

**UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA CON ÉNFASIS EN MANEJO DE
RECURSOS MARINOS Y DULCEACUÍCOLAS**

Informe Escrito Final

**Comparación de los bosques de manglar y catival en la fijación
de carbono en el Caribe Sur, Costa Rica**

**“Tesis de grado” presentado como requisito parcial para optar al
grado de Licenciatura en Biología con Énfasis en Manejo de Recursos
Marinos y Dulceacuícolas**

Lilliana María Álvarez Sánchez

Campus Omar Dengo

Heredia, 2018

Miembros del Tribunal

Este trabajo de graduación fue aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Manejo de Recursos Marinos y Dulceacuícolas



M.Sc. Alicia Fonseca Sánchez (quién preside)

Sustituye al Decano de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



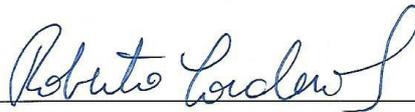
M.Sc. Milagro Carvajal Osés

Sustituye a la Directora de la Escuela de Ciencias Biológicas



Dra. Lilliana PiedraCastro

Tutora



Dr. Roberto Cordero Solórzano

Asesor



Dr. Junior Pastor Pérez Molina

Invitado especial

Agradecimiento

Le agradezco a mis padres por darme todo el apoyo, al emprender la aventura de estudiar la carrera que yo elegí.

A mi tutora Lilliana Piedra Castro, por todo el apoyo y comodidades durante el tiempo que duraron los muestreos y la paciencia que me tuvo para terminar este gran proyecto.

A Fabián Araya y Rolando Calderón por sacar de su tiempo, entre clases e investigación, para la identificación de cada especie que yo traía de Gandoca. También, Alexander Rojas por la identificación de los helechos y al señor Mario Blanco por su ayuda en la identificación de orquídeas.

Al personal del MINAE, a José Masis como Administrador del REGAMA que me brindó hospedaje para las giras y por la ayuda en la parte logística. A Edgar, Adelino, José Saballo, Karim, Thompson, Eduardo, Geovanny y Deiver funcionarios que me brindaron su apoyo y ayuda con la ubicación de cada ecosistema. A Mario por su ayuda y paciencia para acomodar y prensar las muestras.

A Josué López Sanarrusia, quien fue asistente de campo y guía local de Gandoca.

A Doña Gladys y Don Aquiles por el préstamo del bote y a Roberto Serrano por el alquiler del Kayak para trabajar en la parte del manglar que se encuentra dentro de la Laguna.

Al LARNAVISI por la logística en cada una de las giras y por toda la gran ayuda brindada

Al CONARE-CeNAT por el financiamiento para realizar este trabajo. Especialmente al Laboratorio de Gestión Ambiental, que otorgó la beca a este proyecto. Al LANOTEC por aceptarme por algunas horas para poder obtener algunos resultados para finiquitar la tesis.

A la profe Andrea García, que desinteresadamente, me ayudo con uno de los análisis para terminar este documento.

Y también, a los profes Roberto Cordero y Hannia Vega, por aceptarme como estudiante de tesis y sacar tiempo para asesorarme para poder sacar esta tesis adelante.

Dedicatoria

Esta tesis se la dedico a aquellas personas que creyeron en este sueño, que empezó hace algún tiempo, a aquellos que creyeron que los sueños se hacen realidad, sin importar el tiempo que esté lleve, solo teniendo la convicción de que querer es poder. Y yo pude

A aquellos que me apoyaron de una u otra forma para llegar hasta este punto... Poder concluir con éxito este gran sueño.

Índice

Miembros del Tribunal	II
Agradecimiento	III
Dedicatoria.....	IV
Índice	V
Índice de cuadros	VII
Índice de figuras	VIII
Índice de Anexos	IX
Abreviaturas o acrónimos.....	X
Resumen	XI
Abstract.....	XI
1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Justificación	4
1.3. Planteamiento del problema a investigar	6
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.2. Objetivos específicos	7
2. Marco Teórico	8
3. Marco Metodológico	13
Área de estudio	13
Diseño experimental	15
Riqueza	16
Estructura horizontal.....	16
Estructura vertical.....	17
Composición florística.....	17
Densidad de madera.....	18
Carbono fijado	19
Propuesta de gestión	20
4. Resultados.....	21

5. Discusión	32
Riqueza	32
Estructura horizontal.....	34
Estructura vertical.....	35
Composición florística.....	37
Índice de valor de importancia (IVI)	40
Carbono fijado	41
Relación entre las estructuras horizontal y vertical, fijación de carbono y riqueza	43
6. Conclusiones	44
7. Recomendaciones	44
8. Referencias	46
9. ANEXOS	56

Índice de cuadros

Cuadro. 1. Características de las especies de manglar y catival, en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017 25

Cuadro. 2. Densidad específicas para Gandoca obtenidos en el LANOTEC para dos especies de manglar y una del catival, REGAMA, 2017 25

Índice de figuras

Fig. 1. Sitios de muestreo del manglar, en el sector de Gandoca en el REGAMA, Costa Rica 2017. Puntos verdes son las parcelas de muestreo	13
Fig. 2. Sitios de muestreo del catival, en el sector de Gandoca en el REGAMA, Costa Rica 2017. Líneas amarillas delimitación del área, puntos verdes son las parcelas muestreadas.	14
Fig. 3. Curva de rarefacción del manglar y catival, en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017. Parcelas de 153.86 m ² , especies con DAP ≥ 5 cm	21
Fig. 4. Distribución diamétrica de los árboles en el manglar y catival, en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017.....	22
Fig. 5. Distribución de alturas (m) de los individuos presentes en el manglar y catival, en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017.....	23
Fig. 6. Biomasa (mega gramos entre hectárea) de las dos diferentes especies de manglar, en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017	26
Fig. 7. Biomasa en (mega gramos entre hectárea) de las diferentes especies del catival, en el sector de Gandoca en el REGAMA 2017	27
Fig. 8. Reserva de carbono (mega gramos entre hectárea) en las parcelas muestreadas del manglar, en el sector de Gandoca, REGAMA, 2017.....	28
Fig. 9. Reserva de carbono (mega gramos entre hectárea) de las parcelas muestreadas en el catival con las diferentes especies, en el sector de Gandoca, REGAMA, 2017.....	29
Fig. 10. Reserva de carbono del área total (mega gramos) para las especies de manglar, en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017	30
Fig. 11. Reserva de carbono del área total (mega gramos) del catival en las diferentes especies presentes, en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017.....	31
Fig. 12. Relación de la riqueza, carbono, estructura vertical y horizontal para dos sitios muestreo a través de un análisis de componentes principales en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017. A: manglar; B: catival	43

Índice de Anexos

Anexo. 1. Especies asociadas del manglar en el REGAMA, sector de Gandoca, 2017	56
Anexo. 2. Especies nucleares del manglar en el REGAMA, sector de Gandoca, 2017.	56
Anexo. 3. Especies nucleares del catival en el REGAMA, sector de Gandoca, 2017 ...	58
Anexo. 4. Especies asociadas del catival en el REGAMA, sector de Gandoca, 2017...	59
Anexo. 5. Valores de densidad para diferentes especies encontradas en el catival por diferentes autores.....	61
Anexo 6. Diferentes variables para los ecosistemas de manglar y cativo.....	62
Anexo 7. Propuesta de gestión en el marco de los cambios globales para cada comunidad vegetal analizada, dirigido al mantenimiento e integridad ecológica en el REGAMA, sector de Gandoca, 2017.....	62

Abreviaturas o acrónimos

CeNAT	Centro Nacional de Alta Tecnología
cm	centímetros
DAP	diámetro a la altura del pecho
g	gramos
g cm ⁻³	gramos entre centímetros cúbicos
ha	hectáreas
IVI	Índice de valor de importancia
kg	Kilogramos
LANOTEC	Laboratorio Nacional de Nanotecnología
m	metros
Mg	mega gramos
mm	milímetros
Pg	pico gramos
UNA	Universidad Nacional de Costa Rica

Resumen

Los manglares son bosques presentes en las zonas costeras, que presentan períodos de inundación y cuyas especies presentan características fisiológicas particulares para sobrevivir. En Costa Rica, se ubican tanto en el Pacífico como en el Caribe. El catival es un bosque que presenta períodos de inundación, con distribución desde la costa Caribe de Nicaragua hasta Colombia así como Jamaica, donde *Prioria copaifera* es la especie dominante. El objetivo de este estudio fue analizar el carbono fijado en la biomasa aérea con base en la estructura y composición florística en dos ecosistemas costeros del Refugio Nacional Mixto de Vida Silvestre Gandoca, Manzanillo (REGAMA) mediante parámetros dasométricos para el diseño de una propuesta de gestión en el marco de los cambios globales. Se realizaron parcelas circulares de siete metros de radio, se midieron alturas, diámetro a la altura del pecho (DAP) y se colectaron muestras de madera de tres especies con el taladro Pressler para determinar la densidad de la madera. Con estas variables (DAP, altura y densidad de madera) se calculó, empleando ecuaciones alométricas, la cantidad de carbono arriba del suelo que fijan ambos ecosistemas. El catival presentó la mayor riqueza de especies (26), los mayores valores en las características diamétricas y la distribución de altura y con respecto a la composición florística, presentó mayor cantidad de especies nucleares (26) y acompañantes (40). En la fijación de carbono, los mayores valores los presentó el catival (102 Mg ha^{-1}). Se concluye que el catival fue el ecosistema más diverso, con la mayor complejidad en estructura horizontal y vertical y con la mayor cantidad de especies en cuanto a la composición florística. Además de esto, es el bosque que fija más cantidad de carbono arriba del suelo.

Abstract

Mangroves are forests present in the coasts; they have inundation regimes; that's why species have a series of particular physiological characteristics for survival. In Costa Rica, are located in Pacific and Caribbean. The cativo forests feature inundation regime as well; present in the Caribbean coast from Nicaragua to Colombia and Jamaica. This is a forest with unique characteristics where *Prioria copaifera* is the dominant specie. Therefore, the purpose of this research is to analyze the carbon fixed on the aerial biomass based on the structure and floristic composition of two coastal ecosystems in Refugio Nacional Mixto de Vida Silvestre Gandoca, Manzanillo (REGAMA) with dasometric parameters for the design of a management proposal in the context of global changes. Land plots of seven meters of radius were made to measure height, and diameter at breast height (DBH); moreover, wood samples from three different species were extracted with a Pressler increment borer to inquire wood density. The level of carbon fixed above ground in both ecosystems was calculated using allometric equations on the three previously mentioned variables (height, DBH, and density). The cativo forest presented larger richness in species (26), highest diametric characteristics values and high distribution, and a greater amount of nuclear (26) and non-target (40) species regarding floristic composition. In the carbon fixation, the highest values obtained were from the cativo forest (102 Mg ha^{-1}). Consequently, it is concluded that cativa forest is the most diverse ecosystem of the two studied, with greater complexity in horizontal and vertical structures and with larger quantity of species concerning floristic composition. Besides that, it is the one that fixes the most amount of carbon above the ground.

1. Introducción

Los bosques costeros son ecosistemas muy importantes ya que contribuyen con la disminución de los efectos de los fenómenos naturales, tales como la reducción del impacto de las tormentas sobre el continente. Se caracterizan por soportar periodos de inundaciones, tanto de agua dulce como de agua salada y poseer gran biodiversidad, entre estos se encuentran los manglares y los cativales (*Prioria copaiifera*).

Los manglares son ecosistemas que se encuentran en latitudes tropicales y subtropicales alrededor del mundo. En el caso de Costa Rica, están presentes tanto en la costa Caribe y, en su mayoría, en la costa Pacífica, siendo en esta última, donde se encuentran los bosques más desarrollados, es decir, tienen mayores alturas, más individuos en varios estratos de edad, son más densos y con la mayoría de las especies. Son de gran importancia debido a los diversos servicios ambientales que prestan como lo son pesca, turismo, sitios de crianza y refugio para animales acuáticos.

Por otro lado, el catival con su especie dominante, el cativo (*P. copaiifera*), es un bosque costero, este tiene gran importancia por la alta diversidad de especies que en él habitan, como las aves, mariposas, las diferentes variedades de plantas, los mamíferos, los anfibios, entre otros (Calvo, 2008). Al ser la especie dominante un árbol maderable, en el pasado se aprovecharon forestalmente muchas hectáreas que actualmente están siendo protegidas. Además, posee una alta capacidad para regeneración por lo que actualmente se está recuperando (Valverde, 2003).

Finalmente, el catival, presenta períodos largos de inundación semejante a los bosques de manglar por lo que se podría asumir que los cativales están almacenando grandes cantidades de carbono en forma de biomasa, aunque todavía no se han realizado trabajos de esta índole con *P. copaiifera*. Por ello, con este trabajo se pretende cuantificar la cantidad de CO₂ fijado en ambos ecosistemas e identificar cuál representa el mayor sumidero de carbono.

1.1. Antecedentes

Los ecosistemas costeros se encuentran amenazados por fenómenos naturales como por factores antropogénicos como la contaminación de los ríos y de la atmósfera dada las altas emisiones de gases de efecto invernadero. También, ha disminuido su cobertura vegetal, por la tala indiscriminada, esta acción puede deberse al poco control que tiene el Gobierno en estos sitios o por el poco conocimiento que tiene la población local sobre la importancia de mantener y cuidar estos bosques (McGranahan, Balk & Anderson, sf), mismos que incluyen los manglares y los cativales.

Los manglares contribuyen con el aumento en la diversidad biológica y son identificados como sitios de crianza y reproducción de especies; también contribuyen a mejorar la calidad del agua, evitan inundaciones, erosión de las playas, fijación carbono, entre otros (Yáñez–Arancibia & Lara–Domínguez, 1999). En relación a la fijación de carbono, Clough (1998) en Australia, determinó para varias especies del género *Rhizophora*, que el total neto anual de la fijación de carbono en el dosel y en la biomasa era de aproximadamente 29 toneladas de C ha⁻¹ año⁻¹.

Por otra parte, Lozano (2007), en Colombia, se enfocó en la mitigación del cambio climático, utilizando *Rhizophora stylosa* y *Avicennia germinans* y determinó que contenían 432.779 toneladas métricas de carbono, para un total de 17.531,24 ha. También, comparó el carbono fijado en bosques secundarios y bosques reforestados y obtuvo que se fijan alrededor de 94.368,30 y 243.716,98 toneladas respectivamente concluyendo que los manglares contienen más carbono fijado que otros ecosistemas.

Mientras que Kauffman, Hernández, Jesús, Heider & Contreras (2015) reportaron para Centla en México, una reserva media total de carbono de 1358 Mg/C, mientras que la biomasa arriba del árbol fue entre 114 y 265 Mg/ha. De igual manera, Alongi, Ayukai, Brunskill, Clough & Wollaskin (2008), en Australia, reportaron que el manglar fija más de 82.800 toneladas métricas de carbono cada año por lo que confirma que esa región es muy importante para la acumulación de materia orgánica, y esta materia orgánica es depositada en la Gran Barrera de Coral.

Por su parte, Díaz, Castro & Manjarrez (2010), reportaron que la especie *A. germinans* presentaba los valores más altos de fijación de carbono en los manglares

de Cartagena. Y Manrow (2011), en Costa Rica, reportó a *R. mangle* como la especie con el valor más alto de carbono fijado en la Laguna de Gandoca con 183,47 Mg/ha. Además, comparó el manglar con bosques primarios y secundarios llegando a la conclusión que la fijación en zonas de manglar presenta valores más altos que los otros tipos de bosques.

Más recientemente, Okimoto, Nose, Oshima, Tateda, y Ishii (2013), en Tailandia, midieron la fijación de carbono en árboles de *Rhizophora apiculata* en diferentes años, resultando en 12,6 Mg de carbono ha/año. De la misma manera, Blanco-Libreros, Ortiz-Acevedo y Urrego (2015), en Darién (Panamá-Colombia), midieron el carbono fijado en especies como *A. germinans*, *Laguncularia racemosa* y *R. mangle* y llegaron a la conclusión que *R. mangle* con 76,3 toneladas de C/ha fue la especie que presentó la mayor importancia como sumidero de carbono seguido de *A. germinans* con 31,9 toneladas de C/ha, siendo esta especie la que tuvo el valor más bajo de fijación.

Así como Adame, Santini, Toulla, Vásquez-Lule, Castro & Guevara (2015), en la región de Chiapas, ellos obtuvieron como resultado que, *A. germinans* presentó los valores más altos de secuestro de carbono en el suelo y en la biomasa aérea con 784,5 Mg C ha⁻¹.

Las investigaciones han estado enfocadas a valorar los servicios ambientales de estos ecosistemas. Los bosques de manglar, a nivel global, tienen una productividad primaria y secundaria asociada a la exportación de carbono, ésta es de aproximadamente 210 g C m² año⁻¹, con variación entre 1,86 g C m² año⁻¹ y 420 g cm² año⁻¹. Aproximadamente, el 75% de este material es carbón orgánico disuelto, pero la amplitud de marea, el nivel de la misma y la pluviosidad pueden aumentar la concentración del mismo (Yáñez-Arancibia, Day, Twilley & Day, 2014).

Este bosque costero tiene un valor muy alto debido a los servicios ambientales que ofrece, pero también presenta valor económico por lo que se debe conservar y tomar medidas de protección a corto plazo. Según De la Peña, Rojas & De la Peña (2010), este ecosistema tiene un valor económico promedio de US\$ 3,5 dólares y de €14,5 y 17,5 euros por tonelada de CO₂ reducido. Sanjurjo & Welch (2002) reportaron una ganancia de \$1000 por hectárea de bosque de manglar, fijando alrededor de 100 toneladas de carbono por hectárea con un valor de \$10 por tonelada.

Además de estos autores, en Costa Rica, Segura, Moreno, Hernández & Muñoz (2017) reportaron los siguientes valores promedios por servicios ecosistémicos; del humedal Gandoca-Manzanillo fue de \$90.638.845 ha/año, el manglar que se encuentra en esta zona de \$302.966 ha/año, el Humedal Terraba-Sierpe de \$380.094.983 ha/año y de \$246.856.514 ha/año para el manglar que se encuentra en ese humedal.

Por otra parte, los bosques de cativo no han recibido la misma atención que el bosque de manglar. En el catival no se han realizado estudios sobre fijación de carbono y siendo ecosistemas costeros, como los manglares, pueden estar fijando la misma cantidad o más carbono. Se sabe que ambos bosques fijan CO₂, esto por presentar largos periodos de inundación, pero esto hace que exista un limitante en la transferencia de las moléculas de CO₂ entre el aire y el suelo, teniendo una menor difusión de este gas, esto ayuda a mitigar el cambio climático (Adame et al., 2015).

Sin embargo, ecosistemas temporalmente inundados podrían anular esta condición ya que bajo condiciones anaeróbicas, se genera proporcionalmente más metano, el cual podría resultar más deletéreo que el CO₂ (Hernández, 2010). Por esto, la protección y el manejo eficiente del catival requiere un trato especial que potencie su valor ecosistémico hacia el desarrollo de estrategias de conservación y uso sostenible, como se hace con los manglares. Por esto, es necesario iniciar la investigación de línea base de información para los tomadores de decisiones.

1.2. Justificación

El cambio climático está poniendo en riesgo ecosistemas importantes que contribuyen a proteger la integridad humana, cambios en los patrones de mareas y aumento del nivel de mar, reduce la función de los bosques costeros, por ejemplo podrían reducir su capacidad para mitigar las tormentas y los efectos erosivos del oleaje. También, su fragilidad ha aumentado con el uso indiscriminado de estas áreas.

Los ecosistemas de manglar han sido sobreexplotados por actividades antropogénicas como la tala, la cual ha conseguido disminuir muchas hectáreas de este bosque. A nivel mundial este fenómeno se ha dado por actividades como la maricultura, la construcción de hoteles o casas en la playa, corrales para el ganado, la extracción de

carbón, taninos y tintes. Otra de las actividades que va reduciendo el espacio natural del manglar es la agricultura, esto debido a su expansión sin control (Yáñez–Arancibia et al., 1999; Díaz et al., 2010; Coll, Fonseca, & Cortés, 2001).

Los manglares constituyen grandes sumideros de carbono gracias a la fijación que se da en estructuras como las hojas, raíces y en los suelos donde estos crecen almacenándolo en vez de ser liberarlo a la atmósfera. Al talarlos, ocurre la liberación, tanto a la atmósfera como a la biosfera, de grandes cantidades de CO₂ y de metano. El bosque manglar es el que absorbe más cantidad de CO₂ en comparación con otros sistemas forestales. (Lozano, 2007).

Por esta razón, los gases de efecto invernadero están influyendo en un aumento de temperatura y los patrones de precipitación. Esto a su vez, afecta a las plántulas y al dosel que pueden generar mayores condiciones de anoxia en los suelos aumentando así la producción de metano que se va a liberar al ambiente. Estos son los motivos por los cuales los ecosistemas boscosos son muy importantes para reducir los gases de efecto invernadero. Por lo que, estos bosques ayudan a reducir los efectos del cambio climático al absorber una gran cantidad de dióxido de carbono y metano del medio.

