Gran Caribe: hacia un manejo sostenible. Trad. J González. Puerto Rico, US. Asociación para la Conservación del Caribe (CCA), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUMA).35 p.
- Bouillon, S; Monroy, V; Twiley, R; Kairo, J. 2009. The management of natural coastal carbon sinks: Mangroves. Eds. D. Laffoley, G. Grimsditch. IUCN, Gland, CH. 53 p.
- Bouillon, S. 2011. Storage beneath mangroves (en línea). Nature Geoscience. 4(1): 282-283. Consultado 13 abr. 2011. Disponible en https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/304734/2/Bouillon_News%26Views_2011_final.pdf.
- CARICOMP (Caribbean Coastal Marine Productivity). 2001. Methods Manual, Levels 1 and 2: Manual of methods for mapping and monitoring of physical and biological parameters in the coastal zone of the Caribbean. (en línea). CARICOMP Data Management Center. University of the West Indies Mona, Kingston JM. Consultado 21 nov. 2011. Disponible en http://www.ima.gov.tt/home/images/stories/caricomp_manual_2001.pdf
- CCT (Centro Científico Tropical).1989. Tipo de suelos en Costa Rica. Atlas Digital 2008. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR. 1 CD-ROOM.
- Chacón Chaverrí, D. 1993. Aspectos biométricos de una población de sábalo *Megalops atlanticus* (Pisces: Megalopidae). (en línea). Revista Biología Tropical. 41 (1): 13-18. Consultado 8 dic.2011. Disponible en http://www.amlc-carib.org/meetings/procs/1992AMLC_Proceedings/chacon.pdf.
- Chacón Chaverrí, D. 1999. Anidación de la tortuga Dermochelys coriacea (Testudines: Dermochelyidae) en playa Gandoca, Costa Rica (1990 a 1997). (en línea). Revista Biología Tropical. 47 (1-2):225-236. Consultado 01 jul. 2011. Disponible en http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77441999000100022&script=sci_arttext.
- Chacón, P; Leblanc, H; Russo, O. 2007. Fijación de carbono en un bosque secundario de la región tropical húmeda de Costa Rica. (en línea). Tierra Tropical. 3(1): 1-11. Consultado 22 nov. 2011. Disponible en http://usi.earth.ac.cr/tierratropical/archivos-dem_usuario/Edicion/37_v3.1-01_Chacón.pdf.
- Cintrón Molero, G; Schaeffer Novelli, Y. 1984. Methods for studying mangrove structure. In The mangrove ecosystem: research methods. Eds. S. Snedaker; J. Snedaker. UNESCO, París. p. 91-113.
- Coll, M; Fonseca, A; Cortés, J. 2001. El manglar y otras asociaciones vegetales de la laguna de Gandoca, Limón, Costa Rica. (en línea).Revista Biología Tropical. 49 (2): 321-329. Consultado 20 mayo. 2011. Disponible en <http://www.ots.ac.cr/tropiweb/attachments/suppl/sup49-2%20EACR%20II/31-COLLEL.pdf>.
- Curtis, J.T. ; McIntosh, R. P. 1951. An upland forest continuum in the prairie- forest border region of Wisconsin. Ecology 32,3.
- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; González, L; Tablada, M; Robledo, C. 2011. InfoStat-e versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Donato, D; Kauffman, J; Murdiyars, D; Kurnianto, S; Stidham, M; Kanninen, M. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics (en línea). Nature Geoscience. 4: 293-298. Consultado 13 abr. 2011. Disponible en <http://www.cebem.org/cmsfiles/publicaciones/MangroveCarbonStorage.pdf>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1994. Directrices para la ordenación de los manglares (en línea). Subdirección de Desarrollo de Recursos Forestales, Santiago de Chile, Chile. 347 p. Consultado 20 abril. 2011. Disponible en: <http://ia600308.us.archive.org/26/items/directricesparal034917mbp/directricesparal034917mbp.pdf>
- Flores, FJ. 2008. Mapping the condition of mangroves of the Mexican Pacific using C-band ENVISAT ASAR and Landsat optical data. (en línea). Ciencias Marinas. 34(4):407-418. Consultado 14 nov. 2011. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/480/48013188001.pdf>.
