

**Polibotánica**

ISSN electrónico: 2395-9525

polibotanica@gmail.com

Instituto Politécnico Nacional

México

<http://www.polibotanica.mx>

# **ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN FLORÍSTICA, BIOMASA AÉREA Y CONTENIDO DE CARBONO EN LA SELVA MEDIANA PERENNIFOLIA EN TIZIMÍN, YUCATÁN, MÉXICO**

# **STRUCTURE, FLORISTIC COMPOSITION, ABOVE-GROUND BIOMASS AND CARBON CONTENT IN TROPICAL EVERGREEN FOREST IN TIZIMIN, YUCATAN, MEXICO**

**Martínez-Gauna, C.A.; J.I. Yerena-Yamallel; L.G. Cuéllar-Rodríguez; E. Alanís-Rodríguez y E. J. Ortega-Arroyo.**

**ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN FLORÍSTICA, BIOMASA AÉREA Y CONTENIDO DE CARBONO EN LA SELVA MEDIANA PERENNIFOLIA EN TIZIMÍN, YUCATÁN, MÉXICO.**  
**STRUCTURE, FLORISTIC COMPOSITION, ABOVE-GROUND BIOMASS AND CARBON CONTENT IN TROPICAL EVERGREEN FOREST IN TIZIMIN, YUCATAN, MEXICO.**



## ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN FLORÍSTICA, BIOMASA AÉREA Y CONTENIDO DE CARBONO EN LA SELVA MEDIANA PERENNIFOLIA EN TIZIMÍN, YUCATÁN, MÉXICO.

### STRUCTURE, FLORISTIC COMPOSITION, ABOVE-GROUND BIOMASS AND CARBON CONTENT IN TROPICAL EVERGREEN FOREST IN TIZIMIN, YUCATAN, MEXICO.

Martínez-Gauna, C.A.;  
J.I. Yerena-Yamalle;  
L.G. Cuéllar-Rodríguez;  
E. Alanís-Rodríguez  
y E. J. Ortega-Arroyo.

ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN FLORÍSTICA, BIOMASA AÉREA Y CONTENIDO DE CARBONO EN LA SELVA MEDIANA PERENNIFOLIA EN TIZIMÍN, YUCATÁN, MÉXICO.

STRUCTURE, FLORISTIC COMPOSITION, ABOVE-GROUND BIOMASS AND CARBON CONTENT IN TROPICAL EVERGREEN FOREST IN TIZIMIN, YUCATAN, MEXICO.

POLIBOTÁNICA  
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 54: 27-49. Julio 2022

DOI:  
10.18387/polbotanica.54.3

C.A. Martínez-Gauna

J.I. Yerena-Yamalle / [israel.yerena@gmail.com](mailto:israel.yerena@gmail.com)

L.G. Cuéllar-Rodríguez

E. Alanís-Rodríguez

E. J. Ortega-Arroyo

*Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales,  
Carretera Nacional km 145, 67700, Linares, Nuevo León, México.*

**RESUMEN:** El objetivo del estudio fue caracterizar la estructura horizontal, determinar la composición de especies leñosas, estimar la biomasa aérea y el contenido de carbono en tres áreas: aguada, área de regeneración y área de conservación, en la selva mediana perennifolia. Se realizaron 88 sitios de muestreo de una superficie de 1,000 m<sup>2</sup>, midiendo el diámetro a la altura de pecho (DAP), altura y diámetro de copa, de todos los individuos con DAP ≥ 2.5 cm. De acuerdo con los resultados obtenidos en las categorías diamétricas, para el área de la aguada resultó un total de 9 categorías, el área de regeneración con 12 y el área de conservación 13 categorías. La riqueza de especies fue la siguiente: para el área de la aguada 45 especies, el área de regeneración 58 especies y para el área de conservación 61 especies. La especie de mayor índice de valor de importancia en las tres áreas es *Piscidia piscipula*. La biomasa aérea y el carbono almacenado resultaron en promedio para el área de regeneración 118.78 y 59.39 ton ha<sup>-1</sup>, la aguada 166.50 y 83.25 ton ha<sup>-1</sup> y para el área de conservación 182.58 y 91.29 ton ha<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** aguada; ecuaciones alométricas; índice de valor de importancia.