El otro ecosistema inundado, el catival ha sido altamente deforestado por actividades antropogénicas, casi hasta su desaparición (González, Gómez & Arteaga, 1991). Este bosque ha sido poco estudiado y se desconoce su rol en la fijación de carbono, por esto, la importancia de este estudio. Sin embargo, es claro que los bosques inundados son muy importantes para la fijación del CO₂, ya que sus suelos retienen este gas más que otros bosques, que presentan un gran intercambio gaseoso (Parolin, 2002).

A pesar de que su importancia es reconocida en varios artículos científicos, en Costa Rica han sido escasamente estudiados en relación con la temática de interés. En el caso del Caribe Costarricense, este tipo de análisis se ha concentrado exclusivamente en manglares; mismos que no son considerados bosques inundados sino sistemas de estuarios.

Este trabajo pretende generar información que permita demostrar el papel que tienen los manglares y los cativales para mitigar los efectos del CO₂ para establecer cuál de los dos ecosistemas costeros es más eficiente en la fijación de carbono, ambos se encuentran protegidos y son parte de las reservas de carbono nacionales que se comprometieron para que el país alcance la condición de carbono neutralidad en el 2021.

1.3. Planteamiento del problema a investigar

En términos de cambio climático se emite un exceso de CO₂ a la atmósfera por las actividades humanas causando el rompimiento en el equilibrio de la misma. Algunos autores, como por ejemplo Furnier, 2003; Kauffman et al., 2015; Lozano 2007; Alongi et al., 2008, entre otros, mencionan que los bosques contribuyen a fijar el excedente de CO₂ y han catalogado al manglar como una fuente importante de esta fijación. En el Caribe de Costa Rica, hay otras asociaciones vegetales que pueden fijar una importante cantidad de carbono.

Aunado a esto, el análisis de riqueza de especies, la composición florística y cálculo de carbono fijado permitirán comparar cómo la diversidad presente en cada bosque es lo que determina la capacidad de fijar carbono y por lo tanto, sugerir cuál de los dos ecosistemas podría ser más resiliente ante los futuros cambios. Es por esto que el conocimiento que se adquiriera de este estudio, servirá para diseñar una gestión de manejo acorde con los rasgos más significativos de cada ecosistema

Por lo tanto, surge la interrogante ¿Qué es lo que hace a estos bosques ser diferentes y por lo tanto, cuál de los ambientes costeros está fijando más carbono, el bosque de cativo o el de manglar?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar el carbono fijado en la biomasa aérea con base en la estructura y composición florística en dos ecosistemas costeros del Refugio Nacional Mixto de Vida Silvestre Gandoca, Manzanillo (REGAMA), mediante parámetros dasométricos, para el diseño de una propuesta de gestión en el marco de los cambios globales.

1.4.2. Objetivos específicos

Caracterizar la riqueza, estructura y la composición florística del bosque de manglar y cativo del REGAMA.

Comparar el carbono fijado y su relación con los parámetros de riqueza y estructura de las comunidades de manglar y cativo en el REGAMA.

Diseñar una propuesta de gestión en el marco de los cambios globales para cada comunidad vegetal analizada, dirigido al mantenimiento e integridad ecológica en el REGAMA.

2. Marco Teórico

La fotosíntesis es el proceso por el cual la planta absorbe el dióxido de carbono y por medio de éste, hay productividad primaria, la cual es dependiente de la biomasa de los árboles (Valdés, Valdez, Ordáz, Gallardo, Pérez, & Ayala, 2011). Éste consiste en que el carbono atmosférico es absorbido por las hojas mediante el proceso de la fotosíntesis y luego, el carbono es transportado y acumulado en el sistema radicular, las ramas de los árboles y los tallos, principalmente en los leñosos (Vega, Mercedes, Suarez, & López, 2014).

Por lo anterior, los ecosistemas terrestres alrededor del mundo son depósitos considerables de carbono. Los bosques poseen alrededor de 340 pico gramos (Pg) de carbono en vegetación y 620 Pg en el suelo, a esto se le llama reserva de carbono. Por esta razón es importante mantener vivos estos bosques, ya que liberan gran cantidad de carbono a la atmósfera al ser deforestados teniendo un alto impacto en el equilibrio global. La mayor cantidad de carbono que se encuentra presente en el planeta, se puede encontrar en los bosques tropicales de baja latitud con un depósito de carbono del 62% (Kaninnen, 2001).

Entre los bosques costeros, el manglar posee alta importancia ya que acumulan más cantidad de carbono que los demás sistemas forestales ya que la velocidad de la descomposición de materia orgánica en el suelo es muy baja (Valdés et al., 2011). Los animales descomponedores se benefician de las hojas caídas a las cuales les extraen carbohidratos y le devuelven CO_2 atmosférico. Por lo que este ecosistema es un buen sumidero de carbón y contribuye en la mitigación del cambio climático (De la Peña et al., 2010).

Los sumideros de carbono son depósitos naturales o artificiales de carbono que absorbe el CO_2 de la atmósfera y reducen la cantidad que se encuentra en el aire. Estos se caracterizan en el manglar por liberar una baja cantidad de carbono a la atmósfera aunque el contenido de carbono en el manglar es más alto que en otro tipo de sistemas vegetales (Sanjurjo & Welch, 2002).

La importancia del carbono y de su ciclo en humedales se conocía desde principios de la década de los años 80. El carbono secuestrado (C) en los suelos fue removido de la

circulación de la atmósfera y permanece allí por largos periodos, que pueden ser hasta miles de años. Este C puede ser liberado a la atmósfera como consecuencia de la reducción de la masa forestal. Estas formaciones no ocupan ni el 3% de la extensión total del planeta, aunque contienen grandes cantidades de este elemento y estos aportarían más que otros sistemas a los intercambios del ciclo del C global (Valdés et al., 2011).

A pesar de estos aportes, desde principios de los años 80, se talaron aproximadamente 230.000 ha de manglar a nivel mundial y se calculó que se liberarían en los años subsiguientes 250.000 toneladas de C como consecuencia de esta tala, este fenómeno se debe a la exposición de los suelos y del restablecimiento del equilibrio natural. Se estimó que pasados 10 a 20 años, se liberarán de cuatro a nueve millones de toneladas de estos depósitos se habrían liberado a la atmósfera (Valdés et al., 2011).

Por otra parte, los bosques de manglar son ecosistemas que se ubican entre la tierra y el mar, en las zonas tropicales y subtropicales del mundo. Estos son árboles o arbustos que se desarrollan mejor cuando la energía de las olas es baja y hay deposición de finas partículas suspendidas, esto contribuye a que las raíces de estos árboles se puedan fijar a este sustrato y los manglares se puedan establecer (Alongi, 2002).

En los últimos 50 años, estos bosques fueron deforestados causando pérdidas de grandes extensiones y un aumento en la erosión en las costas, incremento en el nivel del mar, liberación de grandes cantidades de CO₂, las cuales fueron fijados por el manglar y por ende, hubo un aumento de CO₂ en la atmósfera y en el océano, contribuyendo al incremento de los efectos del cambio climático (Blanco-Libreros, et al., 2015; Adame et al., 2015).

Estas acciones afectan los servicios ecosistémicos que prestan los manglares y que han sido escasamente evaluados. Su valor deriva en que las reservas de carbono son apropiadas para implementar estrategias encauzadas a la mitigación del cambio climático. Los usos y valores de estos son posibles porque estos ecosistemas son altamente productivos, esto se debe a la caída de hojas, ramas y por la acumulación de materia orgánica en el suelo (Piedra & Sierra, 2014).

En América Latina, los manglares, están bien desarrollados en el ecuador a lo largo de sus costas. Estos están influidos por el dinamismo de la zona de convergencia intertropical, esto genera precipitaciones anuales superiores a los 2,000 mm, y en cuanto a las mareas hay regímenes variables. Es por lo anterior que se dan condiciones óptimas

en la parte Noroeste de Sur América, restringiendo severamente a los manglares dentro de los 10° del Ecuador y los mejor desarrollados se presentan desde el Norte de Ecuador, en la costa Pacífica de Colombia, Panamá y en el sur de Costa Rica (Yáñez–Arancibia et al., 1999).

Los manglares son estuarios que tienen influencia tanto de agua dulce como de agua salada, por lo que pueden tolerar condiciones extremas como la falta de oxígeno, alta salinidad, diferentes patrones de inundación, entre otros. Este ecosistema es importante para el ser humano ya que sirve de refugio y alimento a los peces, crustáceos y moluscos en sus etapas tempranas de vida, se extrae taninos, madera aserrable, leña, carbón, entre otros (Díaz et al., 2010).

En las costas Pacífico y Caribe se encuentran cuatro géneros principales de árboles que determinan la fisionomía de los manglares neotropicales: *Rhizophora* (Rhizophoraceae), *Avicennia* (Acanthaceae), *Laguncularia* (Combretaceae) y *Pelliciera* (Tetrameristaceae) (Tomlison 1994; Graham 1995), aunque algunos otros autores incluyen al género *Conocarpus* (Combretaceae) (Rull, 1998). A nivel global, se presentan 9 órdenes, 20 familias, 27 géneros y aproximadamente, 70 especies de manglar (Spalding, Blasco, & Field, 1997).

Asociadas a las especies nucleares de manglar se encuentran las especies acompañantes como lo son el *Taliparitiaceum* var. *Pernambucense* (Malvaceae), *Mora oleífera* (Fabaceae), *Annona glabra* (Annonaceae), *Montrichardia arborescens* (Araceae), *Hippomane mancinella* (Euphorbaceae), *Tabebuia palustris* (Bignoniaceae), *Pavonia spicata* (Malvaceae), *Carapa guianensis* (Meliaceae), *Acrostichum aureum* (Pteridaceae), *Typha latifolia* (Typhaceae), *Raphia taedigera* (Aracaceae), *Manicaria saccifera* (Arecaceae), y *Muelleria frutescens* (Fabaceae) (Silva-Benavides, 2009).

En el Caribe de Costa Rica, existen dos bosques de manglar documentados, uno ubicado en Moín y otro, en el Refugio de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo (REGAMA). Este último, es el más grande y desde 1976, su área se triplicó de 4.1 ha a 15 ha en el 2013. Esto se pudo deberse a la sedimentación y el terremoto de 1991, que pudo hacer que el área de la laguna se hundiera y que el nivel del mar aumentara. Todo lo contrario ha ocurrido en el resto del Caribe americano, reportándose una tasa anual de pérdida del manglar del 1% (Fonseca, Cortés, & Zamora, 2007; Cortés & Wehrtmann, 2009).

En el REGAMA, además de los manglares, se observan otros humedales, principalmente yolillales, cativales, pantanos herbáceos, entre otros. De los menos conocidos son los cativales, mismos que se encuentran a nivel del mar pero están influenciados por agua dulce (Instituto Nacional de Biodiversidad, 2012). Este tipo de bosques inundados son de gran importancia ya que acumulan nutrientes provenientes de los sedimentos arrastrados por escorrentía (Parolin, 2002).

Este ecosistema está dominado por cativo (*P. copaiifera*), con la particularidad de dominar en llanuras donde se presentan periodos de inundación con agua dulce y de crecimiento rápido con una alta producción de madera, por lo cual fue sometido a la presión extractiva maderera durante décadas. Estos bosques han sido reportados en el Caribe de Colombia, Nicaragua, Costa Rica y Panamá (González, Gómez & Arteaga, 1991; Giraldo y Del Valle, 2011).

Estos bosques se puede clasificar según los periodos que tiene de inundación como catival A1 que tienen un periodo de aproximadamente seis meses de inundación, el A2 que permanece inundado de tres a seis meses aproximadamente y A3 de menos de tres meses (Giraldo y Del Valle, 2011). En el REGAMA, el catival presentó estructura de tipo A1.

En el pasado, en la región entre Nicaragua y Colombia, el cativo tenía una extensión aproximada de 360.000 ha, de las cuales quedan en Colombia 90.000 ha y en Panamá en la provincia del Darién 30.000 ha por iniciativa de los pobladores que promovieron la tala sostenible (Grauel & Putz, 2004). En el Caribe de Costa Rica, tiene una extensión de 400 ha y se encuentra en tierras bajas donde el nivel del agua y la frecuencia de anegamiento son menores (Instituto Nacional de Biodiversidad, 2012).

De igual manera, en los cativales se desarrollan gran variedad de especies vegetales, siendo el cativo la especie dominante. Este ecosistema es diverso, con presencia de heliconias que atraen con su néctar a diferentes tipos de aves y de mariposas. Además, brinda refugio y albergue diferentes especies de aves (Calvo, 2008).

Al igual que los manglares, el catival por ser un humedal se considera un sumidero de dióxido de carbono. En los manglares se ha estimado que la productividad primaria es de más de 10 Mg C ha⁻¹ año⁻¹, cuyo valor indica que se encuentran en zonas tropicales. Al compararlos con otros ecosistemas como selvas (8.5 Mg C ha⁻¹ año⁻¹) y bosques

tropicales ($6 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) se podría deducir que los humedales, en este caso el manglar, presenta los valores más altos (Hernández, 2010).

A pesar de lo indicado, los cativales no se han analizado en relación con el carbono que contiene almacenado en su biomasa, por lo cual este estudio es una de las contribuciones a la evaluación de las reservas de carbono que se efectúan en el país. Debido a su gran extensión en la región del Caribe y a que estos son rodales monodominantes, que están a la orilla de la costa y por lo tanto, es probable que presten servicios ambientales similares a los manglares.

Existen dos métodos diferentes para realizar los análisis de carbono fijado en ecosistemas naturales. El primero se basa en las reservas epígeas de carbón, donde se incluyen árboles vivos y muertos en pie, arbustos y plántulas. El segundo método (hipogeo) incluye la madera muerta o podrida (pero que aún esté dura) y las reservas subterráneas como el suelo y raíces (Kauffman, Donato, & Adame, 2011).

Para realizar las estimaciones se emplean modelos de regresión alométricas, que se aplican para bosques tropicales y así, estimar la biomasa epígea. Existen diferentes modelos para la estimación de carbono y algunos eliminan los diámetros de los árboles pequeños debido a que no representan una muestra significativa del bosque, además estas ecuaciones se han realizado para diferentes ecosistemas como lo son las del manglar, bosques primarios o secundarios, trópicos, bosques templados, entre otros (Chave et al., 2005).

3. Marco Metodológico

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Refugio Nacional Mixto de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo (REGAMA), ubicado en el extremo sur de la Vertiente Caribe, entre las coordenadas $9^{\circ} 37' N$ y $82^{\circ} 40' O$. Se ubica al sur este de la Costa Caribe costarricense, entre la desembocadura del río Cócles y el río Sixaola, en la frontera con Panamá. Es parte integral del Corredor Biológico Talamanca Caribe (CBTC) en su extremo sur este. Va desde 0 m.s.n.m. sobre el nivel del mar hasta los 185 m.s.n.m., en los cerros de Manzanillo. Políticamente se ubica en la provincia de Limón, cantón de Talamanca, distrito de Sixaola (ProAmbi, 1996).

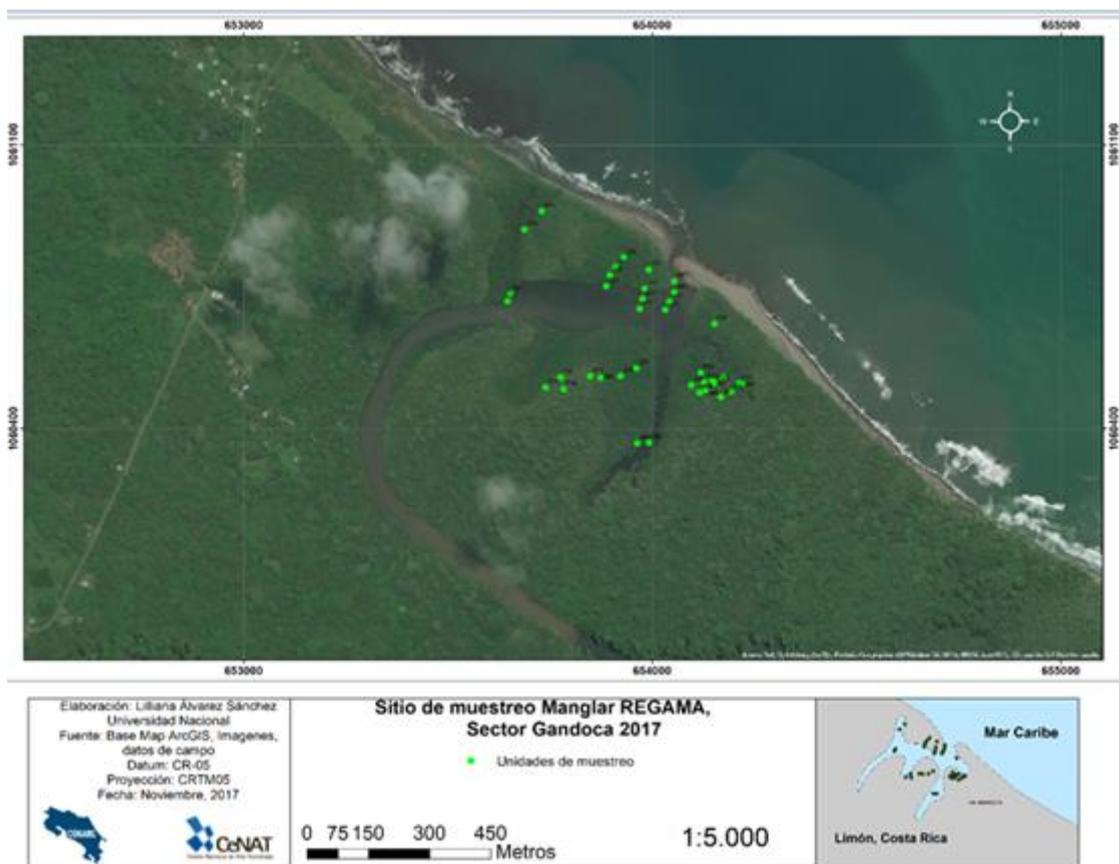


Fig. 1. Sitios de muestreo del manglar, en el sector de Gandoca en el REGAMA, Costa Rica 2017. Puntos verdes son las parcelas de muestreo

El REGAMA es un refugio mixto lo que significa que una porción de las propiedades son del Estado y otras son privadas. Por sus condiciones geográficas y

biológicas es un lugar de alta importancia que protege y alberga una gran cantidad de flora y fauna en peligro de extinción (Rojas & Rodríguez, 2013).

Según el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN) (2016), la Vertiente del Caribe presenta una temperatura promedio máxima de 29.79° y 21.95° C la mínima, una humedad relativa de 85.92%, con precipitación de 304.62 mm. Por la presencia del Fenómeno del Niño hace aproximadamente dos años, el INM reportó temperaturas que oscilaron entre 29-33° C incrementándose la temperatura en +1° C y una precipitación de aproximadamente 50-155 mm, esto para la región del Caribe.

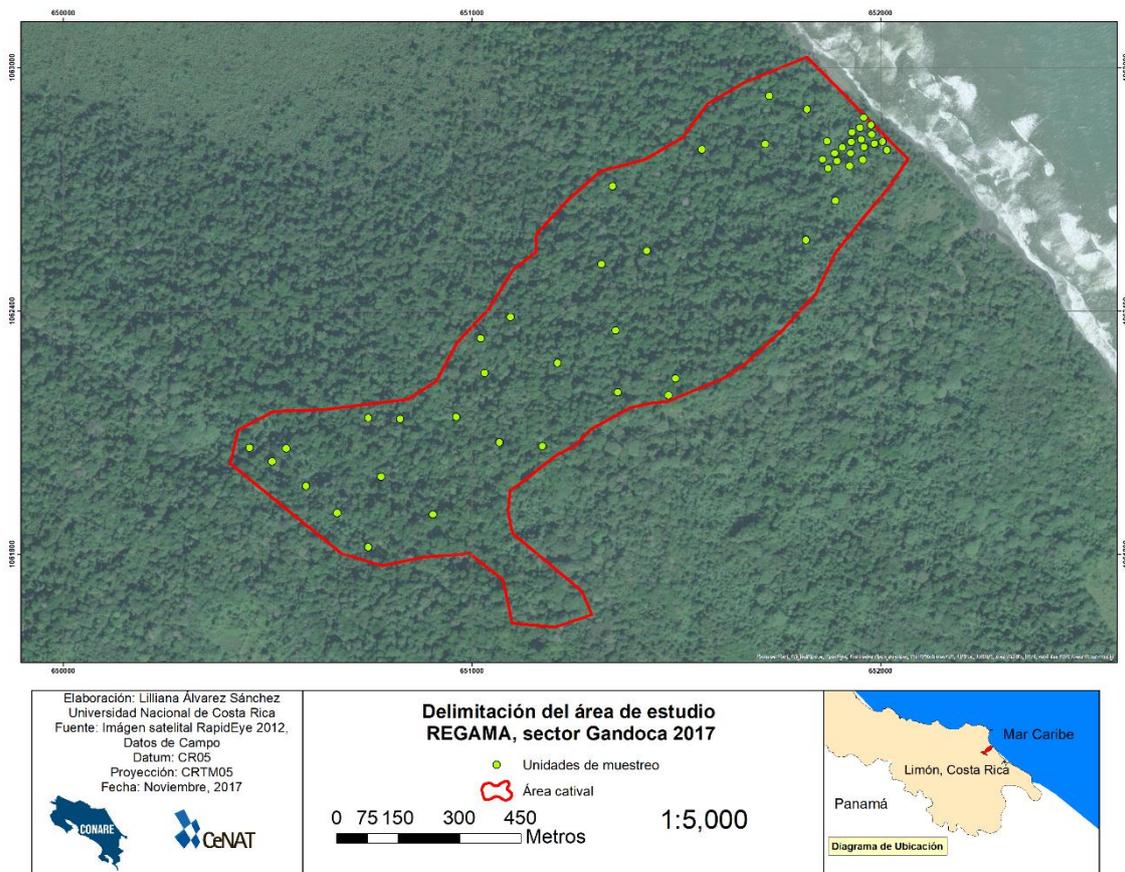


Fig. 2. Sitios de muestreo del catical, en el sector de Gandoca en el REGAMA, Costa Rica 2017. Líneas amarillas delimitación del área, puntos verdes son las parcelas muestreadas.