- Fonseca, A; Cortés; Zamora, P. 2006. Monitoreo del manglar de Gandoca, Costa Rica (sitio CARICOMP). (en línea). Revista Biología Tropical. 55 (1): 23-31. Consultado 9 dic. 2011. Disponible en <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v55n1/3603.pdf>.
- Fonseca, W; Rey, J. Alice, F. 2011. Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. (en línea). Forest Ecology and Management. 262: 1400-1408. Consultado 8 dic. 2011. Disponible en http://www2.uah.es/josemrey/Reprints/Fonseca_CarbonAccumulationYoungForests_FEM_2011.pdf.
- Green, EP; Mumby, PJ; Edwards, AJ; Clark, CD. 2000. Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal. (en línea). UNESCO, París. Consultado 10 dic. 2011. Disponible en <http://www.unesco.org/csi/pub/source/rs14.htm>.
- Guariguata, M; Kattán, G. Eds. 2002. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Cartago, CR. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 692 p.

- Hammer O; Harper, D; Ryan, P. 2001. Paleontological Statistics software package for education and data analysis. (en línea). *Paleontología Electrónica* 4(1):1- 9. Consultado 19 nov. 2011. Disponible en http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf.
- Hernández Trejo, H; Priego Santander, A; López Portillo, J; Isunza Vera, E. 2006. Los paisajes físico-geográficos de los manglares de la laguna de La Mancha, Veracruz, México. (en línea). *Interciencia*. 31(3): 211-219. Consultado 22 nov. 2011. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/339/33911410.pdf>.
- Herrera, W. 1985. *Clima de Costa Rica: Vegetación y Clima de Costa Rica*. Ed. DC Gómez. San José, CR. EUNED. Vol. 2. 118 p.
- Holdridge, LR. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, CR. IICA. 216p.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2008. *El Clima variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica*. (en línea). Ed. Comité Regional de Recursos Hidráulicos. Consultado 23 jun. 2011. Disponible en: [http://cglobal.imn.ac.cr/Pdf/adaptacion/EI%20clima,%20variabilidad%20y%20cambio%20climatico%20en%20CR%20\(version%20final\).pdf](http://cglobal.imn.ac.cr/Pdf/adaptacion/EI%20clima,%20variabilidad%20y%20cambio%20climatico%20en%20CR%20(version%20final).pdf).
- ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2008. *Atlas digital de Costa Rica 2008*. Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR. Cartago. CR. 1 CD-ROOM.
- ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). *Atlas Digital de Costa Rica 2014* (en preparación). Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR. Cartago, CR. 1 DVD.
- Jiménez, JA. 1994. *Los manglares del Pacífico Centroamericano*. Heredia, CR. EFUNA. 336 p.
- Jiménez, J; Soto, R. 1985. Patrones regionales en la estructura y composición florística de los manglares de Costa Rica. *Revista Biología Tropical*. 33(1): 25-37.
- Jiménez, J; Sauter, K. 1991. Structure and Dynamics of Mangrove Forests Along a Flooding Gradient. (en línea). *Estuaries*. 14 (1): 49-56. Consultado 7 dic. 2011. Disponible en <http://www.springerlink.com/content/j76614m352665h01/fulltext.pdf>.
- Kaufman, JB; Cole TG. 2010. Micronesian Mangroves Forest Structure and Tree Responses to a Severe Thyphon. (en línea). *Wetlands*. 30: 1077-1084. Consultado 5 dic. 2011. Disponible en <http://www.springerlink.com/content/841836lq15671028/fulltext.pdf>.
- Kauffman, JB; Heider, C; Cole, TG; Dwire, KA; Donato, DC. 2011. Ecosystem Carbon Stocks of Micronesian Mangrove Forests. (en línea). *Wetlands*. 31: 343-352. Consultado 9 dic. 2011. Disponible en http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2011/nrs_2011_kauffman_001.pdf.