**ABSTRACT:** The objective of the study was to characterize the horizontal structure, determine the composition of woody species, estimate the above-ground biomass and carbon content in three areas: waterhole, regeneration area and conservation area, in a tropical evergreen forest. Eighty-eight sampling sites with a surface area of 1,000 m<sup>2</sup> were established, measuring the diameter at breast height (DBH), height and crown diameter, of all individuals with DBH ≥ 2.5 cm. According to the results obtained in the diameter categories, a total of 9 categories resulted for the waterhole area, the regeneration area with 12 and the conservation area 13 categories. The species richness was as follows: for the waterhole area 45 species, the regeneration area 58 species and for the conservation area 61 species. The species with the highest index of importance value in the three areas is *Piscidia piscipula*. The average above-ground biomass and carbon stored was 118.78 and 59.39 ton ha<sup>-1</sup> for the regeneration area, 166.50 and 83.25 ton ha<sup>-1</sup> for the waterhole, and 182.58 and 91.29 ton ha<sup>-1</sup> for the conservation area.

**Key words:** waterhole; allometric equation; importance value index.

#### INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los principales problemas ambientales del siglo XXI, a consecuencia del incremento de la concentración de gases de efecto invernadero. Este problema es ocasionado por la quema de combustible fósiles y otras actividades

antropogénicas. Como resultado se da el aumento del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que empezó a presentar significancia a mediados del siglo XIX a causa del desarrollo industrial (Garreaud, 2011). Sobre el cambio del clima en la superficie terrestre, se estimó un incremento aproximado de 0.7 °C de temperatura, registrada en el último siglo (IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007). Para mitigar efectos negativos del cambio climático están los ecosistemas forestales que cumplen funciones importantes en beneficio del ambiente.