El clima de la región consiste en dos estaciones lluviosas, la primera de noviembre a marzo y la otra de junio a agosto y dos estaciones secas que van de abril a mayo y la otra de septiembre a noviembre. El microclima dentro del refugio se caracteriza por noches lluviosas y periodos de sol durante el día. El margen de las mareas oscila entre 30 y 50 cm. Las corrientes fluyen de noreste a sureste y presenta remolinos en dirección opuesta (Fonseca et al., 2007).

La laguna de Gandoca es una de las más grandes que posee la costa Caribe. En esta laguna podemos encontrar el manglar más extenso y con el mejor estado de conservación de la zona (Coll, Fonseca & Cortés, 2001). Este es un lugar declarado de “importancia internacional especial” para la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, RAMSAR (RAMSAR, 1995).

Diseño experimental

En el manglar se establecieron seis transectos ubicados perpendicularmente al espejo de agua, en este caso fue la laguna y la línea de costa de playa Gandoca. En cada transecto, se realizaron seis parcelas circulares de 7 m de radio que permite una estimación representativa de la composición, estructura y las reservas de carbono según el método propuesto por Kauffman et al. (2011). La separación entre las parcelas fue de 25 m aproximadamente, alguna parcelas no se ajustaron a esa distancia debido a la longitud del borde y la posibilidad de acceso en ciertas zonas tal y como lo modificaron diversos autores (Manrow, 2011; Murdiyarto, Donato, Kauffman, Kurnianto, Stidham & Kanninen 2009).

En el catival, se realizaron 48 parcelas (mismo diseño experimental del manglar) para mejorar la representatividad, debido a que tiene un área mayor que el manglar. La ubicación de las parcelas se realizó siguiendo el método de Kauffman et al. (2013) y otras fueron ubicadas aleatoriamente con el programa ArcGis 10.2[®] (ESRI, 2014), mediante la herramienta Create Ramdon Sample, tomando en cuenta el área total del catival y el espejo de agua, las parcelas se ubicaron perpendiculares a la quebrada Middle Creek y a la línea de costa de la playa de Gandoca.

Las variables que se midieron fueron: altura (estimada mediante un clinómetro, Suunto, PM-5/360PC), y el diámetro a la altura del pecho (DAP, en cm), que es el diámetro que tiene el fuste del árbol a una altura de 1,30 m sobre el nivel del pecho se midió con cinta diamétrica (Ugalde, 1981). En los casos que los árboles no presentaron fuste recto, presentando algunas bifurcaciones como: a) deformidades en el tronco del árbol a la altura de referencia, se midió a una distancia estándar encima de ese punto, b) cuando hay una bifurcación a la altura de 1,30 m se midió cada rama por separado, c) árboles con ramificaciones a 1.3 m la medida se tomó arriba de ellos, e) las raíces llegan hasta la copa de los árboles se midió por arriba de las raíces aéreas donde está el verdadero tronco (Kauffman et al., 2013).

Riqueza

La riqueza de ambos ecosistemas se determinó mediante la curva de rarefacción y el índice de Chao 2 (Ec. 1; González-Oreja, Fuente-Díaz, Henández-Satín, Franco & Bonache-Regidor, 2010), se obtiene a medida que se van muestreando más individuos, porque se van registrando más especies. Esta curva de muestreo aumenta relativamente rápido al principio, luego más lentamente en muestras posteriores a medida que se agregan taxones cada vez más raros. En principio, para una investigación de alcance espacial bien definido, se llegará a una asíntota y no se agregarán más taxones (Gotelli & Colwell, 2001).

$$\text{Índice de Chao 2} = \text{Especies observadas} + \frac{(\text{Especies encontradas en una muestra})^2}{(\text{Especies encontradas en dos muestras})^2} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Estructura horizontal

Se utilizó el área basal para obtener los valores de dominancia y el número total de árboles para obtener frecuencia y densidad. La dominancia es la suma de todas las áreas basales de cada especie. De esta manera, la dominancia absoluta es la suma de las áreas asimétricas de una especie expresada en m² y la relativa (Ec. 2) como el cociente entre el área basal de una especie entre la suma del área basal de todas las especies, se expresa como un porcentaje (Lamprecht, 1990).

$$\text{Dominancia Relativa} = \frac{\text{área basal (especie)}}{\text{área basal (todos individuos)}} * 100 \quad \text{(Ecuación 2)}$$

La densidad corresponde al número de árboles por especie. La densidad absoluta es el número de individuos de una especie; la relativa es una proporción porcentual del número de individuos de una especie entre la sumatoria de los individuos de todas las especies (Ec. 3; Lamprecht, 1990). En tanto que la frecuencia es la existencia o falta de una especie dentro de una determinada parcela y se expresa como un porcentaje (Ec. 4; Lamprecht, 1990). También, se estimó la distribución de clases con la fórmula de Sturges (Ec. 5), se obtuvo un total de 10 clases diamétricas. El modelo general de la distribución del número de árboles por clase diamétrica es la de una J invertida (Valerio & Salas, 1997).

$$\text{Densidad Relativa} = \frac{\# \text{ ind de una especie}}{\# \text{ total ind de todas las especies}} * 100 \quad \text{(Ecuación 3)}$$

$$\text{Frecuencia Relativa} = \frac{\# \text{ Parcelas que contienen una especie}}{\# \text{ Total de parcelas}} * 100 \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$$\text{Intervalo de clases de Sturges} = 1 + 3,322 * \text{LOG}(N) \quad \text{(Ecuación 5)}$$

El Índice de Valor de Importancia (IVI) corresponde a la suma de la dominancia, la abundancia y la frecuencia relativas (Ec. 6). Este índice indica la importancia ecológica que tienen las especies en estos humedales. Por lo que muestra las especies indicadoras de los bosques, en su composición, estructura, en lo referente al sitio y a su dinámica (Lamprecht, 1990).

$$IVI = \frac{\text{Dominancia relativa} + \text{Densidad relativa} + \text{Frecuencia relativa}}{3} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Estructura vertical

Esto se realizó según la distribución de las alturas en los dos ecosistemas. Las clases de altura se definen según las categorías de IUFRO (1968) citado por Zamora (2010) como:

Piso superior: con una altura $> 2/3$ de la altura superior

Piso medio: altura entre $2/3$ y $1/3$ de la altura superior

Piso inferior: con altura $< 1/3$ de la altura superior

Composición florística

Los árboles que se midieron incluyeron tanto la biomasa viva y la muerta que tuviera un ángulo vertical de 45° (ambos con $\text{DAP} \geq 5$ cm). En el caso de individuos con raíces aéreas, la medición del DAP se realizó arriba de la raíz más alta (Cintrón & Schaeffer 1984; Murdiyarso et al., 2009).

La vegetación se caracterizó de la siguiente forma: leñosas con $\text{DAP} \geq 5$ cm se les denominó especies nucleares y a las especies con $\text{DAP} < 5$ cm y las herbáceas se les denominó especies asociadas del manglar y cativo (Kauffman et al., 2011). Se tomaron fotografías para la identificación de las especies, esto para no perder ciertas características físicas, como el color de las flores cuando están frescas, se recolectó una muestra, se prensó, en el herbario Anastasio Alfaro se secaron y se identificaron empleando guías dendrológicas de Sánchez (2001); Morales (2006); Gutiérrez (2000) y Condit, Pérez, & Daguerre (2011). Algunas especies se identificaron *in situ*.

Densidad de madera

La medición de la densidad de la madera específica para la zona de estudio, fue medida a partir de 9 muestras de *R. mangle*, 12 de *L. racemosa* y 9 de *P. copaiifera* las que se analizaron en el laboratorio de LANOTEC en el CeNAT. Las muestras se tomaron a 1,30 m del suelo empleando el taladro Pressler de 0.4 mm de diámetro y se transportaron al laboratorio en bolsas con cierre.

En el LANOTEC se colocaron las muestras en un recipiente con agua hasta que se hidrataron y alcanzaron el punto de saturación. Posteriormente, se midió el diámetro con un vernier y se midió el peso con una balanza analítica Scientech ($\pm 0,0001$ g). Posteriormente, estas muestras se pusieron a secar en un horno a 105° C por 24 horas. Por último, las muestras se enfriaron y se repitió el proceso de medición y pesaje, con el cuidado de utilizar pinzas y guantes para evitar alterar la masa por la absorción de grasa de las manos (Valencia & Vargas, 1997).

Con estas mediciones se estimó el volumen verde (Ec. 7) y la densidad básica de la madera (Ec. 8), según las ecuaciones propuestas por Smith (1987, citado por Valencia y Vargas, 1997).

$$V_v = \frac{\pi * D^2 * L}{4} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

donde D^2 es el diámetro al cuadrado taladro Pressler (cm), L es la longitud de la madera (cm) y V_v es el volumen verde (cm^3).

$$D_b = \frac{P_o}{V_v} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

donde P_o es el peso anhídrido (g) y D_b la densidad básica (g/cm^3).

A los pesos, diámetros y las densidades obtenidas se les estimó la incertidumbre para validar los datos para las especies de *R. mangle*, *L. racemosa* y *P. copaiifera*. Esto se estimó uniendo las ecuaciones 7 y 8

$$\Delta D_b = \frac{\Delta P_o}{V_v} + \frac{P_o}{V_v^2} \left[\frac{\pi}{2} * L * D * \Delta D + \frac{\pi}{4} D^2 * \Delta L \right] \quad \text{(Ecuación 9)}$$

donde ΔD_b es la incertidumbre de la densidad básica, ΔP_o es el peso anhídrido, V_v es el volumen verde, L es la longitud de la madera y D es el diámetro del taladro de incremento.

Para calcular la biomasa de cada especie arborecente de cada ecosistema, se utilizó el método alométrico, aplicando la ecuación de Chave et al. (2005) siendo específica para manglares de zonas tropicales:

$$Bt = 0,0509 * \rho * DAP^2 * h \quad \text{(Ecuación 10)}$$

donde Bt es la biomasa total arriba del suelo (Kg/árbol), DAP es el diámetro a altura de pecho o arriba de raíz más alta (cm), ρ es la densidad de la madera por especie (g/cm^3) y h es la altura (m).

Por otra parte, Brown, Gillespie y Lugo (1989) elaboraron diferentes ecuaciones alométricas para bosques tropicales húmedos, una para especies a las que se les conoce la densidad de la madera (Ecuación 2) y otra, para las especies donde la densidad de la madera es desconocida (Ecuación 3)

$$Bt = e^{[-2,4090+0,9522*\log(D^2*H*S)]} \quad \text{(Ecuación 11)}$$

donde Bt es la biomasa total arriba del suelo (Kg/árbol), H es la altura (m), D es el diámetro a la altura del pecho (cm) y S es la densidad básica de la madera (g/cm^3).

$$Bt = e^{[-3,1141+0,979*\log(D^2*H)]} \quad \text{(Ecuación 12)}$$

donde Bt es la biomasa total arriba del suelo (Kg/árbol), H es la altura (m) y D es el diámetro a la altura del pecho (cm).

Carbono fijado

Las estimaciones de biomasa se transformaron en carbono, usando un factor de conversión de 0.464 g C por 1 g de la biomasa (Manrow, 2011; Kauffman, et al., 2011; Kauffman et al., 2015), esta conversión fue para los datos de biomasa en carbono. Luego esta biomasa se multiplicó por otro factor de conversión de 0.3, el cual correspondió al carbono que se encuentra en las estructuras de los árboles (tronco, ramas, hojas) como parte de la materia inorgánica (Nebel, Kvist, Vanclay, Christensen, Freitas & Ruíz 2001).

Para los cálculos de reserva de carbono total, el área total del manglar se calculó mediante el uso de imágenes satelitales Spot 7 con resolución de 1.5 pixeles y de los puntos GPS que habían sido tomados con anterioridad para determinar la ubicación de las parcelas. Se empleó el programa ArcMaps 2.0[®], siendo un área total de 24.57 hectáreas. El catival se delimitó el área marcando los bordes con puntos de GPS (Garmin 62s). Estos

se procesaron en el programa ArcMaps 2.0[®] y se calculó el área total, que fue de 94.52 hectáreas. Con estos datos se extrapoló el carbono fijado en ambos ecosistemas.

El análisis de componentes principales (ACP) se utilizó como factor los sitios de muestreos y en las variables la riqueza, carbono fijado, estructura vertical y horizontal. A estas variables se les realizó una transformación logarítmica ya que no presentaban el supuesto de normalidad empleando el programa Past 2.0[®] (Hammer, Harper, & Ryan 2001).

Propuesta de gestión

Se abordaron los aspectos generales contemplados en la guía metodología para planes de manejo del Sistema Nacional de Áreas de Conservación del 1996, que promueve la generación de conocimiento sobre la diversidad que presenta el REGAMA. Además, en el presente trabajo se valoró la fijación de carbono en dos diferentes ecosistemas costeros.

La información que se obtuvo en este estudio, se hará de conocimiento para los funcionarios del Refugio. Esto con el objetivo de velar por la salud de estos espacios naturales y valoren los servicios ecosistémicos que estos bosques proporciona a la fijación de carbono, dándole un manejo adecuado, basado en criterios técnicos, vinculando a actores claves para una futura implementación de un plan de manejo (SINAC, 2014).

4. Resultados

En el manglar se presentaron solo dos especies nucleares (*R.mangle* y *L. racemosa*), por lo que la curva de acumulación de especies llegó rápidamente a su asíntota. En el catival, se encontraron un total de 26 especies nucleares (Cuadro 1). Este número de especies aumentó conforme el esfuerzo de muestreo se intensificó, es decir, cuantas más parcelas se muestrearon se fueron incorporando nuevas especies hasta alcanzar la asíntota. Además, se calculó el Índice de Chao 2, que estima un total de 27 especies en el área de estudio, lo que representa un buen esfuerzo de muestreo porque se encontró un 96% de especies (Fig. 3).

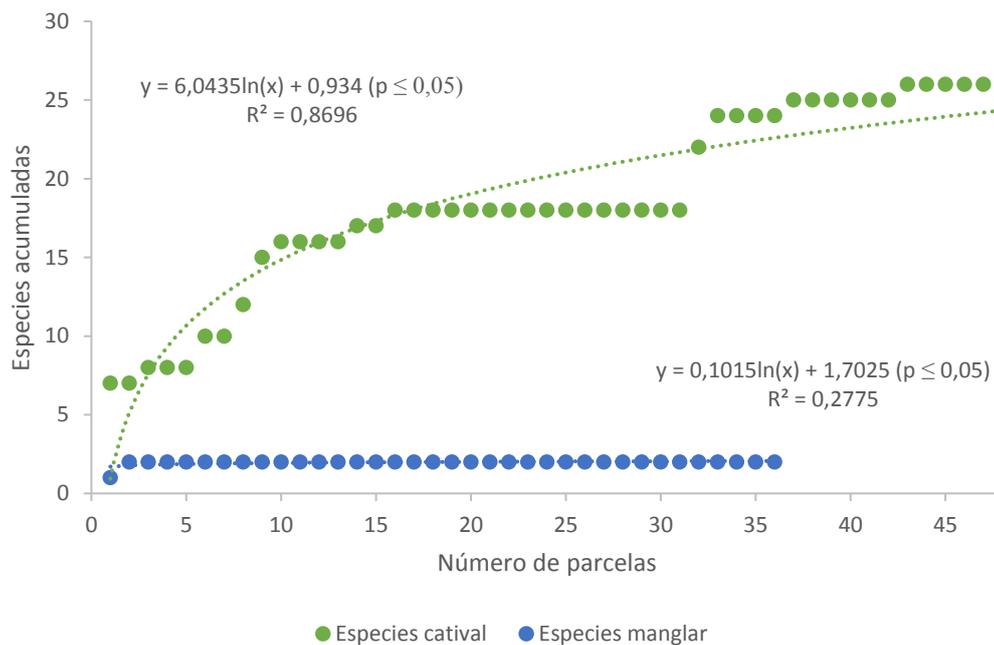


Fig. 3. Curva de rarefacción del manglar y catival, en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017. Parcelas de 153.86 m², especies con DAP \geq 5 cm

Ambos ecosistemas, tuvieron una estructura típica de los bosques secundarios y de bosques maduros saludables, donde el número de individuos por la clase diamétrica presentaron una J invertida, donde el número de individuos es menor conforme aumenta

su diámetro y aparecen más individuos conforme el diámetro es menor. Además, el catival presentó mayores diámetros con respecto con el manglar (Fig. 5).

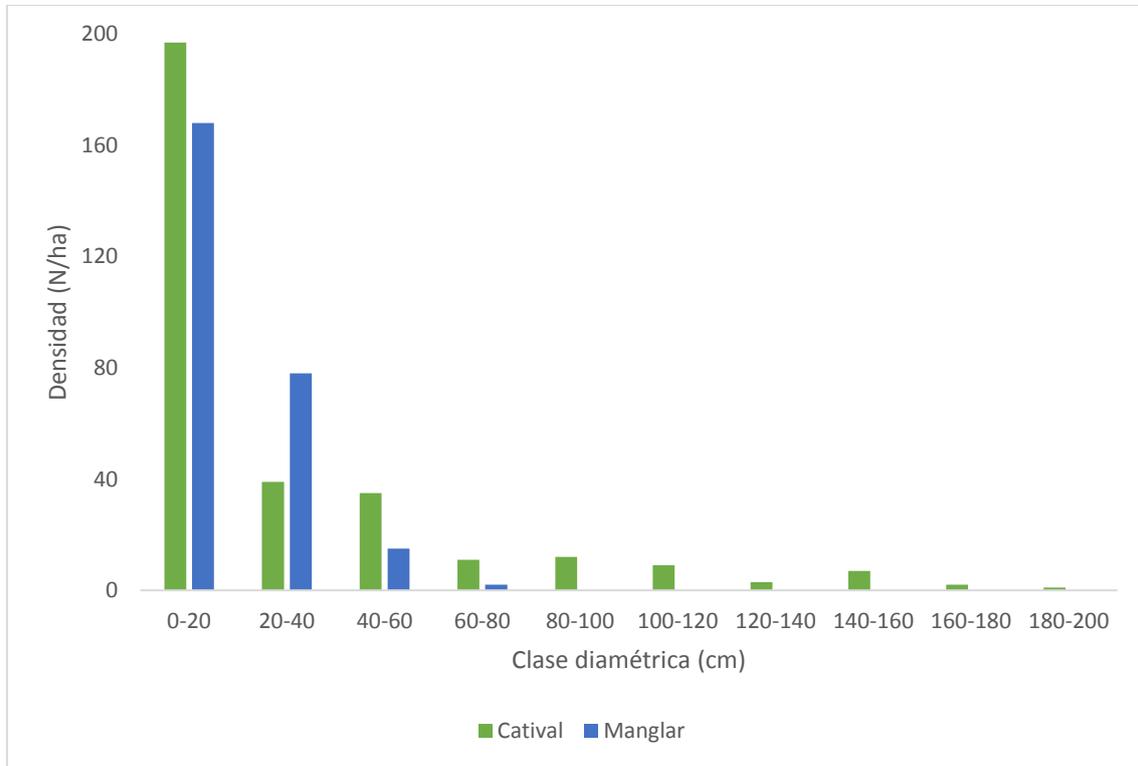


Fig. 4. Distribución diamétrica de los árboles en el manglar y catival, en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017.

Las alturas de los árboles fueron mayores en el catival, el piso inferior presentó los individuos con alturas menores de 19 m. En el piso medio, los individuos con los valores entre 19 y 39 m y el piso superior, presentó la menor cantidad de individuos, con valores mayores a los 39 m (Fig. 5).

En el manglar, los individuos mostraron alturas menores con respecto a las encontradas en el catival. En el piso inferior, los individuos presentaron valores menores de 10 m. En el piso medio se observó la mayor cantidad de individuos, presentando alturas entre los 10 y 20 m y en el piso superior, se hallaron la menor cantidad de individuos con las alturas mayores a 20 m (Fig. 5).