- Komiyama, A; Pongpan, S; Kato, S. 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*. 21: 471-477.
- Komiyama, A; Ong, JE; Pongpan, S. 2007. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. (en línea). *Aquatic Botany*. 89(2): 128-137. Consultado 27 abr. 2011. Disponible en <http://www.aseanbiodiversity.info/Abstract/51011246.pdf>.
- Kovacs JM, Zhang C, Flores, F. 2008. Mapping the condition of mangroves of the Mexican Pacific using C-band ENVISAT ASAR and Landsat optical data. (en línea). *Ciencias Marinas*. 34 (4): 407-418. Consultado 11 dic. 2011. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/480/48013188001.pdf>.
- Laffoley, D; Grimsditch, G. Eds. 2009. *The management of natural coastal carbon sinks* (en línea). Gland, CH. IUCN. 53 p. Consultado 13 de abr. 2011. Disponible en <http://data.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/2009-038.pdf>.
- Lamprecht, H. 1990. *Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas-posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. Trad. A. Carrillo, Eschborn, DE. GTZ. 335 p.
- Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. (Eds) 2001. *Silvicultura de bosques latifoliados tropicales con énfasis en América Central*. Turrialba, CR, CATIE. 265 p.
- Lugo 1988. Forested wetlands in freshwater and salt-water environments. (en línea). *Limnology an Oceanography*. 33 (4): 894-909. Consultado 6 dic. 2011. Disponible en http://www.aslo.org/lo/toc/vol_33/issue_4_part_2/0894.pdf.
- Mainardi, V. 1996. *El Manglar de Terraba-Sierpe en Costa Rica*. Turrialba, CR. CATIE. 91p.
- MARENA (Ministerio de Recursos Naturales y del Ambiente, NI) 1994. *Estudio tecnológico de la madera en tres especies de mangle*. (en línea). Proyecto OLAFO-CATIE. HISPAMER. 93 p. Consultado 13 dic. 2011. Disponible en <http://books.google.com/>
- Martin, A; Thomas, S. 2011. A Reassessment of Carbon Content in Tropical Trees. (en línea). *Plos ONE*. 6(8): e23533. Consultado 7 dic. 2011. Disponible en <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0023533>.
- Melo Cruz, O; Vargas Ríos, R. 2002. *Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos*. (en línea). Universidad del Tolima. Ibagué, CO. 235 p. Consultado 22 nov. 2011. Disponible en http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_7201.pdf.
- Menéndez, L; Guzmán, J; Capote, R; Gómez, R; Sotillo, A. 2002. Estructura de los bosques de mangle en Cuba. (en línea). In *Ecosistemas de Manglar en el Archipiélago Cubano*. Eds. L. Menéndez; J. Menéndez. UNESCO. MAB.IES. CU. Editorial Academia. p. 70-89. Consultado 19 nov. 2011. Disponible en <http://www.unesco.org/uy/mab/fileadmin/ciencias%20naturales/mab/EcosistemasManglarCuba.pdf> o <http://unesdoc.unesco.org/images/0017/001785/178568s.pdf>
- Murdiyarsa, D ; Donato, D; Kauffman, J; Kurnianto, S; Stidham, M; Kanninen, M. 2009. Carbon storage in mangrove and peatland ecosystems: A preliminary account from plots in Indonesia. (en línea). CIFOR. Bogor Barat, ID. 37 p. Consultado 18 nov. 2011. Disponible en http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2009/nrs_2009_murdiyarsa_001.pdf.
- Ortiz Malavasi, E. 1997. *Refinement and evaluation of two methods to estimate aboveground tree biomass in tropical forest*. Tesis Ph.D. New York, US. State University of New York. 116 p.

- Ortiz Malavasi, E. 2008. Cambios geomorfológicos en el litoral Caribe y Pacífico de Costa Rica. Caso del Complejo Déltico de Sierpe. (en línea). Kurú: Revista Forestal. 5(15). Consultado 12 dic. 2011. Disponible en http://www.tec.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/antiores/anterior15/pdf/nota%202.pdf
- Pearson, TR; Brown, SL; Birdsey, RA. 2007. Measurement Guidelines for the Sequestration of Forest Carbon. (en línea). USDA Forest Services Northern Global Change Research Program. 47 p. Consultado 12 dic. 2011. Disponible en http://nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_nrs18.pdf.