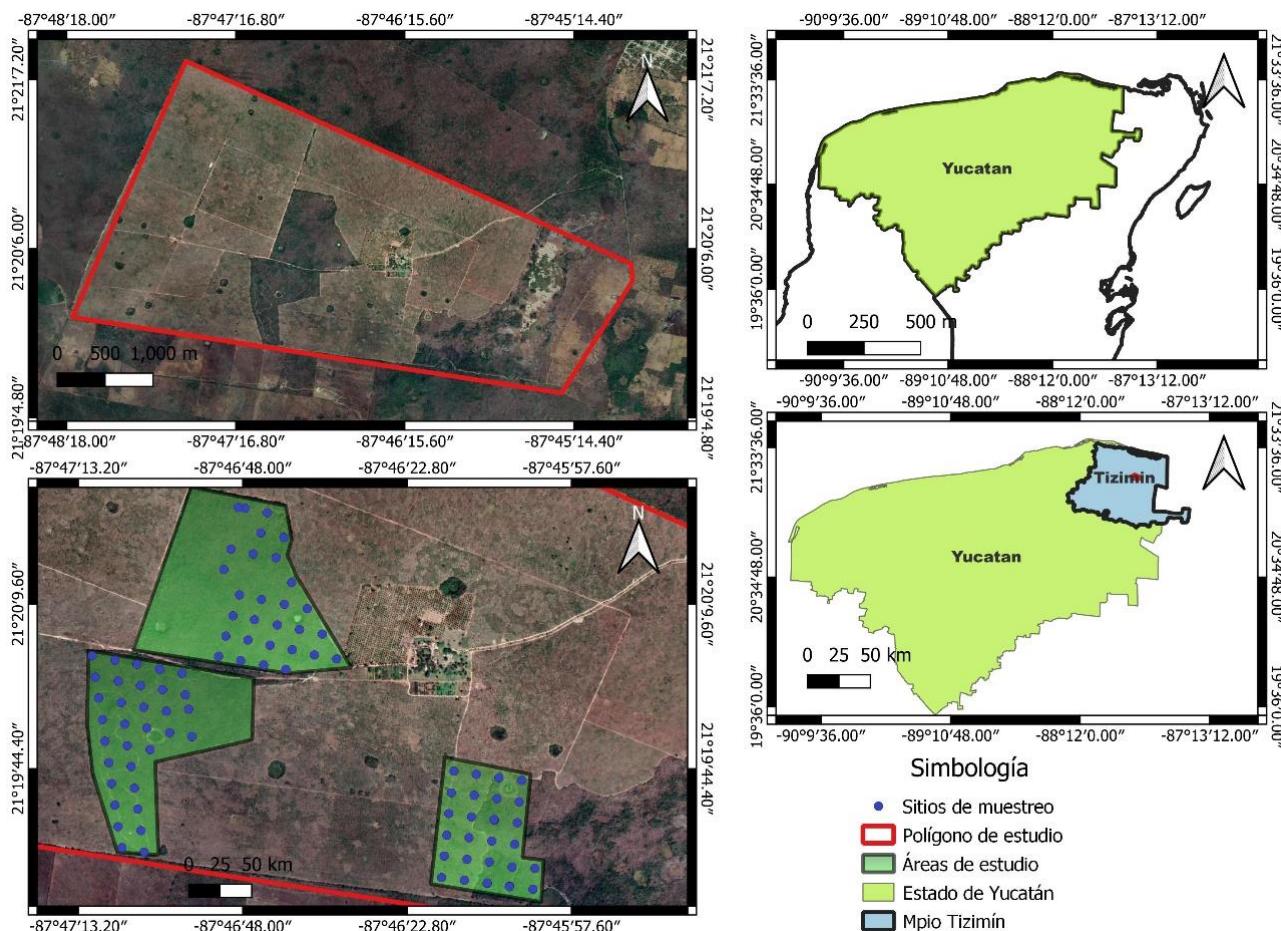
Una de las principales funciones que presentan los ecosistemas forestales es capturar y almacenar carbono en la biomasa mediante la fotosíntesis. El ciclo natural del carbono se articula la atmósfera y biosfera, y varía dentro de los bosques según la composición florística, edad y estructura (Pan *et al.*, 2011). Por ejemplo, las selvas en crecimiento en edades tempranas o intermedias tienen mayor potencial de capturar de carbono cuya capacidad está relacionada a la edad. Es decir, conforme aumenta la edad la captación disminuye (Ajit *et al.*, 2013; Fonseca *et al.*, 2011). Por lo contrario, cuando los bosques son más maduros tienen mayor capacidad de retención mediante el almacenamiento de carbono. El almacenamiento o captura de carbono ha sido calculado en bosques naturales a través de la biomasa forestal.

La cuantificación y monitoreo continuo de la biomasa forestal, a de más de la estimación del carbono, se articula con las valoraciones técnicas sobre los bosques y su contribución funcional en la mitigación al cambio climático (Houghton *et al.*, 2015). Para la estimación de la biomasa existe un método indirecto, que consiste en la utilización de ecuaciones alométricas, las cuales utilizan variables independientes fáciles de medir en los árboles del bosque, como el diámetro, altura y densidad de la madera (Picard *et al.*, 2012). Estas ecuaciones han sido desarrolladas para diferentes bosques tropicales (Brown *et al.*, 1989; Cairns *et al.*, 2003; Návar, 2009; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2008).

Bajo los antecedentes mencionados se desarrolló la presente investigación, cuyo objetivo del estudio fue caracterizar la estructura horizontal, determinar la composición de especies leñosas, estimar la biomasa aérea y el contenido de carbono en tres áreas: aguada, área de regeneración y área de conservación, en la selva mediana perennifolia, con el propósito de generar conocimiento para ayudar a conocer las cantidades de carbono y su relación con diferentes parámetros en el ecosistema.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el rancho “San Miguel” ubicado en el municipio de Tizimín, Yucatán, México, bajo las coordenadas geográficas 21°20'01.75” N y 87°46'28.77’ O (Fig. 1). El área de estudio registra, una altitud promedio de 20 msnm. La vegetación dominante del predio es de tipo selva mediana perennifolia y plantación de teca (*Tectona grandis*). El clima presente es caliente subhúmedo con lluvias en verano (Aw), con una precipitación anual promedio de 1,167 mm y temperatura media anual de 25.4 °C (INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2009).