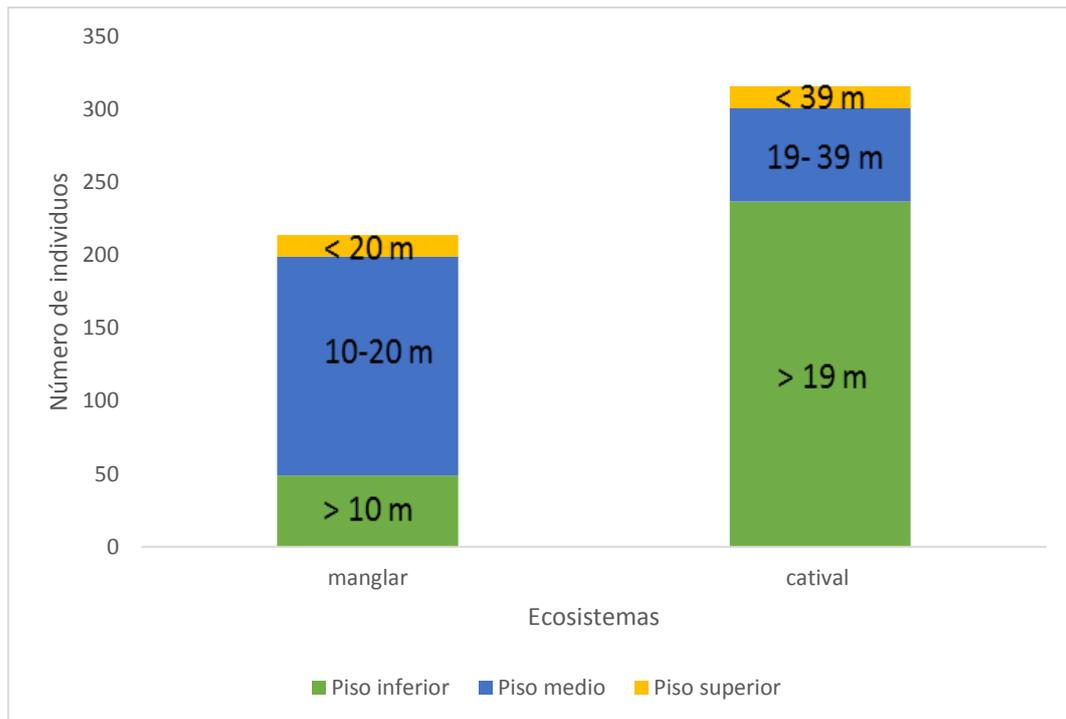


Fig. 5. Distribución de alturas (m) de los individuos presentes en el manglar y catival, en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017

Respecto a la composición florística, se observó en el ecosistema de manglar un total de 38 especies vegetales, entre herbáceas y leñosas. Dos de las especies fueron nucleares, mientras que 36 fueron acompañantes. De las nucleares, la que tuvo más individuos fue *R. mangle* y seguido de *L. racemosa* (Anexo 1).

Las especies acompañantes del manglar con más representatividad fueron las Araceae (cuatro géneros), los cuales fueron *Anthurium*, *Monthricardia*, *Philodendrum* y *Syngonium*. Arecaceae (tres géneros) fueron *Chamarodea*, *Asterogyne* y *Cocos*. Fabaceae (tres géneros) representados por *Prioria*, *Pterocarpus* y *Zygia*. Por último, Orchidaceae (tres géneros). Las dos especies con mayor frecuencia de aparición en las parcelas fueron *Hymenocallis littoralis* y *Acrostichum aureum*. La última fue la que tuvo más frecuencia de aparición en todas las parcelas con muchos individuos (Anexo 2).

En el catival presentó 68 especies entre leñosas y herbáceas, las cuales se distribuyeron en 44 familias diferentes. En especies nucleares muestreadas estaban representadas por 17 familias, en 26 géneros. Las familias en las que se encontraron la mayor cantidad de representantes fueron Fabaceae (cuatro géneros), Combretaceae (tres

géneros), Euphobaceae (dos géneros), Malvaceae (dos géneros), Moraceae (dos géneros) y las restantes 21 familias presentaron un único género (Anexo 3).

Las especies acompañantes del catival con más representantes fueron Araceae (cuatro géneros) que fueron *Dieffenbrachia*, *Spathiphyllum*, *Philodendrum* y *Syngonium*. En la familia Arecaceae (tres géneros) fueron *Cocos*, *Astrocaryum* y *Socratea*; seguida de Thelypteridaceae (un género), Cyclanthaceae (dos géneros) *Carludovica* y *Cyclanthus*. Heliconaceae está representada por el género *Heliconia*; Nephrolepidaceae (un género), Piperaceae (dos géneros), Melastomataceae (dos géneros), Lomariopsidae (un género); las restantes 34 familias presentaron un género (Anexo 4).

Además, se destacó la presencia de tres especies exóticas, las cuales fueron *Cordyline fruticosa*, *Tradescantia cerinthoides* y *Smilax cordifolia* (Anexo 4). La especie del manglar con el valor más alto del IVI fue *R. mangle* con la mayor densidad, frecuencia y área basal, seguida de *L. racemosa* (Cuadro 1).

En el catival, las tres especies con valores mayores de IVI, en orden descendente fueron *P. copaifera*, seguido de *G. americana*, en tercer lugar *Q. guatemalteca*. Esta última especie reportó menor área basal que *V. sebifera* pero presentó una mayor frecuencia. Seguidamente de *V. sebifera* y *C. rufescens*, que al igual que la anterior, tiene menor área basal que *P. macroloba*. Después *T. ahouai*, *A. costarricensis*, *P. officinalis* y *S. mombin* que tienen menor densidad, frecuencia y área basal que *P. macroloba*. Estas diez primeras especies representan un 85% del total del IVI, mientras que las otras 16 especies solo representan el 15% (Cuadro 1).

Cuadro. 1. Características de las especies de manglar y catival, en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017

Sitio muestreo	Especies	Densidad (%)	Frecuencia (%)	Dominancia (%)	Área basal (m ²)	Valor de importancia (%)
Manglar	<i>R. mangle</i>	78	66	77	8,5	74
	<i>L. racemosa</i>	22	34	23	2,59	26
	<i>Prioria copaifera</i>	16,5	15,4	34,5	44	36,2
	<i>Genipa americana</i>	16,1	11	1,6	2,1	10,2
	<i>Quararibea guatemalteca</i>	13,3	12,1	0,6	0,6	8,8
	<i>Virola sebifera</i>	9,8	10,4	4,5	3,4	8,7
	<i>Cupania rufescens</i>	9,5	9,9	19,6	1,1	7,1
	<i>Pentaclethra macroloba</i>	6	6	1,5	1,5	4,9
	<i>Thevetia ahouai</i>	4,7	3,8	3,3	0,2	3
	<i>Alchornea costarricensis</i>	3,5	3,4	8,8	0,5	2,7
	<i>Pterocarpus officinalis</i>	4,8	3,8	1,8	0,4	1,9
	<i>Spondias mombin</i>	2,2	3,2	0,5	0,3	1,7
	10 especies de la parte superior	86,4	79	76,8	54,1	85,2
	16 de otras especies	13,6	21	23,2	3,2	14,8
Catival	Total 26 especies					

Los valores de densidad de las dos especies de leñosas en la localidad de Gandoca mostraron que *L. racemosa*, presentó el mayor valor seguida de *R. mangle*. *P. copaifera* en el catival presentó el valor más bajo de éstas tres (Cuadro 3).

Cuadro. 2. Densidad específicas para Gandoca obtenidos en el LANOTEC para dos especies de manglar y una del catival, REGAMA, 2017

Especie	Densidad (g/cm ³)
<i>R. mangle</i>	0,7585 ± 0,1373
<i>L. racemosa</i>	0,8584 ± 0,7919
<i>P. copaifera</i>	0,4719 ± 0,0539

Los valores más altos de biomasa arriba del suelo en el ecosistema de manglar, los presentó *R. mangle* con 76 Mg ha⁻¹ y *L. racemosa* con 25 Mg ha⁻¹ que obtuvo los valores más bajos (Fig. 6).

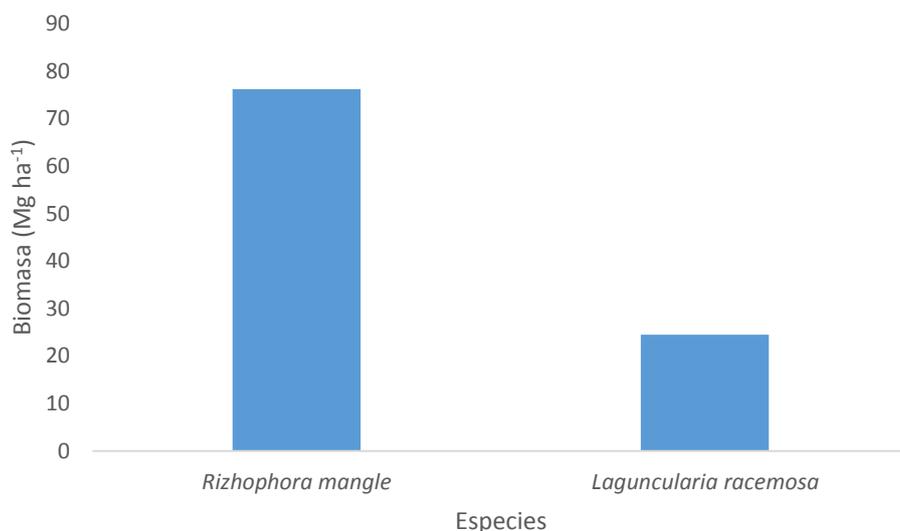


Fig. 6. Biomasa arriba del suelo (mega gramos entre hectárea) de las dos diferentes especies de manglar, en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017

En el catival, la mayor biomasa arriba del suelo la presentó *P. copaiifera* (340 Mg ha⁻¹), seguido de *P. macroloba* (29 Mg ha⁻¹), *V. sebifera* (17 Mg ha⁻¹), *Sapium acuparium* (15 Mg ha⁻¹), *G. americana* (12 Mg ha⁻¹), *C. rufescens* (8 Mg ha⁻¹), *Carapa guianensis* (5 Mg ha⁻¹), *Q. guatemalteca* y *A. costarricensis* (4 Mg ha⁻¹), *P. officialis* (3 Mg ha⁻¹), *S. mombin* y *Zanthoxylum panamensis* (2 Mg ha⁻¹), *Balizia elegans*, *Licania platypus*, *T. ahouai*, *Symphonia globulifera* y *Terminalia oblonga* (1 Mg ha⁻¹) y las restantes nueve especies con valores menores de un Mg ha⁻¹ (Fig. 7).

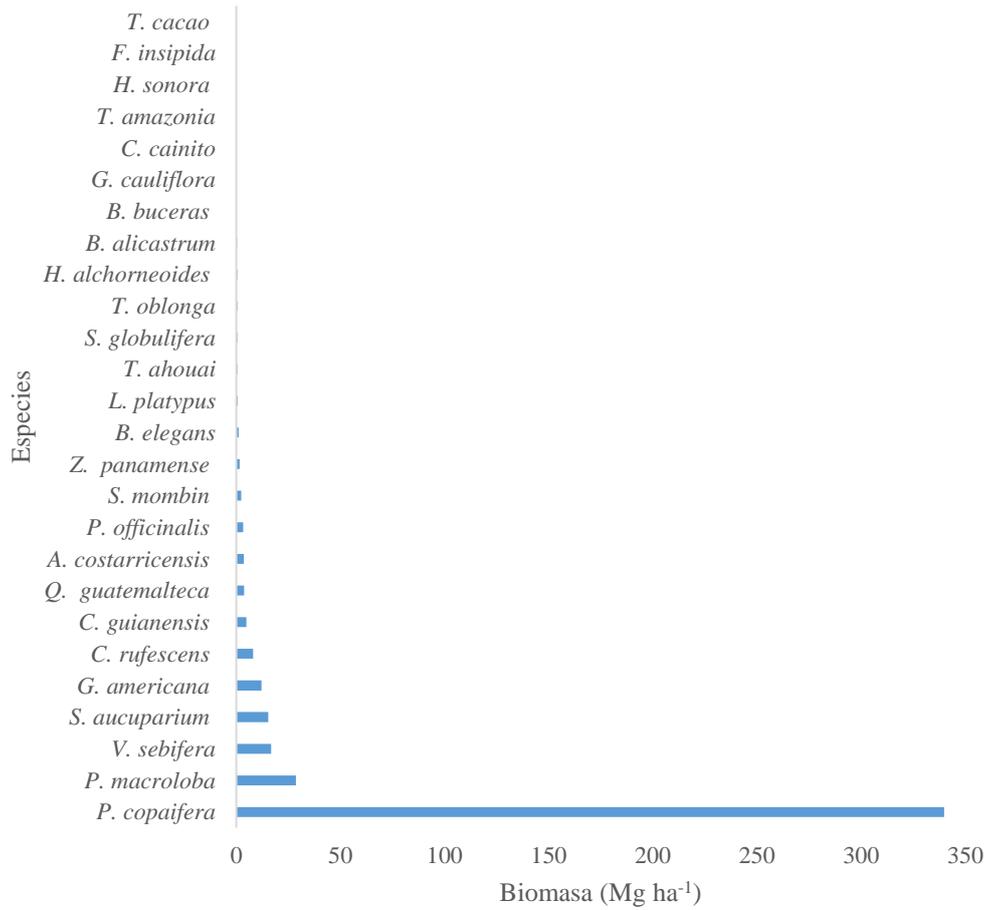


Fig. 7. Biomasa arriba del suelo en (mega gramos entre hectárea) de las diferentes especies del catival, en el sector de Gandoca en el REGAMA 2017

En el ecosistema de manglar, la reserva de carbono en las parcelas muestreadas fue de 23 Mg ha⁻¹ para *R. mangle* y de 7 Mg ha⁻¹ para la especie *L. racemosa* (Fig. 8).

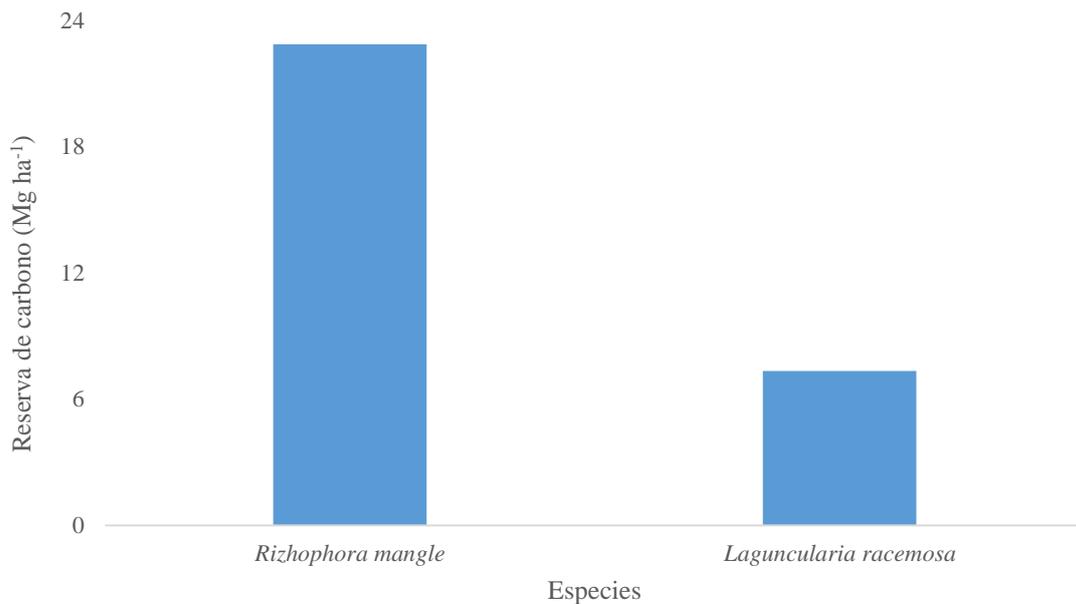


Fig. 8. Reserva de carbono (mega gramos entre hectárea) en las parcelas muestreadas del manglar, en el sector de Gandoca, REGAMA, 2017

La reserva de carbono para las parcelas que se muestrearon en el catival, fue para *P. copaiifera* 102 Mg ha⁻¹, *P. maculoba* 9 Mg ha⁻¹, *V. sebifera* 5 Mg ha⁻¹, *G. americana* 4 Mg ha⁻¹, *S. aucuparium* 3 Mg ha⁻¹, *C. rufescens* 2 Mg ha⁻¹ y para las especies *C. guianensis*, *A. costarricensis*, *P. officinalis* y *Q. guatemalteca* 1 Mg ha⁻¹, para las otras 17 especies los valores son menos de 1 Mg ha⁻¹ (Fig. 9).

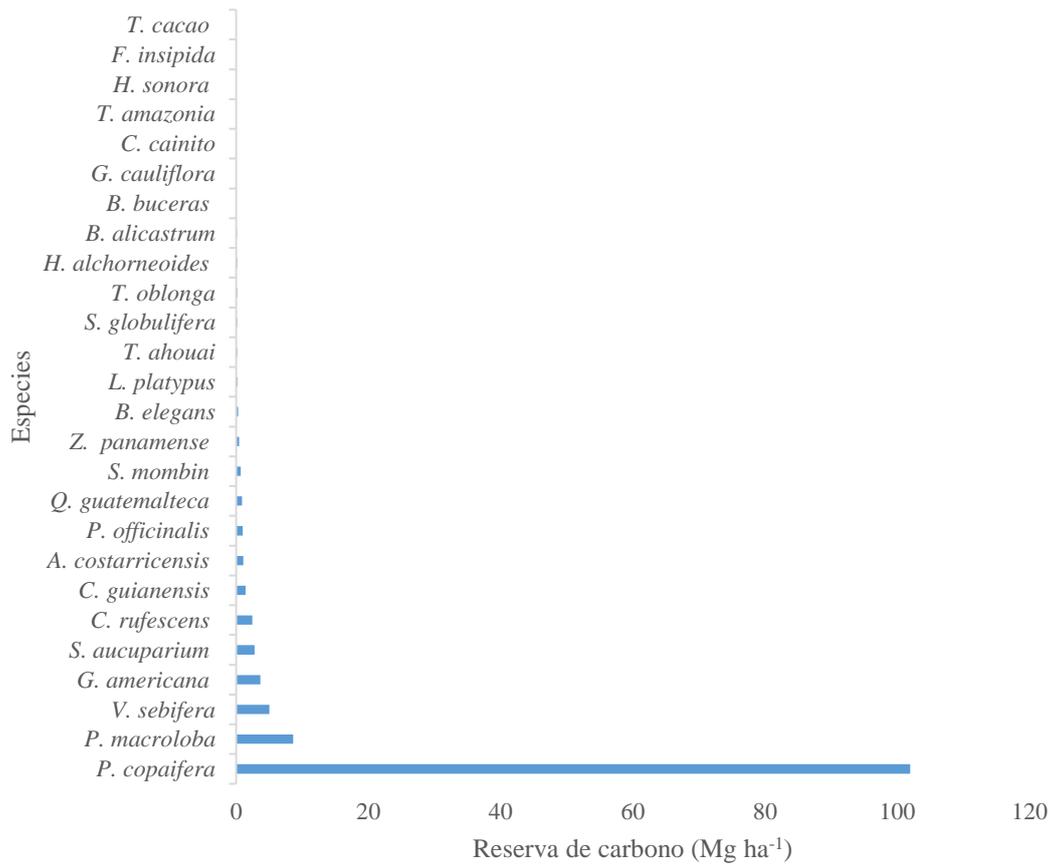


Fig. 9. Reserva de carbono (mega gramos entre hectárea) de las parcelas muestreadas en el catival con las diferentes especies, en el sector de Gandoca, REGAMA, 2017

En el área total del ecosistema de manglar, la reserva de carbono, fue de 36512 Mg ha⁻¹ para *R. mangle* y de 11733 Mg ha⁻¹ para *L. racemosa* (Fig. 10).