- Pizarro, F; Piedra, L; Bravo, J; Asch, J; Asch, C. 2004. Manual de Procedimientos para el Manejo de los Manglares de Costa Rica. Heredia, CR. EFUNA. 132 p.
- PRIAS (Programa de Investigaciones Aerotransportadas y Sensores Remotos, Costa Rica). 2005. Fotografías DCS, Costa Rica Airborne Research and Technology Applications. Centro Nacional de Alta Tecnología, San José, CR.
- Pool, DJ; Snedaker, SC; Lugo, AE. 1977. Structure of Mangrove Forests in Florida, Puerto Rico, México, and Costa Rica (en línea). Biotrópica. 9(3):195-212. Consultado 05 jun. 2011. Disponible en <http://www.mangroverestoration.com/pdfs/Pool%20et%20al%201977.pdf>.
- Richter, HG; Dallwitz, MJ. 2000. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. (en línea). In English, French, German, Portuguese, and Spanish. Consultado 8 dic. 2011. Disponible en : <http://delta-intkey.com/wood/es/www/rhirhman.htm>
- Rodríguez Ramírez, A; Nivia Ruíz, J; Garzón Ferreira, J. 2004. Características estructurales y funcionales del manglar de Avicenia germinans en la Bahía de Chengue (Caribe colombiano). (en línea). Investigaciones Marinas y Costeras 33(1): 223-244. Consultado 21 nov. 2011. Disponible en http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97612004000100012&lng=es&nrm=.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). 2008. Corredores biológicos de Costa Rica. En: Atlas digital de Costa Rica 2008. Instituto Tecnológico de Costa Rica. CD-ROOM.
- TNC (The Nature Conservancy). 1998. Evaluación ecológica rápida del Corredor Biológico Talamanca-Caribe. ProAmbiente. Washington, US. 226 p.
- UNESCO. 1998. CARICOMP: Caribbean coral reef, seagrass and mangrove sites. Coastal Region and Small Island Paper 3. (en línea). Ed. Bjorn Kjerfve. UNESCO, París. 347p. Consultado 3 dic. 2011. Disponible en <http://www.unesco.org/csi/pub/papers/papers3.pdf>.
- Who Ch., E.; Díaz M., M. 2001. Evaluación nacional sobre las fuentes de contaminación y actividades humanas originadas en tierra que afectan los ambientes marinos costeros y dulceacuícolas asociados. Costa Rica. Preparado por CEDARENA para el Programa de Acción Mundial para la Protección del Medio Marino frente a las actividades realizadas en tierra (PAM) y el PNUMA. Mimeografiado. p. 9-12.
- Wetlands International. 1995. Ramsar Sites Information Services. (en línea). Consultado 8 dic. 2011. Disponible en <http://www.wetlands.org/rsis/>.
- Yañez, A; Twilley, R; Lara, A. 1998. Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático. (en línea). Madera y Bosques. 4(2):3-19. Consultado 5 dic. 2011. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/html/617/61740202/61740202.html>.
- Zaldívar Jiménez, A; Herrera Silveira, J; Coronado Molina, C; Alonzo Parra, D. 2004. Estructura y productividad de los manglares en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. Madera y Bosques. 10 (2): 23-35. Consultado 20 nov. 2011. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/617/61709902.pdf>.
- Zamora Trejos, P. 2006. Manglares. In Ambientes Marino Costeros de Costa Rica. Comisión Interdisciplinaria Marino Costera de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica, Informe Técnico. Eds. V. Nielsen Muñoz, MA. Quesada Alpizar. San José, CR. Consultado 20 mar. 2011. Disponible en http://www.mespinozamen.com/uploads/4/5/7/6/4576162/infome_tecnico_ambientes_marinos_cr-czee_2006.pdf.