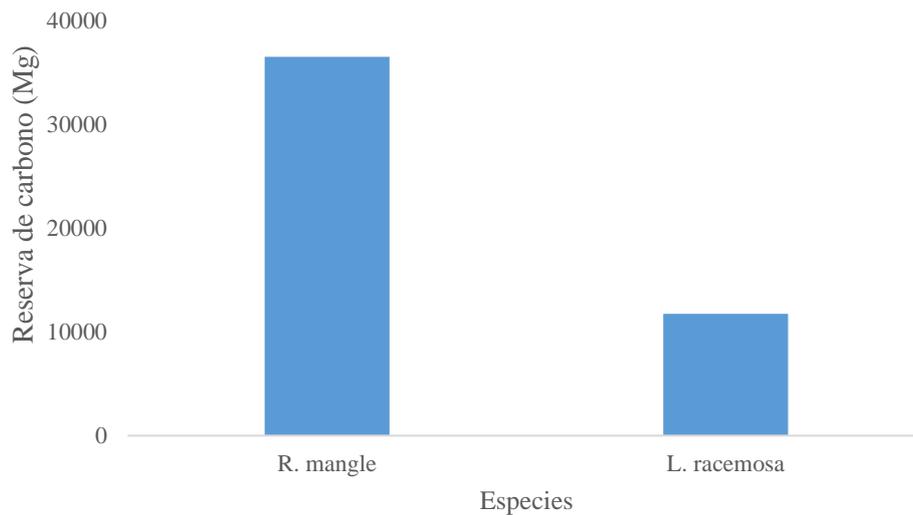


Fig. 10. Reserva de carbono del área total (mega gramos) para las especies de manglar, en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017

En el ecosistema del catival, la reserva de carbono para el área total de las especies que presentaron los valores más altos, *P. copaifera* 626165 Mg C, *P. macroloba* 52854 Mg C, *V. sebifera* 30912 Mg C, *S. acuparium* 22280 Mg C, *G. americana* 22347 Mg C, *C. rufescens* 14133 Mg C (Fig. 11).

Por otra parte, se extrapolaron los datos de reserva de carbono al área total, tanto del manglar como del catival y se obtuvieron valores de 48245 Mg C y 821001 Mg C respectivamente.

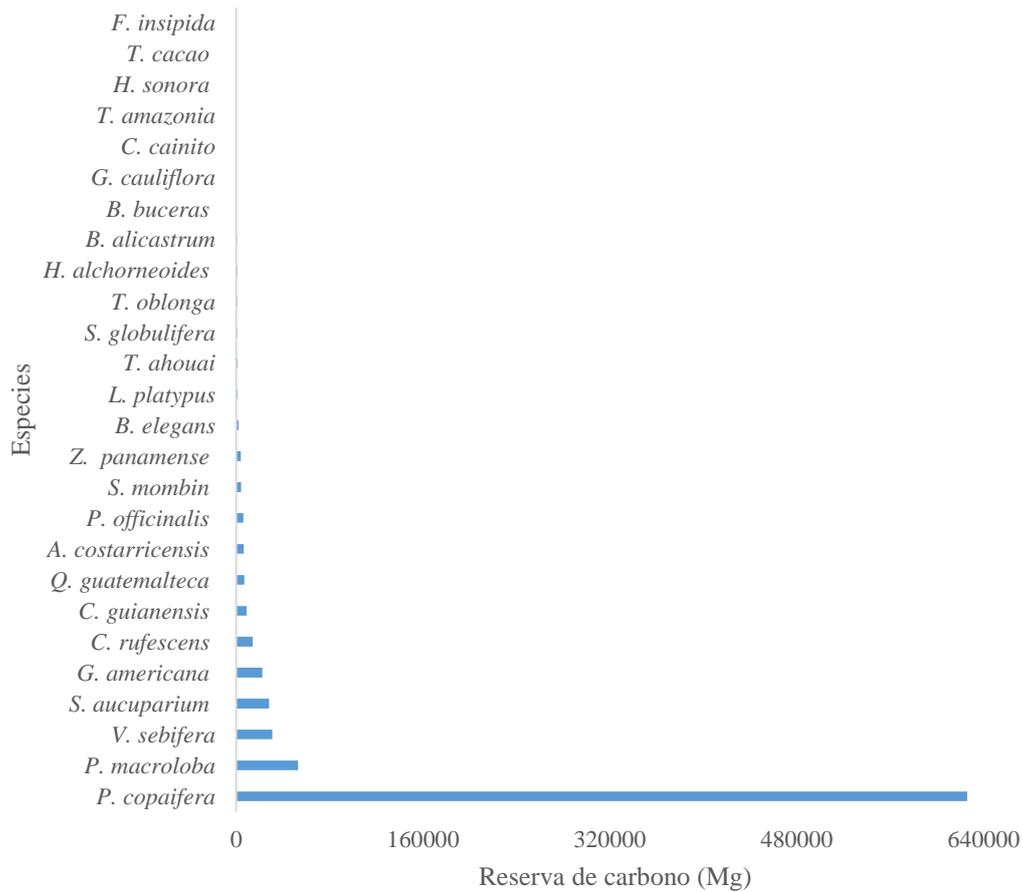


Fig. 11. Reserva de carbono del área total (mega gramos) del catival en las diferentes especies presentes, en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017

Según el análisis de componentes principales, el manglar se caracterizó por valores altos de riqueza de especies, que se pudo relacionar con la estructura horizontal y el carbono, pero con una baja estructura vertical (CP1=83.49%; CP2=9.98%). Por otra parte, en el catival, se presentaron valores altos de riqueza de especies, mientras que el carbono y la estructura vertical presentaron valores similares, por lo que se puede asumir

que ambos parámetros están relacionadas (CP2=90.26%; CP2=6.93%) (Fig. 12).

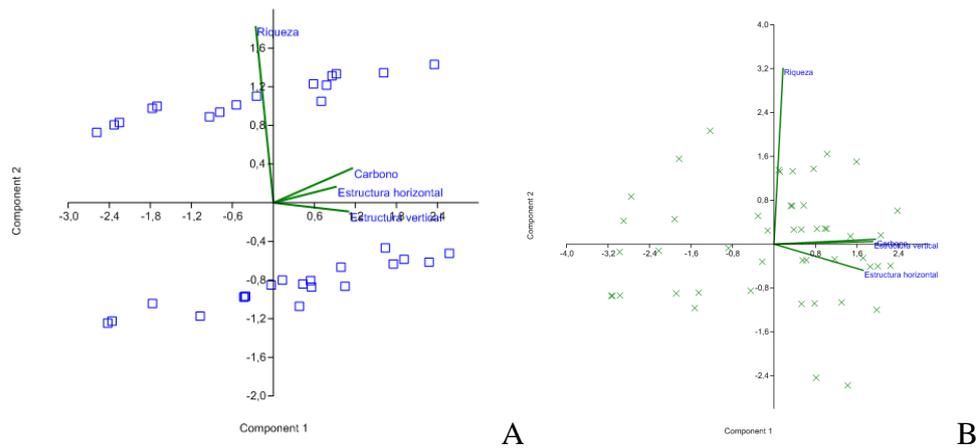


Fig. 12. Relación de la riqueza, carbono, estructura vertical y horizontal para dos sitios muestreo a través de un análisis de componentes principales en el sector de Gandoca en el REGAMA, 2017. A: manglar; B: catival

5. Discusión

Los bosques de manglar y de cativo, aparte de ser bosques costeros y presentar inundaciones en algunas épocas del año, presentan algunas diferencias. El catival, presentó mayor riqueza de especies, áreas basales y alturas mayores que el manglar. Siendo la especie dominante *P. copaifera*, mostrando valores mayores de alturas y áreas basales, así como la mayor concentración de carbono fijado en la biomasa aérea. Por su parte, el manglar mostró menores valores, con *R. mangle* como especie dominante y con mayores valores de alturas y áreas basales. Es por esta razón, que se debería incluirse en las estrategias de protección el bosque de cativo, un ecosistema único y fija gran cantidad de carbono. Pero sin olvidar el manglar, porque es un lugar pequeño en tamaño, al compararlo con los manglares del Pacífico y está fijando carbono, además de ser un importante hábitat para diferentes grupos taxonómicos como reptiles, aves, peces, mamíferos, entre otros más.

Riqueza

Existe relación entre la riqueza de especies y la función del ecosistema, estudios previos han dado señalado relaciones entre ellas, dada principalmente por la

productividad o biomasa. Entre más productivo sea un sitio, mayor será biomasa observada y por lo tanto, mayor riqueza. La productividad, la riqueza de especies y la biomasa muestran relación positiva al igual que la densidad del tallo. Los parches alterados de bosque muestran valores de biomasa inferior, pero no necesariamente una menor productividad. Y es probable que exista una mayor riqueza de especies, esto puede deberse a la presencia de más especies en las etapas de sucesión temprana y tardía mezcladas, mientras que en parches sin alteración se pueden encontrar especies con mayor biomasa y especies de sucesión tardía o especies clímax (Chisholm, et al. 2013).

En este estudio, solo se presentaron dos especies en el manglar. Esta condición es típica de áreas donde ocurre intercambio de agua marina, solamente especies que tienen requerimientos de salinidad y adaptaciones especiales sobreviven, favoreciendo la selección de especies que toleran bajos niveles de sal (Ball, 1998)

En las parcelas donde *R. mangle* presentó áreas basales mayores, se encontraron pocos individuos y donde el área basal fue menor, se encontraron más individuos e incluso la presencia de *L. racemosa*. Esto debido a que el aporte de área basal depende de la morfología y altura de los árboles evaluados.

El registro de los parámetros poblacionales de la vegetación arborecente y asociada al catival mostró valores y estructura característica de los bosques tropicales. La curva de acumulación de especies mostró, al inicio, tendencia a aumentar rápidamente y luego, se estabilizó conforme se encuentran las mismas especies. Posteriormente, se encontraron las especies raras o aquellas que presentan pocos individuos y aparecen cuando la curva de acumulación está llegando a la asíntota, son de los individuos que van apareciendo de último (Jiménez-Valverde & Hortal, 2003).

De igual manera que ocurre en los bosques de tierra firme, la alta riqueza de especies esta mayormente determinada por las especies raras. Es por la presencia de estas especies que aumenta la riqueza en los ecosistemas. Las cuales tienen la particularidad de aportar pocos individuos, pero logran sumar una mayor cantidad de especies (Gimaret-Carpentier, Péliissier, Pascal & Houllier, 1998). Además, se puede indicar que la curva de acumulación de especies es un buen indicador de la riqueza en los diferentes ambientes (Jiménez-Valverde & Hortal, 2003). En este caso, en el catival, la curva llegó a la asíntota lo que denota un buen esfuerzo de muestreo.

Estructura horizontal

Las alteraciones en la dinámica del bosque, el suelo, el clima, y las estrategias de las especies son determinantes de la estructura horizontal, y pueden reflejarse en la clase diamétrica de los árboles. La caída de árboles es un ejemplo de las transformaciones que ocurren en los bosques, como consecuencia del mismo se abren claros, que permiten la competencia de los individuos por luz, espacio, nutrientes, entre otros, para el establecimiento de diferentes especies y sus juveniles (Louman, Quirós & Nilsson, 2001; Jones, Tuomisto, Borcard, Legendre, Clark, & Olivas, 2008)

Por otra parte, la estructura discetánea es aquella que presenta individuos que se encuentran distribuidos en varios tamaños y edades, que tienen una distribución de jota invertida. Además, se presenta en bosques húmedos, por lo que las especies son tolerantes a la sombra (esciófitas). También, es una estructura característica de bosques secundarios jóvenes, donde la mayoría de individuos presentan poco diámetro y mantienen estables las condiciones para lograr compensar los cambios del entorno, ocurriendo una renovación constante, la caída de árboles más maduros cede espacio para una sucesión ecológica (Louman et al., 2001; Quirós & Quesada, 2003; Quispe, 2010).

Este tipo de estructura se encontró en los dos ecosistemas estudiados, aparte de que presentan el comportamiento de J invertido. La mayor cantidad de individuos se encuentran en las dos primeras clases diamétricas lo que sugiere renovación constante del bosque. Manrow (2011) reportó el mismo comportamiento de J invertida para este manglar, lo que puede indicar que es un bosque que se encuentra en constante renovación ecológica, donde los individuos jóvenes van reemplazando a los árboles adultos o enfermos.

Por otra parte, Agudelo, Bolívar, Polanía, Urrego, Yepes y Sierra (2015) realizaron un estudio en el manglar en la Bahía de Cispatá en el Caribe Colombiano. Muestrearon tres lugares distintos, dos manglares de borde y uno de cuenca, presentando comportamiento de J invertida, como ocurre en este estudio.

Por otra parte, en El Salvador, Chicas, González y Sayes (2016) reportaron para el manglar Bahía de la Unión en el Pacífico, una estructura de J invertida, lo que evidencia el potencial del bosque para regenerarse de forma natural, ya que en esta zona realizan extracción de la madera de los brotes de los árboles juveniles que son utilizados como estacas para sostener las membranas plásticas que se usan en las salineras.

Finalmente, en el Chocó Colombiano, Mosquero, Robledo y Asprilla (2007) realizaron un estudio en dos diferentes sitios de bosque muy húmedo, estos autores encontraron que la mayor parte del bosque está conformado por árboles pequeños, presentando un comportamiento de J invertida, al igual que se vio en este estudio con el catival.

Estructura vertical

Se encuentra determinada por la distribución de los organismos a lo alto de su perfil. Ésta responde a las características de las especies que las componen y a condiciones microambientales de las diferentes alturas. Por lo cual, las especies que presentan las mayores alturas son las que requieren más intensidad lumínica y son aquellas que impiden la entrada de luz a las que se encuentran en los pisos inferiores (Louman et al., 2001).

Sin embargo, cuando se abren claros por la caída de otros árboles, la dinámica del bosque cambia, creando diferentes microambientes que permiten sucesión ecológica, desarrollándose en un nuevo ambiente (Siteo 1992, citado por Zamora, 2010). Sin embargo, donde existe una mayor concentración de árboles altos existe una mayor longevidad de ecosistemas boscosos y por lo tanto, hay mayor caída de estos, este fenómeno ocurre con frecuencia en zonas de altura que en las de bajura (Orozco, 1991)

En relación con la estructura vertical, se pueden observar árboles emergentes, árboles del dosel, árboles del sotobosque y la vegetación encontrada sobre la superficie del suelo. Por esto es que cada estrato posee un ambiente específico y está asociado a una gran variedad de hábitats que logran aumentar la biodiversidad en los diferentes estratos de los bosques (Marmillod 1982, citado por Hernández, 2012).

En este estudio, en el manglar se encontró 70% de los individuos presentes en el estrato medio, sin embargo, Manrow (2011) reportó 50% de los individuos en este mismo estrato. Este cambio puede deberse a la tendencia hacia ambiente maduro, donde los individuos son árboles viejos. El crecimiento de estos ecosistemas está asociado con el régimen climático, los gradientes de salinidad, el hidroperíodo, el canal de las mareas y el interior de la distribución espacial de las especies. Estas dos últimas pueden ocasionar cambios en las funciones biológicas e influye en el crecimiento de este tipo de bosque (Jiménez, 1985; Monroy-Torres, Flores-Verdugo & Flores-de-Santiago, 2014).

Por ejemplo, en el Pacífico de Costa Rica se ha observado variación en el crecimiento de los árboles de mangle cuando hay cambios en la salinidad por el abundante

suministro de agua dulce, por medio de escorrentía o por una prolongada estación lluviosa, por lo que hay una disminución de salinidad que permite mayor desarrollo al presentar las mayores alturas, diámetros de las copas y áreas basales (Jiménez, 1985) Por otra parte, Ball (1998) en el Norte de Australia, observó mayor crecimiento del manglar en lugares que estaban expuestos a menor cantidad de sal, mientras que ocurría lo contrario con los individuos encontrados en sitios con mayor cantidad de ésta.

Respecto a las amplitudes de mareas permite es una afluencia entre el agua marina y dulce, que al mezclarse distribuyen las partículas que son transportadas y forman bancos de sedimentos y playones donde se establece el manglar (Mainardi, 1996), esto es lo que pasa en la costa Pacífica, no en el Caribe ya que las amplitudes de mareas son menores y en el caso particular de Gandoca, hay mayor influencia del agua de la Laguna que la del mar por lo cual no hay formación de playones.

Además, los numerosos accidentes geográficos de la costa Pacífica como bahías, golfos y estuarios favorecen a que la cobertura vegetal sea mayor, debido a que favorece la acumulación de sedimentos y protegen el establecimiento de los propágulos, caso contrario en el Caribe donde esos accidentes geográficos no son frecuentes (Mainardi, 1996)

Otro de los factores que influye el crecimiento del manglar son los propágulos y las plántulas. Estos son afectados, principalmente, por la tolerancia a las inundaciones, salinidad, sombra y la asimilación del nitrógeno y fósforo, aunque la tolerancia a inundaciones es la más importante. Pero depende el reclutamiento y el crecimiento de las plántulas de las diferentes especies (Monroy-Torres, Flores-Verdugo & Flores-de-Santiago, 2014).

Ellison y Farnsworth (1993) registraron rápido crecimiento en altura, diámetro, producción de hojas y biomasa en las plántulas de *R. mangle* en lugares con periodos de inundación muy amplios que en los lugares en que los periodos de inundación son cortos, y hubo mortalidad total de las plántulas donde la inundación fue mínima.

Para el catival, la mayor cantidad de individuos se encontró en el estrato inferior, esto puede ser debido al aprovechamiento forestal en 1997, este es un ecosistema en desarrollo, por lo que se puede definir según Louman et al. (2001), como bosque secundario. Es por esta situación, que se puede sugerir que el catival está, actualmente, en estado de crecimiento y representa un importante sumidero de carbono.

En este estudio se reportó una alta cantidad de carbono fijada en este sitio, pero pudo ser mayor sin el aprovechamiento forestal antes mencionado, dejando el sitio con ausencia de los individuos más grande de al menos tres de las especies dominantes como *P. copaifera* y *C. guianensis*.

Composición florística

La riqueza de especies y formas de vida en los bosques tropicales húmedos y sus interacciones son una de las características más importantes. Estos ambientes están dominados por árboles, que interactúan entre sí y con otros organismos cuya presencia y mezcla están determinadas por el clima y los suelos (Louman et al., 2001). Otra variable que la determina es la altitud, a mayor altura se encuentre el ecosistema, presenta menor cantidad de especies (Orozco, 1991).

La composición florística de las especies arbóreas varía en respuesta al clima y la biogeografía por eso cada especie tiene diferentes tolerancias y adaptaciones (Lieberman & Lieberman, 2007). Además, las concentraciones Ca, Mg, C y N, pH son factores importantes para el desarrollo de las especies (Jones et al., 2008), ya que al caer un árbol ocurre remoción de nutrientes. Esto favorece a las especies porque estos quedan disponibles y cambios en la composición del suelo ocurren y propician que las heliófitas a proliferen.

Esto se observó con mayor claridad en el catival, donde se encontraban claros, había mayor cantidad de especies acompañantes compitiendo por colonizar. En tanto que en el manglar se observó que la apertura de claros es aprovechada por *A. aureum* para establecerse. Según Medina, Cuevas, Popp & Lugo (1990, citado por Agudelo et al. 2015), este helecho crece en mayor densidad cuando está expuesto al sol y en condiciones de salinidad baja, aunque también crecen a grandes salinidades, pero en bajas densidades.

Aunque el bosque tropical húmedo constituye un mosaico complejo y cambiante de parches en diferentes estadios de desarrollo, debido al ciclo constante de muerte y renovación, por la caída de los árboles, donde las especies pioneras o las herbáceas, aprovechan un nuevo espacio abierto para su crecimiento. Es por esto que este mosaico presenta fases de regeneración, acumulación y decaimiento de biomasa, asociados a cambios estructurales y de la composición de especies (Hernández, 1999).

Como consecuencia de este proceso de transformación se generan gran variedad de biotopos, que proveen a estos ambientes la posibilidad de ofrecer nichos que permite

la emergencia de alta diversidad. En el Neotrópico, los bosques de bajura constituyen ecosistemas con gran valor ecológico, caracterizado por la riqueza de especies vegetales y de composición florística, con alrededor de 100-130 especies de árboles por hectárea (Swaine & Whitmore, 1998).

Caso contrario con este estudio, ya que ambos ecosistemas presentan las características de bosques monodominantes, por la baja presencia de especies vegetales por hectárea, es decir, baja riqueza de especies, ejemplo de ellos es el catival con la especie dominante es *P. copaifera*.

Por otra parte, los bosques monodominantes se caracterizan por presentar 50% de su área basal por parte de solo una especie arbórea (Conell & Lowman, 1989). Estas asociaciones tienden a ser raras en las tierras bajas del trópico. A pesar de esta condición, los estudios ecológicos que explican el comportamiento de monodominancia que presenta este tipo de ecosistema son escasos (Barros & Elias 1989, citado por Valverde, 2003).

En este estudio, el bosque de catival presentó valores cercanos al 50% de área basal de *P. copaifera*, esto probablemente ocurre por el tipo de ambiente en el que todas las especies arbóreas tienen que crecer, como por ejemplo los largos períodos que este ecosistema pasa inundado a lo largo del año.

Otra de las causas posibles es la competencia por los nutrientes y la poca disponibilidad de oxígeno en suelos inundados, por lo que las especies compiten por colonizar los lugares con características similares a suelos no inundados (Valverde, 2003). Los bosques inundados en América Central y América del Sur experimentan la dominancia de una sola especie, producto del estrés hídrico al que son sometidos (López & Kursar, 1999), razón por la que *P. copaifera* domina en este ambiente

Las características que presenta este manglar, son diferentes a las descritas por algunos autores para los manglares del Pacífico de Costa Rica (Jiménez, 1999; Zamora-Trejos & Cortés, 2009), donde se encuentran siete especies diferentes de mangle. Caso contrario pasa en el Caribe de Costa Rica, donde Coll et al. (2001), Manrow (2010) y Pizarro, Piedra, Bravo, Asch & Asch (2004) reportan cuatro diferentes especies de mangle, mientras que en este estudio solo se reportaron dos de las cuatro especies.

A diferencia de las cuatro especies que reportaron los autores anteriormente citados en el Caribe de Costa Rica, Rico-Gray (1993) reportó dos especies más que en Costa Rica, para un total de seis especies en manglares del Caribe Americano, mientras

que Castaño, Urrego & Bernal (2010) reportaron cinco especies para esta misma zona, Agudelo et al., 2015 reportaron tres especies, en la Guajira, en el Caribe Colombiano se reportaron cinco especies (Vásquez, 2010).

Estas diferencias pueden ser atribuidas a los ciclos y el tamaño de las mareas que presenta el Caribe. Además, la salinidad tanto el suelo del manglar como el agua de la Laguna presenta variaciones debido a que en los periodos de la época seca la desembocadura se encuentra cerrada y en época lluviosa se abre produciendo el intercambio de agua dulce y salada (Coll et al., 2001). La biogeografía de esta región donde la plataforma continental del Caribe de Costa Rica esta es muy corta y hay menos desarrollo de algunos ecosistemas podría explicar esta condición.

Las especies asociadas en este estudio coincidieron con los reportes que habían realizado autores como Coll et al. (2001) y Manrow (2011). Las dos especies que más se encontraron fueron el lirio de agua *Hymenocallis littoralis* y el helecho de manglar *Acrostichum aureum*, puede desplazar a otras especies, al colonizar espacios con alta intensidad lumínica.

En el catival, Valverde (2003) reportó 52 especies, entre los que incluyó árboles, arbustos y palmas con DAP <5 cm. Caso contrario para este estudio, se encontraron 26 especies y se midieron solo plantas leñosas con DAP ≥ 5 cm, es por esta razón que hay menor número de especies en este ecosistema. Otra posible diferencia es que dicho trabajo se realizó después del aprovechamiento forestal del 97, por lo que las especies eran pioneras, lo que coincide con las etapas serales del proceso de regeneración de este bosque. Lo contrario se observó en este estudio, 20 años de regeneración posterior al aprovechamiento, donde se observaron especies especialistas con requerimientos más específicos de luz, nutrientes y espacio.

En el 2016, ocurrió el huracán Otto que tuvo influencia indirecta por fuertes vientos, ya que según los pobladores de Gandoca afectó este bosque con la caída de árboles, principalmente de *P. copaifera*. Durante los muestreos, se encontraron varios árboles caídos, contribuyendo con la sucesión ecológica, por la apertura de claros. Sin embargo, el área basal presentó valores altos con respecto a los encontrados por Valverde (2003), posterior a la tala selectiva en 1997. Esto sugiere que el catival presenta potencial regenerativo alto, alcanzando incrementos de 60% de área basal en menos de 20 años.

En el catival, la palma dominante fue *Astrocaryum alatum* que Janzen (1991) reportó en el bosque inundado de la Estación Biológica La Selva en Sarapiquí. Sin embargo, Valverde (2003) reportó la dominancia de la palma *Iriatea deltoides* en el catival. A las palmas se les considera indicadores del nivel de alteración en bosques tropicales, debido a que la apertura de claros favorece su colonización cumpliendo un papel crucial en la regeneración y la dinámica general de estos ecosistemas (Aguilar & Jiménez, 2009).

Las palmas del sotobosque neotropical son capaces de sobrevivir a entornos con sombra, solo reciben de 0,1 a 2% de la radiación fotosintética en sitios donde hay cobertura vegetal con poca penetración de luz. Por esta razón las palmas presentan algunas adaptaciones para sobrevivir como el punto de compensación de luz baja, cloroplastos epidérmicos, hojas finas y orientadas horizontalmente (Svenning, 2002).

Especies exóticas presentes

La especie *C. fructicosa* proveniente del Sureste asiático y de Nueva Guinea, crece en ambientes cálidos y húmedos, a la luz o a la sombra parcial y pueden adquirir su mejor color a pleno sol con luz brillante (Lim, 2014). Probablemente por esto aparece en los senderos que son sitios donde hay más radiación solar. Además, se encuentra en los límites del catival donde fueron cultivadas por los dueños de las propiedades aledañas para marcar los límites de las fincas.

Por otro lado, *T. cerinthoides* es proveniente de Brasil y la especie *S. cordifolia* proveniente de México, éstas se encuentran en el catival porque antes de ser Refugio, había personas viviendo en estas tierras y probablemente, las usaban como plantas ornamentales, así se naturalizaron y se dispersaron.

Índice de valor de importancia (IVI)

Este manglar presenta el mejor estado de conservación del Caribe costarricense, aumentando constantemente su área (Coll et al., 2001). Sin embargo, hay evidencia de la dominancia de *R. mangle*, en la mayor parte de la superficie tanto cerca de la laguna como en la parte que se encuentra más alejada, presentando mayor área basal que *L. racemosa*.

Coll et al. (2001) y Manrow (2010) reportaron la presencia de *A. germinans*, pero en este estudio no se observó, esto pudo deberse a que los requerimientos de esta especie

por nutrientes limitantes, como el fósforo y el nitrógeno, no se están cumpliendo por lo que esta especie no puede proliferar en este ambiente. Como lo comprobaron Feller, Lovelock, Mckee (2007) cuando le adicionaron fósforo a *A. germinans* y hubo estimulación en el crecimiento y aumento en la biomasa.

Otro factor es la dispersión de los propágulos. Según Lema, Polonía y Urego (2003), los propágulos de *L. racemosa* y *A. germinans* son pequeños y de forma más o menos ovoide. Estos pueden morir o desplazarse a otros sitios por las corrientes en menos de dos semanas, mientras que los de *R. mangle* al ser más grandes y largos pueden permanecer en un solo lugar, por un mes o más, lo que aumenta la probabilidad de esta especie de establecerse.

La salinidad puede ser otro de los factores limitantes en el crecimiento de *A. germinans*, porque esta especie crece en suelos donde la salinidad llega a 90 PSU (Cintrón & Schaeffer 1983, citado por Rodríguez-Ramírez, Nivia-Ruíz & Garzón-Ferreira, 2004). Los valores de salinidad reportados por Benavidez & Brenes (2010) fueron bajos y varían entre 5 a 24 PSU según la época del año, la mayor salinidad debe de presentarse cuando la laguna y el mar se unen, cuando se llevó a cabo este estudio, la conexión duró poco tiempo, alrededor de dos meses, por lo tanto hubo baja salinidad la mayor parte de los muestreos.

Los bosques húmedos tropicales presentan alta diversidad en áreas muy reducidas donde predominan especies con baja área basal. Sin embargo, el catival tiene características particulares y pese a estar en zona baja (0-30 m.s.n.m.) presenta las condiciones típicas de los ambientes templados, donde se presentan pocas especies con altas áreas basales y gran abundancia de una sola especie.

Lo anterior sugiere que *P. copaifera* posee estructura que le permite tener alta área basal, probablemente desplace a otras especies o compite con ellas producto del efecto de sombra, aunque la respuesta final es probablemente multifactorial pues el suelo al estar inundado es un factor que influye. Además, esta especie puede desarrollarse en condiciones de pobre disponibilidad de nutrientes, lo que no permite a otras especies con requerimientos más estrictos desarrollarse en estos sitios (Hernández, 1999).

Carbono fijado

Los principales depósitos de carbono en los bosques tropicales se encuentran en la biomasa viva y en el sotobosque, además de la masa muerta, desechos leñosos y la

materia inorgánica del suelo. La biomasa puede representar la variación más importante en las reservas forestales de carbono y los valores dependen de la elevación, drenaje, temperatura, tipo de suelo, entre otros (Gibbs, Brown, Niles & Foley, 2007). La biomasa arriba del suelo representa entre 13-22% del total del carbono del sistema (Kauffman, Heider, Cole, Dwire & Donato, 2011).

Gibbs et al. (2007) reportaron valores de estimaciones de reservas de carbono de biomasa forestal (Mt C), para Costa Rica siendo los rangos de 471-704 millones de toneladas de Carbono (Mt C). Sin embargo, para el trópico, los valores de carbono por encima del suelo oscilan entre los 60-230 Mg C ha⁻¹ para bosques primarios y 60-115 Mg C ha⁻¹ para los secundarios (Ibrahim, Mora & Rosales, 2001). Por otra parte, en los ecosistemas de manglar, los valores que se reportan para biomasa arriba del suelo rondan entre los 41-460 Mg/ha, para el Pacífico y Asia (Kauffman et al., 2011)

En este estudio, la biomasa arriba del suelo para las parcelas muestreadas del manglar fue $100,76 \pm 36,59$ Mg ha⁻¹, sin embargo, Manrow (2011) reportó valores alrededor de $153,25 \pm 85,13$ Mg ha⁻¹ en esta misma área. La diferencia en la estimación puede ocurrir por el uso de diferentes ecuaciones alométricas. Para este estudio se empleó la ecuación de Chave et al. (2005) utilizando variables de altura, densidad de la madera de tres especies y el DAP. Mientras Manrow utilizó la de Komiyama, Pongparn & Kato (2005) la cual solo incluye DAP y la densidad de la madera. Aparte de usarse la ecuación de Chave et al. (2005) se utilizaron los datos de densidad de *R. mangle* y *L. racemosa* específicos para Gandoca (ver cuadro 3).

También pudo existir variación en la fijación de carbono, por el paso del huracán Otto que azotó con vientos fuertes, derribando algunos árboles. Esto mismo, lo reportaron Kauffman y Cole (2010), para el manglar de Micronesia, donde ocurrió la disminución de biomasa en el rodal después del tifón.

Por otra parte, Manrow (2011) reportó para Moín, valores de $119,29 \pm 110,14$ Mg C ha⁻¹. Cifuentes, en el 2012, reportó valor promedio de $72,52 \pm 3,17$ Mg C ha⁻¹ para el Humedal Térraba Sierpe. Mientras que Kauffman et al. (2011) reportaron para Micronesia, específicamente el manglar de Yap, valores entre 514 Mg/ha de biomasa arriba del suelo.

El secuestro de carbono en humedales templados y tropicales es, generalmente, de 4 a 5 veces mayor que los estimados para humedales boreales. Mitsch et al. (2013), en

humedales tropicales reportaron valores entre 42-306 g Cm⁻² año⁻¹. En Costa Rica, se enfocaron en dos lugares, la Universidad EARTH y la Estación Biológica La Selva. En la EARTH, los valores fueron de 1122 g CO₂ m⁻² año⁻¹.

El catival es un ecosistema único por las características de bosque monodominante, períodos de inundación y ahora, se demuestra que fija altos valores de carbono, debido a su especie dominante *P. copaifera* de fuste alto y de gran DAP. Por esta razón es importante protegerlo. Este ecosistema está fijando más carbono que los manglares de Moín, Terraba-Sierpe y el de Gandoca, aparte de tener valores mayores a los reportados para los bosques secundarios del trópico. Es importante destacar que este cativo no alcanza valores de importancia tan altos (40%), con frecuencia relativa y densidad relativa que no supera el 20%, respectivamente. Sin embargo y de acuerdo con los criterios forestales tropicales y al nivel generalmente aceptado del 60% de dominancia del dosel (Peh, Lewis & Lloyd, 2011), este catival se destaca por la dominancia relativa del 80% en la especie de *P. copaifera*, lo cual claramente lo sitúa como un caso típico de monodominancia al nivel del dosel. Esta situación exalta la importancia de esta especie en la dinámica de este ecosistema y su valor extremo en el secuestro de carbono de estos bosques, que aunque pequeños en área, grandes en su contribución al almacén de carbono.

Relación entre las estructuras horizontal y vertical, fijación de carbono y riqueza

La estructura horizontal (clase diamétrica) se encuentra relacionada con el carbono fijado entre más altos los valores de DAP, más alto el valor de biomasa de los árboles, por ende, mayor fijación de carbono por árbol. Además, se observó mayor valor de estructura vertical en el catival que en el manglar, debido a que el primero, presentó mayores diámetros que refleja doseles más altos, característicos de bosques monodominantes (Connell & Lowman, 1989).

Por otra parte, la riqueza está influenciada íntimamente con la estructura vertical (altura o niveles del dosel), a mayor área superficial hay mayor probabilidad que se combinen e interactúen procesos de selección de hábitat, dispersión y depredación. Pero quizás con mayor importancia, la estructura vertical favorece la aparición de nuevas especies con ajustes finos en la capacidad de tolerar mayor variedad de micrositos con variaciones de sombra (Hernández, 1999), situación que se ejemplifica en ambos ecosistemas estudiados.

6. Conclusiones

El catival presenta poca riqueza comparado con el bosque húmedo tropical no inundable, por lo que es un ecosistema único, pero presenta mayor riqueza que el manglar.

Ambos ecosistemas presentan distribución de jota invertida en su estructura horizontal, lo que quiere decir, que son bosques secundarios en constante renovación.

En la estructura vertical, el manglar presenta la mayoría de sus individuos en el estrato medio debido a que los requerimientos lumínicos no son tan estrictos. El catival, por su parte, presenta la mayor cantidad de individuos en el estrato inferior, producto del aprovechamiento forestal.

Los ecosistemas de manglar y de cativo son comunidades arborescentes donde, la especie dominante es *R. mangle* y el cativo (*Prioria cofaifera*, Griseb) respectivamente. En el catival, el índice de valor de importancia es alto comparado con otros bosques monodominantes del Neotrópico, pero lo es aún mayor por su alta dominancia relativa.

El manglar y el catival son asociaciones de vegetación sujetas a variaciones ambientales extremas que redundan en una baja riqueza de especies arborescentes por hectárea, pero la estructura y dinámica poblacional típica de bosques tropicales húmedos de tierra firme se mantiene.

A pesar de la dominancia del cativo, las especies nucleares y las acompañantes aumentan de manera importante la diversidad del ecosistema, esto evidencia que es un ecosistema complejo y resiliente.

El catival es el ecosistema con las reservas de carbono, más altos respecto a bosques secundarios, por lo se deben tomar medidas para su preservación.

7. Recomendaciones

1. Implementar investigaciones de los parámetros físico-químicos para valorar la calidad del agua en la laguna de Gandoca.

2. Realizar análisis de los suelos y de las áreas de inundación, en cuanto a variación anual del área que se inunda tanto en el catival como en el manglar.

3. Evaluar la cantidad de agroquímicos presentes en la laguna de Gandoca.

4. Incluir muestreos, en el catival, de regeneración de brinzales y latizales.
5. Implementar el seguimiento anual de la estimación del carbono fijado en ambos ecosistemas.
6. Realizar estudios sobre las palmas como indicadoras de cambios en la estructura del bosque catival.
7. Realizar estudios sobre las especies acompañantes del manglar y del catival, esto para generar más información sobre ecología y dinámica poblacional de ambos sitios y la importancia de estas especies.
8. El estado de salud del manglar en Gandoca debería ser estudiado con más profundidad, con el fin de averiguar qué está pasando en ese ecosistema, porque los niveles de reserva de carbono resultaron ser bajos comparados con estudios anteriores.

8. Referencias

- Adame , M. F., Santini, N. S., Tovilla, C., Vasquez-Lule, A., Castro, L., & Guevara, M. (2015). Carbon stocks and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. *Biogeosciences*, 12, 3805-3815.
- Agudelo, C. M., Bolívar, J., Polanía, J., Urrego, L., Yepes, A. & Sierra, A. (2015). Estructura y composición florística de los manglares de la Bahía Cispatá, Caribe Colombiano. *Rev. Biol. Trop.*, 63(4), 1137-1147
- Aguilar, V. & Jiménez, F. (2009). Diversidad y distribución de palmas (Arecaceae) en tres fragmentos de bosques muy húmedos en Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 57, 83-92
- Alongi, D. M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*, 29, 331-349.
- Alongi, D. M., Ayukai, T., Brunskill, G., Clough, B. & Wollaskin E. (2008). Sources, sinks, and export of organic carbon through a tropical, semi-enclosed delta (Hinchinbrook Channel, Australia). *Mangroves and Salt Marshes*, 2, 237–242
- Ball, M. (1998). Mangrove species richness in relation to salinity and waterlogging: a case study along the Adelaide River floodplain, northern Australia. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7, 73-82
- Bárcenas, G., Zarate, R., Ordoñez, V., Guerrero A. & Honorato, J. A. (2003). Correlación de los resultados de impacto o tenacidad de 16 maderas utilizando dos métodos de prueba. *Madera y Bosques*, 9 (1), 55-70
- Benavidez, R. & Brenes, C. (2010). Análisis hidrográfico e ictiológico de las capturas realizadas con una red de trampa fija en la Laguna de Gandoca, Limón, Costa Rica. *Rev. Mar. Cost.*, 2, 9-26
- Bermeo, D. F. (2010). *Determinación y caracterización de tipos funcionales de plantas (TFPs) en bosque secundarios con un gradiente altitudinal y su relación con las variables bioclimáticas*. Tesis de Licenciatura no publicada, Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, Costa Rica
- Blanco-Libreros, J., Ortiz-Acevedo, L., & Urrego, L. (2015). Reservorios de biomasa aérea y de carbono en los manglares del Golfo de Urabá. *Actualidades Biológicas*, 103, 131-141.

- Brown, S., Gillespie, A. & Lugo, A. (1989). Biomass Estimation Methods of Tropical Forest with Application to Forest Inventory Data. *Forest Science*, 35 (4), 881-902
- Calvo, J. (2008). Bosque, cobertura y recursos naturales. Estado de la Nación. San José.
- Castaño, A., Urrego, L. & Bernal, G. (2010). Dinámica del manglar en el complejo Lagunar Cispatá (Caribe Colombiano) en los últimos 900 años. *Rev. Biol. Trop.*, 58 (4), 1347-1366
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuichi, N., Kira, T., Lescure, J. P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecología*, 145, 87-99
- Chicas, F. A., González, J. A. & Sayes, J. A. (2016). Composición florística y estructura del manglar de la Bahía de la Unión, El Salvador. *Rev. COMUN. Cient. Tecnol.*, 2(1), 52-64
- Chisholm R. A., Muller-Landau, H. C., Abdul, K., Beber, D., Bin, Y., Bohlman, S., Bourg, N., et al. (2013). Scale-dependent relationships between tree species richness and ecosystem function in forests. *Journal of Ecology*, 101, 1214–1224 doi: 10.1111/1365-2745.12132
- Cintrón, G. & Schaeffer, Y. (1984). *Methods for studying mangrove structure. In The mangrove ecosystem: research methods*. UNESCO, Paris.
- Coll, M., Fonseca, A. C. & Cortés, J. (2001). El manglar y algunas asociaciones vegetales de la Laguna de Gandoca, Limón, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 2, 321-329
- Condit, R., Pérez, R. & Daguerre, N. (2011). *Trees of Panamá and Costa Rica*. New York: Princeton University Press, 494 p.
- Connell, J. & Lowman, M. (1989). Low-Diversity tropical rain forest: some possible mechanism for their existence. *Am. Nat.* 134: 88-119
- Clough, B. (1998). Mangrove forest productivity and biomass accumulation in Hinchinbrook Cahnnel, Australia. *Mangroves and Salt Marshes*, 2, 191-198.
- Cortés, J., & Wehrmann, I. (2009). Diversity of Marine Habitats of the Caribbean and Pacific of Costa Rica. *Springer*, 1-45.
- Donato, D., Kauffman, J., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4, 293-298.

- De la Peña, A., Rojas, C., & De la Peña, M. (2010). Valoración económica del manglar por el almacenamiento de carbono, Ciénaga Grande de Santa Marta. *Clío América*, 133-150.
- Díaz, C., Castro, I., & Manjarrez, G. (2010). *Manglares de Cartagena de Indias: "Patrimonio Biológico y fuente de biodiversidad"*. Cartagena: Fundación Universitaria Tecnológico Confenalco Cartagena.
- Ellison, A. M., & Farnsworth, E. J. (1993). Seedling survivorship, growth, and response to disturbance in Belizean mangal. *Am. J. Bot.* 80, 1137-1145 doi.org/10.2307/2445541
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2014). *ArcGIS Desktop Help 10, 2 Geostatistical Analyst*. <https://resources.arcgis.com/help/main/10.2/index.html>.
- Feller, I. C., Lovelock, C. E. & McKee, K. (2007). Nutrient Adicction Differentiallty Affects Ecological Processes of *Avicenia germinans* in Nitrogen versus Phosphorus Limited Mangrove Ecosystems. *Ecosystems*, 10, 347-359. DOI: 10.1007/s10021-007-9025-z
- Fonseca , A. C., Cortés, J., & Zamora, P. (2007). Monitoreo del manglar de Gandoca, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 55, 23-31.
- Furnier, L. A. (2003). *Diversidad biológica y fijación de carbón en los ecosistemas terrestres de Costa Rica*. San José: Editorial de la Universidad de Costa Rica
- Gibbs, H., Brown, S., Niles, J. & Foley, J. A. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environ. Res. Lett.* 2; 1-13 doi:10.1088/1748-9326/2/4/045023
- Gimaret-Carpentier, C., Péliissier, R., Pascal, J. P. & Houllier, F. (1998). Sampling strategies for the assessment of tree species diversity. *Journal of Vegetation Science*, 9161-172
- Giraldo, J. A. y Del Valle J. I. (2011). Estudio del crecimiento de *Prioria copaifera* (caesalpinaceae) mediante técnicas dendrocronológicas. *Rev. Biol. Trop.*, 59, 1813-1831
- González, H., Gómez, D. H., & Arteaga, F. J. (1991). Aspectos estructurales de un bosque de Cativo en la región del Bajo Artrato, Colombia. *Revista de la Facultad Agraria de Medellin*, 44, 3-50.
- González-Oreja, J. A., de la Fuente-Díaz, A. A., Henández-Satín, L.,Buzo-Franco, D. & Bonache-Regidor, C. (2010). Evaluación de estimadores no paramétricos de la riqueza de

- especies. Un ejemplo con aves en áreas verdes de la ciudad de Puebla, México. *Animal Biodiversity and Conservation*, 33(1), 31-45
- Gotelli, N. J. & Collwell, R. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4, 379-391
- Graham, A. (1995). Diversification of Gulf Caribbean mangrove communities through Cenozoic time. *Biotropica*, 20-27.
- Grauel, W., & Putz, F. (2004). Effects of lianas on growth and regeneration of *Prioria copaifera* in Darien, Panama. *Forest Ecology and Management*, 190, 99-108.
- Gutiérrez, C. (2000). *Heliconiaceae*. Xalapa: Instituto de Ecología, 30 p
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontología Electrónica* 4 (1): 9pp.
- Hernández, L. (2012). *Desarrollo sustentable del Bosque Húmedo Tropical. Características ecológicas y su uso (con énfasis en Venezuela)*. Venezuela. Fondo Editorial UNEG.
- Hernández, M. E. (2010). Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoam*. 28 (2).
- Hernández Z. (1999). *Cronosecuencia del bosque seco tropical en el Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Costa Rica*. Tesis Bachillerato no publicada, Instituto Tecnológico de Cartago, Costa Rica.
- Ibrahim, M., Mora, J. & Rosales, M. (2001). *Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales: memorias de una conferencia electrónica realizada entre setiembre y diciembre del 2001*. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2016). <https://www.imn.ac.cr/reporte-pronostico-regional> consultado 8 mayo 2016
- Instituto Nacional de Biodiversidad. (2012). *Un recorrido por el Refugio Nacional de vida Silvestre. Gandoca- Manzanillo*. Costa Rica. Editorial INBIO.
- Janzen, D. (1991). *Historia Natural de Costa Rica*. San José: Editorial Universidad de Costa Rica. 822 p

- Jiménez, J. A. (1985). Patrones regionales en la estructura y composición florística de los manglares de la Costa Pacífica de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 33 (1): 25-37
- Jiménez, J. A. (1999). El manejo de los manglares en el Pacífico de Centroamérica: Usos tradicionales y potenciales. *Ecosistemas de manglar en América Latina*, 275-290
- Jiménez-Valverde, A. & Hortal, J. (2003). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8: 1576 - 9518.
- Jones, M. M., Tuomisto, H., Borcard, D., Legendre, P., Clark, D. B. & Olivas, P. C. (2008). Explaining variation in tropical plant community composition: influence of environmental and spatial data quality. *Oecología*, 155: 593–60
- Connell, J. & Lowman, M. D. (1989). Low-Diversity Tropical Rain Forests: Some Possible Mechanisms for Their Existence. *The American Naturalist* 134(1), 88-119
- Kaninnen, M. (2001). *Potencialidades de los ecosistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales*. Costa Rica. Editorial CATIE
- Kauffman, J. B. & Cole, T. G. (2010). Micronesian Mangrove Forest Structure and Tree Responses to a Severe Typhoon. *Wetlands*. 30, 1077–1084. DOI 10.1007/s13157-010-0114-y
- Kauffman, J. B., Heider, C., Cole, T., Dwire, K. & Donato, D. C. (2011). Ecosystem carbon stocks of Micronesian Mangrove Forest. *Wetlands*, 31, 343–352. DOI 10.1007/s13157-011-0148-9
- Kauffman, J. B., Donato, D. C., & Adame, M. F. (2011). *Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares*. CIFOR. Bogor, Indonesia.
- Kauffman, J. B., Hernández, H., Jesus, M. C., Heider C., & Contreras W. (2015). Carbon stocks of mangroves and losses arising from their conversion to cattle pastures in the Pantanos de Centla, México. *Wetlands Ecol. Manage*, 23. DOI 10.1007/s11273-015-9453-z
- Komiyama, A., Pongpan, S., & Kato, S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21, 471–477

- 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*. 335 p.
- Lema, L. F., Polonía, J. & Urego, L. E. (2003). Dispersión y establecimiento de las especies de mangle del río Ranchería en el período de máxima fructificación. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 27 (102), 93-103
- Leiva, T. (1995). Comportamiento, ante las cargas de diafragmas verticales de *Hieronyma alchonoides* (Allemañao) y *Gmelina arborea* (Roxb. Ex SM) en Costa Rica. Tesis de Licenciatura no publicada, Instituto Tecnológico de Cartago, Costa Rica
- Lieberman, M. & Lieberman, D. (2007). Nearest-neighbor tree species combinations in tropical forest: the role of chance, and some consequences of high diversity. *OIKOS*. 116: 377-386, DOI: 10.1111/j.2006.0030-1299.15370.x
- Lim T. K. (2014). *Cordyline fruticosa*. Edible Medicinal and Non Medicinal Plants, 9, 627-632
- López, O. R. & Kursar, T. A. (1999). Flood tolerance of four tropical tree species. *Tree Physiology* 19: 925-932.
- Louman, B., Quirós, D. & Nilsson, M. (2001). *Silvicultura de Bosques Latifoliados Húmedos con Énfasis en América Central*. CATIE: Turrialba, Costa Rica
- Lozano, Y. (2007). Los sumideros de carbono: un análisis del potencial económico en un bosque de manglar en el Pacífico Colombiano. *Ingeniería de Recursos Naturales y Ambiente*, 6, 82-92.
- Mainardi, V. (1996). *El manglar de Térraba-Sierpe en Costa Rica*. CATIE: Turrialba, 93 p.
- Martínez, J. L. & Martínez-Pinillos, E. (1996). Características de maquinado de 32 especies de madera. *Madera y Bosques*, 2 (1), 45-61
- Manrow, M. (2011). *Estructura, composición florística, biomasay carbono arriba del suelo en los manglares Laguna de Gandoco y Estero de Moín Limón- Costa Rica*. Tesis de Licenciatura no publicada, Instituto Tecnológico de Cartago, Costa Rica.
- McGranahan, G., Kalk, D. & Anderson, B. (sf). *Cambio climático y asentamientos humanos en zonas costeras de baja altitud en América Latina y el Caribe*. 5-24
- Mitsch, W. J., Bernal, B., Nahlik, A. M., Mander, U., Zhang, L., Anderson, C. J., Jørgensen, S. E. & Brix, H. (2013). Wetlands, carbon, and climate change. *Landscape Ecol.* 28, 583–597. DOI 10.1007/s10980-012-9758-8

- Monroy-Torres, M., Flores-Verdugo, F. & Flores-de-Santiago, F. (2014). Crecimiento de tres especies de mangle subtropical en respuesta a la variabilidad en el hidroperíodo en un tanque experimental. *Ciencias Marinas*, 40(4), 263-275
- Morales, J. F. (2006). *Orquídeas, cactus y bromelias del bosque seco de Costa Rica*. Heredia: INBio, 181 p
- Mosquero, L. J., Robledo, D. & Asprilla, A. (2007). Diversidad florística de dos zonas de bosque tropical húmedo en el Municipio de Alto Baudó, Chocó-Colombia. *Acta Biol. Colomb.*, 12, 75-90
- Murdiyarto, 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*. Center for International Forestry Research Center for International Forestry Research CIFOR. Bogor Barat, Indonesia.
- Nebel, G., Kvist, L. P., Vanclay, J. K., Christensen, H., Freitas, L., & Ruíz, J. (2001). Structure and floristic composition of flood plain forests in the Peruvian Amazon: I. Overstorey. *Forest Ecology and Management*, 150 (1), 27-57.
- Okimoto, Y., Nose, A., Oshima, K., Tateda, Y., & Ishii, T. (2013). A case study for an estimation of carbon fixation capacity in the mangrove plantation of *Rhizophora apiculata* trees in Trat, Thailand. *Forest Ecology and Management*, 310, 1016-1026.
- Orozco, L. (1991). *Estudio ecológico de la estructura de seis comunidades boscosas en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica*. Informe técnico, 76
- Parolin, P. (2002). Bosques inundados en la Amazonia Central: su aprovechamiento actual y potencial. *Ecología Aplicada*, 2, 111-114
- Peh, K. S. H., Lewis, S. L., & Lloyd, J. (2011). Mechanisms of monodominance in diverse tropical tree-dominated systems. *Journal of Ecology*, 99(4), 891-898.
- Piedra, L. & Sierra, L. M. (2014). *Metodología para la cuantificación de carbono en Bosques de Manglar*. En Hernández-Zanury y Alcolado (Ed.), *Métodos para el estudio de la biodiversidad en ecosistemas marinos de Iberoamérica para la adaptación al cambio climático* 272 p. La Habana: Red CYTED
- Pizarro, F., Piedra, L., Bravo, J., Asch, J. & Asch, C. (2004). *Manual de procedimientos para el manejo de Manglares en Costa Rica*. Heredia: EFUNA, 132 p
- ProAmbi. (1996). *Plan de Manejo para el Refugio de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo (RNVS-GM)* San José: Universidad de Costa Rica 159 p.

- Quirós, K. & Quesada, R. (2003). *Composición florística de bosques primarios*. Instituto tecnológico de Costa Rica
- Quispe, W. (2010). *Estructura horizontal y vertical de dos tipos de bosques concesionados en la Región Madre de Dios*. Tesis de bachillerato no publicada, Universidad Nacional Amazónica, Puerto Maldonado, Perú.
- RAMSAR Report for Gandoca Manzanillo. (1995). *Ramsar Sites Information Service*. <https://rsis.ramsar.org/rsis/783> consultado 8 mayo 2016
- Rico-Gray, V. (1993) Orígenes y rutas de la dispersión de los manglares: una revisión con énfasis en los manglares de América. *Acta Botánica Mexicana*, 25, 1-13
- Ricker, M., Calónico, J., Castillo, M. A., Gernandt, D. S., Gutiérrez, G., Martínez, E. M., Montealegre, C. L., Mora, M., Parra, W. E., Ramos, C. H., Rincón, A., Rodríguez, S. & Salazar, G. A. (2013). *Determinación taxonómica de los ejemplares de herbario de re-muestreo del inventario nacional forestal y de suelos*
- Robles, F. (2012). Propiedades y uso de 14 especies de maderas tropicales rápido crecimiento del campo experimental forestal El Tormento. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 32-44
- 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). *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 33, 223-244
- Rojas, K. & Rodríguez, N. (2013). *Gestión de los recursos turísticos para su conservación y uso sostenible en el Refugio Mixto de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo (REGAMA) sector Gandoca*. Tesis de maestría no publicada, Instituto Tecnológico, Cartago, Costa Rica
- Rull, V. (1998). Evolución de los manglares neotropicales: crisis del Eoceno. *Interciencia*, 23, 355-362
- Sánchez, P. (2001). *Flórula del Parque Nacional Cahuita*. San José: EUNED, 337 p
- Sanjurjo, E., & Welch, S. (2002). Un valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. *Gaceta ecológica*, 74, 55-68.
- Segura, O., Moreno, M. L., Hernández, M. & Muñoz, E. (2017). *Valoración de los servicios ecosistémicos que ofrecen siete de los humedales protegidos de importancia internacional en Costa Rica: Palo Verde, Caribe Noreste, Caño Negro, Gandoca-Manzanillo, Maquenque, Terraba-Sierpe y Las Baulas*. SINAC/CINPE-UNA/PNUD. 144 pp

- Silva-Benavides, A. (2009). Mangroves. *Springer Science + Business Media B.V.*, 123-130.
- SINAC. (2014). *Guía para el diseño y la formulación del Plan General de Manejo de las Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica*. San José: Costa Rica
- Spalding, M., Blasco, F., & Field C. (1997). *World Mangrove Atlas*. Okinawa, Japan: The International Society for Mangrove ecosystem.
- Svenning, J. C. (2002). Crown illumination limits the population growth rates of a neotropical understory palms (*geonoma macrostachys* Arecaceae). *Plant Ecology*, 159, 185-199
- Swaine, M. D. & Whitmore, T. C. (1998). On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. *Vegetation*, 75: 81-86.
- Tomlison, P. B. (1994). *Mangrove, Botany*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ugalde, L. A. (1981). *Conceptos básicos de dasometría*. Costa Rica: CATIE
- Valencia, S. & Vargas, J. (1997). Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosques*, 3, 81-87
- Valdés, E., Valdez, J., Ordáz, V., Gallardo, J., Pérez, J., & Ayala, C. (2011). Evaluación del carbono orgánico en los suelos de manglares de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencia Forestal*, 2, 48-58.
- Valerio, J. & Salas, C. (1997). *Selección de prácticas silviculturales para bosques tropicales. Manual técnico – Proyecto de manejo sostenible (BOLFOR)*. San Cruz, Bolivia.
- Valverde O. (2003). *Impacto de la extracción de madera en la estructura florística y la regeneración de un bosque de cativo (Prioria copaifera Griseb) en la costa Caribe de Costa Rica*. Tesis de maestría no publicada, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica
- Vásquez, J. L. (2010). *Estructura de los bosques de mangle del valle de los cangrejos y el riño, delta del río Ranchería, Caribe Colombiano*. Trabajo de grado no publicado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia
- Vega, G., Mercedes, C., Suarez, J., & López, C. (2014). Almacenamiento de carbono en arreglos agroforestales asociados con café (*Coffea arabica*) en el Sur de Colombia. *Investigación Agraria y Ambiental*, 5, 213-222.

- Yáñez–Arancibia, A., & Lara–Domínguez, A. (1999). Los Manglares de América Latina: la encrucijada. *Revista para Administración de Zonas Costeras en América Latina*, 3, 9-16.
- Yáñez-Arancibia, A., Day, J., Twilley, R. & Day, R. (2014). Manglares: ecosistema centinela frente al cambio climático, Golfo México. *Madera y Bosques*, 20, 39-75
- Zamora, M. (2010). *Caracterización de la flora y estructura de un bosque transicional húmedo a seco, Miramar, Puntarenas, Costa Rica*. Tesis de maestría no publicada, Instituto Tecnológico, Cartago, Costa Rica
- Zamora-Trejos, P. & Cortés, J. (2009). Los manglares de Costa Rica: Pacífico norte. *Rev. Biol. Trop.*, 57, 473-488

9. ANEXOS

Anexo. 1. Especies asociadas del manglar en el REGAMA, sector de Gandoca, 2017

División	Familias	Especies	Nombre común
Magnoliophyta	Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C.F. Gaertn	Mangle salado
Magnoliophyta	Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i> L.	Mangle gateador

Anexo. 2. Especies nucleares del manglar en el REGAMA, sector de Gandoca, 2017

División	Familias	Especies	Nombre común
Magnoliophyta	Amaryllidaceae	<i>Hymenocallis littoralis</i> (Jacq.) Salisb	Azucena de agua
Magnoliophyta	Araceae	<i>Anthurium</i> sp	
Magnoliophyta	Araceae	<i>Anthurium bradeanum</i> Croat & Graum	Plantas flamenco
Magnoliophyta	Araceae	<i>Montrichardia arborescens</i> (L.) Schott	Castaño
Magnoliophyta	Araceae	<i>Philodendron radiatum</i> Schott	Garra de león
Magnoliophyta	Araceae	<i>Syngonium</i> sp	
Magnoliophyta	Arecaceae	<i>Chamaedorea</i> sp	
Magnoliophyta	Arecaceae	<i>Asterogyne martiana</i> (H. Wendl.) H. Wendl. ex Drude	
Magnoliophyta	Arecaceae	<i>Cocos nucifera</i> L.	Coco
Magnoliophyta	Bignoniaceae	<i>Amphitecna latifolia</i> (Mill.) A.H. Gentry	Jícaro de playa
Magnoliophyta	Bignoniaceae	-----	
Magnoliophyta	Bromeliaceae	<i>Aechmea serrata</i> (L.) Mez	
Magnoliophyta	Bromeliaceae	<i>Tillandsia bulbosa</i> Hook.	
Magnoliophyta	Bromeliaceae	<i>Tillandsia fasciculata</i> Sw.	Gallito
Magnoliophyta	Cactaceae	<i>Epiphyllum</i> sp.	

División	Familias	Especies	Nombre común
Magnoliophyta	Combretaceae	<i>Terminalia catappa</i> L.	Almendro de playa
Magnoliophyta	Costaceae	<i>Costus woodsonii</i> Maas	Caña agria
Magnoliophyta	Cyclanthaceae	-----	
Magnoliophyta	Fabaceae	<i>Prioria copaiifera</i> Griseb.	Cativo
Magnoliophyta	Fabaceae	<i>Pterocarpus officinalis</i> Jacq.	Sangrillo
Magnoliophyta	Fabaceae	<i>Zygia latifolia</i> (L.) Fawc. & Rendle	sotacaballo
Magnoliophyta	Gesneriaceae	-----	
Magnoliophyta	Malpighiaceae	<i>Banisteriopsis</i> sp.	
Magnoliophyta	Malvaceae	<i>Talipariti tiliaceum</i> var. <i>pernambucense</i> (Arruda) Fryxell	majagua
Magnoliophyta	Melastomataceae	<i>Conostegia xalapensis</i> (Bonpl.) D. Don ex DC.	lengua de gato
Magnoliophyta	Moraceae	<i>Ficus</i> sp.	Higuerón
Magnoliophyta	Orchidaceae	<i>Brassavola nodosa</i> (L.) Lindl.	Huele noche
Magnoliophyta	Orchidaceae	<i>Epidendrum eburneum</i> Rchb.f.	
Magnoliophyta	Orchidaceae	<i>Vanilla</i> sp.	Vainilla
Magnoliophyta	Poaceae	<i>Panicum</i> sp.	
Magnoliophyta	Polygonaceae	<i>Coccoloba uvifera</i> (L.) L.	papaturro
Magnoliophyta	Rubiaceae	<i>Pentagonia</i> sp.	
Magnoliophyta	Rubiaceae	<i>Randia aculeata</i> L.	espino
Pteridophyta	Nephrolepidaceae	<i>Nephrolepis biserrata</i> (Sw.) Schott	Helecho serrucho
Pteridophyta	Polipodiaceae	<i>Niphidium oblanceolatum</i> A. Rojas	
Pteridophyta	Pteridaceae	<i>Acrostichum aureum</i> L.	Negra forra

Anexo. 3. Especies nucleares del catival en el REGAMA, sector de Gandoca, 2017

División	Familias	Especies	Nombre común
Magnoliophyta	Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i> L.	Jobo
Magnoliophyta	Apocynaceae	<i>Thevetia ahouai</i> L.	Huevos de gato
Magnoliophyta	Clusiaceae	<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	Cerillo
Magnoliophyta	Combretaceae	<i>Bucida buceras</i> L.	Guachipelin
Magnoliophyta	Combretaceae	<i>Terminalia amazonia</i> (J.F.Gmel.) Excell	Roble coral
Magnoliophyta	Combretaceae	<i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav.) Steud	Guayabo de monte
Magnoliophyta	Chrysobalanaceae	<i>Licania platypus</i> (Hemsl.) Frtsch	Sonzapote
Magnoliophyta	Euphorbiaceae	<i>Alchornea costarricensis</i> Pax & K Hoffm.	Fósforo
Magnoliophyta	Euphorbiaceae	<i>Sapium aucuparium</i> Jacq.	Caguiya
Magnoliophyta	Fabaceae	<i>Balizia elegans</i> (Ducke) Barneby & J. W. Grimes	Guabo
Magnoliophyta	Fabaceae	<i>Pentaclethra maculosa</i> (Willd.) Kuntze	Gavilán
Magnoliophyta	Fabaceae	<i>Pterocarpus officinalis</i> Jacq.	Sangrillo
Magnoliophyta	Fabaceae	<i>Prioria copaifera</i> Griseb.	Cativo
Magnoliophyta	Hernandiaceae	<i>Hernandia sonora</i> L.	Aguacatillo
Magnoliophyta	Lectythidaceae	<i>Grias cauliflora</i> L	Tabaco, tabacón
Magnoliophyta	Malvaceae	<i>Quararibea guatemalteca</i> (Donn.Sm.) Standl. & Steyerm.	Garroche
Magnoliophyta	Malvaceae	<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacao silvestre
Magnoliophyta	Meliaceae	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Cedro macho
Magnoliophyta	Myristicaceae	<i>Virola sebifera</i> Aubl.	Fruta dorada
Magnoliophyta	Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	Ojoche
Magnoliophyta	Moraceae	<i>Ficus insipida</i> Willd.	Chilamate
Magnoliophyta	Phyllanthaceae	<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	Pilón
Magnoliophyta	Rubiaceae	<i>Genipa americana</i> L.	Guatíl
Magnoliophyta	Rutaceae	<i>Zanthoxylum panamense</i> P. Wilson	Lagarto

División	Familias	Especies	Nombre común
Magnoliophyta	Sapotaceae	<i>Chrysophyllum cainito</i> L.	Dorado
Magnoliophyta	Sapindaceae	<i>Cupania rufescens</i> Triana & Planch	Guabillo

Anexo. 4. Especies asociadas del catival en el REGAMA, sector de Gandoca, 2017

División	Familias	Especies	Nombre común
Magnoliophyta	Araceae	<i>Dieffenbachia oerstedii</i> Schott	Sahinillo
Magnoliophyta	Araceae	<i>Spathiphyllum friedrichsthali</i> Schott	
Magnoliophyta	Araceae	<i>Philodendron radiatum</i> Schott	Garra de león
Magnoliophyta	Araceae	<i>Syngonium</i> sp.	
Magnoliophyta	Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch	Cacho de venado
Magnoliophyta	Arecaceae	<i>Astrocaryum alatum</i> Loomis	Coquito
Magnoliophyta	Arecaceae	<i>Cocos nucifera</i> L.	Coco
Magnoliophyta	Arecaceae	<i>Socratea exorrhiza</i> (Mart.) H. Wendl.	Chonta
Magnoliophyta	Asparagaceae	<i>Cordyline fruticosa</i> (L.) A. Chev.	Trogon
Magnoliophyta	Bromeliaceae	<i>Aechmea magdalena</i> (André) André ex Baker	Piñuela
Magnoliophyta	Bromeliaceae	<i>Aechmea nudicaulis</i> (L.) Griseb.	
Magnoliophyta	Commelinaceae	<i>Tradescantia cerinthoides</i> Kunth	
Magnoliophyta	Costaceae	<i>Costus woodsonii</i> Maas	Cañagria
Magnoliophyta	Cyclanthaceae	<i>Carludovica palmata</i> Ruiz & Pav.	Estococa
Magnoliophyta	Cyclanthaceae	<i>Cyclanthus bipartitus</i> Poit. Ex A. Rich	Hoja de lapa
Magnoliophyta	Heliconiaceae	<i>Heliconia mariae</i> Hook. f.	Platanilla
Magnoliophyta	Heliconiaceae	<i>Heliconia stricta</i> Huber	Heliconia
Magnoliophyta	Heliconiaceae	<i>Heliconia</i> sp.	Heliconia
Magnoliophyta	Heliconiaceae	<i>Heliconia rostrata</i> Ruiz & Pav.	Heliconia
Magnoliophyta	Malvaceae	<i>Malvaviscus</i> sp.	

División	Familias	Especies	Nombre común
Magnoliophyta	Marantaceae	<i>Pleiostachya pruinosa</i> (Regel) K. Schum	Platanilla
Magnoliophyta	Melastomataceae	<i>Aciotis rubricaulis</i> (Mart. Ex DC.) Triana	Morilla
Magnoliophyta	Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp.	
Magnoliophyta	Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp.	
Magnoliophyta	Moraceae	<i>Ficus</i> sp.	Higuerón
Magnoliophyta	Piperaceae	<i>Piper littorale</i> C. DC.	Pimientas
Magnoliophyta	Primulaceae	<i>Stylogyne turbacensis</i> (Kunth) Mez	Guastomate
Magnoliophyta	Rubiaceae	<i>Psychotria aff. guapilensis</i>	
Magnoliophyta	Rubiaceae	<i>Uncaria tomentosa</i> (Willd. Ex. Schult.) DC.	Rangayo
Magnoliophyta	Selaginellaceae	<i>Selaginella arthritica</i> Alston	
Magnoliophyta	Smilacaceae	<i>Smilax cordifolia</i> Humb. & Bonpl. Ex Willd.	Cuculmeca
Magnoliophyta	Urticaceae	<i>Pilea</i> sp.	
Magnoliophyta	Verbenaceae	<i>Citharexylum caudatum</i> L.	Huele noche
Magnoliophyta	Zingiberaceae	<i>Renealmia</i> sp.	
Pteridophyta	Lomariopsidae	<i>Lomariopsis vestita</i> E. Fourn.	
Pteridophyta	Nephrolepidaceae	<i>Nephrolepis biserrata</i> (Sw.) Schott	
Pteridophyta	Polydodiaceae	<i>Niphidium oblanceolatum</i> A. Rojas	
Pteridophyta	Tectariaceae	<i>Tectaria incisa</i> Cav.	Tula
Pteridophyta	Thelypteridaceae	<i>Thelypteris nicaraguensis</i> (E. Fourn.) C. V. Morton	Helechos palmita

Anexo. 5. Valores de densidad para diferentes especies encontradas en el catival por diferentes autores

Especie	Densidad (g/ cm ³)	País	Referencia Bibliográfica
<i>Brosimum alicastrum</i>	0,627	México	Ricker et al. 2013
<i>Bucida buceras</i>	0,665	México	Bárcenas, Zarate, Ordoñez, Guerrero & Honorato, 2003
<i>Ficus insipida</i>	0,367	México	Ricker et al. 2013
<i>Genipa americana</i>	0,58	México	Ricker et al. 2013
<i>Hieronyma alchorneoides</i>	0,59	Costa Rica	Leiva, 2015
<i>Licania platypus</i>	0,61	México	Martínez & Martínez-Pinillos, 1996
<i>Spondias mombin</i>	0,739	México y Costa Rica	Robles, 2012 y Bermeo, 2010
<i>Symphonia globulifera</i>	0,561	México	Ricker et al. 2013
<i>Terminalia amazonia</i>	0,37	México	Ricker et al. 2013
<i>Virola sebifera</i>	0,48	Costa Rica	Bermeo, 2010

Anexo 6. Diferentes variables para los ecosistemas de manglar y cativo

Sitio	Área total del bosque (ha)	Número de especies	Área basal (m ²)	Biomasa total/ha	Carbono fijado/ha	Carbono total (Mg)
Manglar	24,57	2	11,1	100,75	46,75	30,23
Catival	94,52	26	57,3	439	132	807983

Anexo 7. Propuesta de gestión en el marco de los cambios globales para cada comunidad vegetal analizada, dirigido al mantenimiento e integridad ecológica en el REGAMA, sector de Gandoca, 2017

Universidad Nacional

Faculta de Ciencias Exacta y Naturales

Escuela de Ciencias Biológicas

Propuesta de gestión local en el marco de los cambios globales para el manglar y el catival, dirigido al mantenimiento e integridad ecológica en el REGAMA.

Sector Gandoca

Bach. Lilliana Álvarez Sánchez

Tutora: Ph. D. Lilliana Piedra Castro

Asesores: Ph. D. Roberto Cordero Solórzano

Lic. Hannia Vega Bolaños

2017

Índice

Presentación.....	66
Agradecimientos.....	67
Introducción.....	68
Propuesta.....	69
Manglar.....	69
Extracción de <i>Acrostichum aureum</i>	69
Producción de abono orgánico.....	69
Turismo.....	69
Investigación.....	70
Catival.....	70
Implementación de viveros.....	70
Cercas vivas.....	70
Erradicación de plantas exóticas.....	71
Recuperación de senderos.....	71
Turismo.....	71
Investigación.....	72
Educación Ambiental.....	72
Referencias Bibliográficas.....	73

Presentación

Uno de los sitios que presenta gran belleza es la zona de Gandoca-Manzanillo, fue declarada en 1995, como sitio RAMSAR por la importancia de sus ecosistemas como lo son el manglar, el catival, el yolillal, los arrecifes coralinos y la presencia de múltiples especies de aves, peces, moluscos, crustáceos, entre otro más.

Esta propuesta de gestión para los bosques de manglar y cativo del Refugio Nacional Mixto de Vida Silvestre Gandoca, Manzanillo (REGAMA), específicamente en el sector de Gandoca, es un instrumento para que instituciones como las universidades, SINAC, MINAE y las organizaciones comunales consideren la importancia que tienen estos ecosistemas y puedan ser incorporadas en el plan de manejo que proteja los diferentes ecosistemas que se encuentran tanto en Gandoca como en Manzanillo.

Este trabajo tuvo como finalidad diseñar una propuesta de gestión para los ecosistemas del manglar y el catival, respecto a la fijación de carbono para mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático.

Agradecimientos

Al personal del MINAE, los cuales aportaron su granito de arena para el desarrollo de esta investigación, a la comunidad de Gandoca que de una u otra forma ayudaron para sacar adelante el proyecto, al LARNAVISI que llevó a cabo la logística de cada una de las giras de campo, a CONARE-CeNAT que financió la investigación y por supuesto a Lilliana Piedra, gracias por todo el apoyo y dedicación

Introducción

El REGAMA es un sitio muy diverso donde podemos encontrar varios ecosistemas como los pantanos, arrecifes, playas arenosas y rocosas, manglares y bosques con características y valor único (Rojas & Rodríguez, 2013). Entre ellos destaca el catival, un bosque con características muy peculiares, que ha evolucionado bajo la influencia de inundaciones periódicas de agua dulce (González, Gómez & Arteaga, 1991). Además, del manglar que es el único más desarrollado de la costa Caribe, este se encuentra rodeando a la laguna (Coll, Fonseca & Cortés, 2001).

Estos tipos de bosques naturales almacena gran cantidad de carbono por lo cual reduce la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) en la atmosfera, el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y al calentamiento global (IPCC, 1995). Es por esto, que actualmente existe gran interés en evaluar la cantidad de carbono que fijan los bosques, ya que cuando estos se talan, el carbono convertido CO_2 vuelve a la atmósfera (Condit, 2008),

El CO_2 que se encuentra en la atmósfera proviene de las actividades antropogénicas y del cambio en el uso del suelo, este gas es absorbido en una cuarta parte por los océanos y los bosques templados, el resto por sumidero terrestre que es desconocido, aunque se piensa que son los bosques tropicales o los boreales (IPCC, 2001). Los bosques secundarios al ser ecosistemas de muy rápido crecimiento, fijan grandes cantidades de carbono en cortos periodos de tiempo (Silver, Kueppers, Lugo, Ostertag, & Matzek, 2004).

Por otra parte, los manglares son los ecosistemas forestales que están realizando la mayor fijación de carbono a nivel mundial. Esto se puede reflejada en los manglares ubicados en el Indo-Pacífico (Kauffman, Donato & Adame, 2011)

Para mitigar los efectos del cambio climático se debe de conocer la dinámica del carbono (C) en los ecosistemas forestales y las modificaciones del flujo de C por el cambio en el uso del suelo, deforestando en menor cantidad y evitando la degradación del recurso forestal (Benjamín & Masera, 2001).

Propuesta

Objetivo: Elaborar una propuesta para una futura gestión de manejo, que facilite la conservación y el uso adecuado de los recursos de los ecosistemas de manglar y catival en el sector de Gandoca, REGAMA

Sitio	Acción	Metodología	Periodicidad	Responsables	Socios
Manglar	Extracción y poda de la negra forra (<i>Acrostichum aureum</i>)	Podar esta especie de helecho, solo en lugares donde se encuentre en altas densidades, pero teniendo la precaución de no erradicarla.	Cada 6 meses	Administración del refugio. Miembros de la comunidad.	Comunidad
		Al podar este helecho, sus residuos se deben de sacar del manglar para evitar que se reproduzca en otras áreas o evite que otras especies puedan crecer.			
	Producción de abono orgánico	El residuos de las plantas de negra forra (<i>A. aureum</i>), extraídas con anterioridad, se cortan en cuadritos pequeños para hacer compost orgánico que beneficie a los	Cada 6 meses	Miembros de la comunidad.	Comunidad

Sitio	Acción	Metodología	Periodicidad	Responsables	Socios
		miembros de la comunidad de Gandoca.			
		Utilizar este compost, con alto contenido de nitrógeno, en sembradíos que tienen algunos miembros de esta comunidad, en lugar de la utilización de químicos.			
	Educación Ambiental	Capacitar a los miembros de la comunidad, por parte de profesionales en ciencias biológicas, forestales o carreras afines.	1-2 años	Comunidad Universidades INA MINAE SINAC	Comunidad
		Los temas con más relevancia para las capacitaciones serían, vegetación de manglar, aves de humedales y reptiles.			

Sitio	Acción	Metodología	Periodicidad	Responsables	Socios
	Turismo	Al capacitar a miembros de la comunidad, difundir (por medio de redes sociales) para atraer turismo y que ellos mismos sean quienes realicen las excursiones guiadas al manglar y la laguna de Gandoca.	Todos los días	Administración del refugio Miembros de la comunidad Programa de Turismo del ACLAC	Comunidad
		Excursiones guiadas por la laguna para el avistamiento de aves y de posibles reptiles. Este sitio tiene capacidad de carga para 141 visitas por día según Rojas & Rojas (2013).			
		Excursión dentro del manglar para apreciar la flora presente en el manglar.			
	Creación de senderos	Diseñar senderos elevados para mejor avistamiento de aves y especies arbóreas de manglar.	2-5 años	Universidades Empresas privadas Miembros de la comunidad	Comunidad MINAE SINAC

Sitio	Acción	Metodología	Periodicidad	Responsables	Socios
				MINAE SINAC	
	Investigación	Calidad del agua de la laguna.	2 años	Universidades MINAE Estudiantes de universidades que realicen sus prácticas profesionales Estudiantes de licenciatura, maestrías o doctorados que realicen sus tesis	MINAE
		Parámetros físico químicos del suelo y agua.			
		Productividad primaria.			
		Estrés hídrico de las especies presentes en el manglar.			
		Presencia de agroquímicos en la laguna.			
	Caseta de información	Restaurar la caseta de información, con el fin de que los guías de la comunidad de Gandoca se puedan encontrar en un solo lugar. Esto con el fin de dar información sobre la Laguna y las particularidades que tiene este ecosistema y sobre	1-4 años	Miembros de la comunidad MINAE SINAC ASVO	Comunidad

Sitio	Acción	Metodología	Periodicidad	Responsables	Socios
		<p>las excursiones guiadas sobre la laguna y los canales en bote o a pie por el manglar.</p>			
		<p>Entregar despleables con la información del manglar, la laguna y las especies que se pueden ver.</p>			
	<p>Sumideros de carbono</p>	<p>Proteger este manglar por la importancia que tiene como sumidero de carbono</p>	<p>1-15 años</p>	<p>Miembros de la comunidad MINAE SINAC</p>	<p>Comunidad</p>
		<p>Preservar las especies arbóreas que se encuentran en este manglar, para evitar que CO₂ almacenado en estas sea devuelto al medio ambiente. Para la mitigación del cambio climático</p>			

Sitio	Acción	Metodología	Periodicidad	Responsables	Socios
Catival	Implementación de viveros	Implementar viveros, sacando solo un pequeño porcentaje de semilla del catival, el cual no afecte el desarrollo natural del sitio.	6 meses	Administración del refugio Miembros de la comunidad Instituciones Universidades	Comunidad
		Se siembran las semillas de <i>P. copaiifera</i> fuera del refugio y este vivero es manejado y cuidado por algunos miembros de la comunidad de Gandoca.			
		Reforestación de fincas privadas con la especie <i>P. copaiifera</i> .			
	Cercas vivas	Implementar el uso de las cercas vivas en fincas privadas, tanto dentro y fuera del refugio, los árboles a utilizar son los que se produjeron en el vivero.	1-5 años	Universidades Instituciones Comunidad	Comunidad

Sitio	Acción	Metodología	Periodicidad	Responsables	Socios
	Erradicación de plantas exóticas	Control de las especies que fueron sembradas en las fincas privadas y no presentan distribución para el Caribe y menos, en bosque secundario como el catival	6 meses	Administración del refugio Miembros de la comunidad	Comunidad
		Poda de este tipo de plantas y sí es posible lograr la erradicación			
		Evitar más propagación de éstas, evitando sembrarlas en las propiedades cercanas al refugio.			
		Utilizar las especies que fueron podadas para hacer compost y utilizarlo en los cultivos que tienen los pobladores de la comunidad de Gandoca			
	Recuperación de senderos	Planificación por parte de expertos en esta materia, para realizar el diseño de los senderos.			

Sitio	Acción	Metodología	Periodicidad	Responsables	Socios	
		<p>Búsqueda de fondos, tanto privados como públicos, por medio de Organizaciones no Gubernamentales, enfocadas en la protección del ambiente.</p>		<p>Asociación de voluntarios para el Servicio en Áreas Protegidas (ASVO)</p> <p>Miembros de la comunidad</p> <p>Estudiantes de universidades que estén realizando las prácticas profesionales</p>		
		<p>Recuperación de los senderos que van desde Gandoca hasta Manzanillo, pasando por el catival.</p>				
		<p>Crear senderos elevados</p>				
		<p>Los senderos en mal estado, se deberían de retomar, abriendo camino entre la maleza o árboles caídos.</p>				
		<p>Demarcación de los senderos que se encuentran en estado medio de conservación, con trozos de madera, que se encuentran a la orilla de la playa.</p>				

Sitio	Acción	Metodología	Periodicidad	Responsables	Socios
	Educación Ambiental	Capacitar a los miembros de la comunidad, por parte de profesionales en ciencias biológicas, forestales o carreras afines.	1-3 años	Comunidad Universidades INA MINAE SINAC Estudiantes de universidades que realicen sus prácticas supervisadas	Comunidad
		Los temas con más relevancia para las capacitaciones serían: ornitología, dendrología, entomología, herpetología y mastozoología.			
	Turismo	Excursiones guiadas en el catival para el avistamiento de vertebrados terrestres (aves, anfibios reptiles y mamíferos). Este sitio tiene capacidad de carga de 424 personas por día, según Rojas & Rojas (2013).	Cada semana	Administración del refugio Miembros de la comunidad	Comunidad
		Observación de mariposas y otros insectos.			

Sitio	Acción	Metodología	Periodicidad	Responsables	Socios
		Observación de la flora presente en este sitio, como ecosistema único.			
	Investigación	Dinámica poblacional.	2 años	Universidades MINAE Estudiantes de universidades que realicen sus prácticas profesionales Estudiantes de licenciatura, maestrías o doctorados que realicen sus tesis	MINAE
		Estrés hídrico.			
		Ecología, para conocer que especies están presentes y poder conservarlas.			
		Asociaciones ecológicas entre las especies que se encuentran en este ecosistema.			
		Presencia de agroquímicos en el Middle Creek.			
	Caseta de información	Restaurar la caseta de información, para que exista acceso a los guías de la comunidad de Gandoca, para que estos puedan, aparte de dar información de las excursiones guiadas por los senderos del catival, tener un lugar donde los turistas puedan localizarlos y contratar sus servicios.	1-4 años	Miembros de la comunidad MINAE SINAC ASVO	Comunidad

Sitio	Acción	Metodología	Periodicidad	Responsables	Socios
		<p>Entregar desplegados con la información de este ecosistema, los senderos que se pueden recorrer y la duración aproximada del recorrido. Además de las especies animales y vegetales que se pueden observar.</p>			
	Sumideros de carbono	<p>Proteger este ecosistema por la importancia que esto tiene como sumidero de carbono.</p> <p>Preservar las especies que se encuentra en este bosque, para evitar que CO₂ almacenado en las especies arbóreas sea devuelto al medio ambiente. Esto mitiga el cambio climático</p>	1-15 años	<p>Miembros de la comunidad</p> <p>MINAE</p> <p>SINAC</p>	Comunidad

Referencias Bibliográficas

- Benjamín, J. & Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7 (1), 3-12
- Coll, M., Fonseca, A. C. & Cortés, J. (2001). El manglar y algunas asociaciones vegetales de la Laguna de Gandoca, Limón, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 2, 321-329
- González, H., Gómez, D. H., & Arteaga, F. J. (1991). Aspectos estructurales de un bosque de Cativo en la región del Bajo Artrato, Colombia. *Revista de la Facultad Agraria de Medellin*, 44, 3-50.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, CH. (2001). Tercer Informe de evaluación cambio climático 2001, la base científica (Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico). IPCC. Ginebra, CH. 94 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, CH. (1995). IPCC Second Assessment Climate Change 1995. IPCC. Ginebra, CH. 73 p.
- Kauffman, J. B., Donato, D. C., & Adame, M. F. (2011). *Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares*. CIFOR. Bogor, Indonesia.
- Rojas, K., & Rodríguez, N. (2013). *Gestión de los recursos turísticos para su conservación y uso sostenible en el Refugio Mixto de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo (REGAMA) sector Gandoca*. Tesis de maestría no publicada, Instituto Tecnológico, Cartago, Costa Rica
- Silver, W. L., Kueppers, L., Lugo, A. E., Ostertag, R. & Matzek, V. (2004). Carbon sequestration and plant community dynamics following reforestation of tropical pasture. *Ecological Applications* 14, 4: 1115-1127.