**Fig. 1.** Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en el área de estudio.

El rancho tiene una superficie de 1,181.62 ha, con diferentes usos de la tierra: 1) la aguada con 12 ha, en donde se forman cuerpos de agua temporales por geoformas específicas disponiendo de una mayor humedad; 2) área de regeneración de 39 ha, con 30 años de abandono, las actividades que se realizaban anteriormente era ganadería extensiva y la extracción de madera y; 3) área de conservación con 53 ha, sin evidencia de uso previo.

Para evaluar las áreas se realizaron 26 unidades de muestreo en la aguada, 33 en el área de regeneración y 29 en el área de conservación, en total 88 unidades de muestreo rectangulares de 20 x 50 metros con una superficie de 1,000 m<sup>2</sup>, la distribución se estableció de forma sistemática, es decir, distancias iguales entre los puntos centrales de las unidades, se obtuvo mediante la raíz cuadrada del resultado de la división de la superficie entre el número de unidades. En estas unidades experimentales se midió el diámetro normal, altura total y diámetro de copa (norte-sur) (este-oeste), considerando todos los individuos con DAP ≥ a 2.5 cm.

#### Estructura horizontal y composición de especies leñosas

La estructura horizontal se realizó con el propósito de evaluar el comportamiento de los individuos y de las especies en una determinada superficie y establecer su importancia ecológica. Se determinó el número de árboles por categoría diamétrica y se generaron gráficos

para comparar entre los usos de tierra. Con los datos obtenidos en campo para cada especie se determinó los parámetros ecológicos de abundancia relativa (ARi), dominancia relativa (DRi), frecuencia relativa (FRi), así como el índice de valor de importancia (IVI), el cual adquiere valores porcentuales en una escala del 0 al 100 (Mostacedo & Fredericksen, 2000), se estimaron mediante las siguientes ecuaciones:

Abundancia relativa:

$$A_i = N_i / S \quad AR_i = \left( \frac{A_i}{\sum A_i} \right) * 100$$

$$i=1 \dots n$$

donde Ai es abundancia absoluta, ARi la abundancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total, Ni es el número de individuos de la especie i, y S la superficie de muestreo (ha).

Dominancia relativa:

$$D_i = A_b i / S(\text{ha}) \quad DR_i = \left( \frac{D_i}{\sum D_i} \right) * 100$$

$$i=1 \dots n$$

donde Di es dominancia absoluta, DRi la dominancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total, Abi el área de copa de la especie i, y S la superficie de muestreo (ha).

Frecuencia relativa:

$$F_i = P_i / NS \quad FR_i = \left( \frac{F_i}{\sum F_i} \right) * 100$$

$$i=1 \dots n$$

donde Fi es la frecuencia absoluta, FRi la frecuencia relativa de la especie i respecto a la abundancia total, Pi el número de sitios en el que está presente la especie i, y NS número total de sitios de muestreo.

Índice de valor de importancia:

$$IVI = (AR_i + FR_i + DR_i) / 3$$

donde IVI es el índice de valor de importancia, ARi es la abundancia relativa, FRi es la frecuencia relativa y DRi es la dominancia relativa.

#### Biomasa aérea y contenido de carbono

El contenido de carbono se obtuvo de la relación de la biomasa aérea por la concentración de carbono de las especies.

$$\text{Contenido de carbono} = B * CC$$

donde: B = biomasa aérea (peso seco de los árboles, kg), CC = concentración de carbono (%).

La concentración de carbono fue obtenida utilizando el factor de conversión de 0.5 recomendado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007). A partir de la vegetación identificada, se revisó literatura para identificar y seleccionar ecuaciones alométricas específicas para género o especie (Cairns *et al.*, 2003; Návar, 2009; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2008). Se utilizó una

ecuación general basada en el tipo de clima (Brown *et al.*, 1989) (Tabla 1 y 2) cuando no existió ecuaciones específicas para género o especie; o mediante la ecuación de volumen general:

$$b = v \cdot dm \cdot F_{exp}$$

donde: b = biomasa aérea; v = volumen del árbol; dm = densidad de la madera (Chave et al., 2006); Fexp= factor de expansión (sin dimensión), relación entre la biomasa total y la biomasa de fuste.

$$v = (\pi/4) \cdot d^2 \cdot h \cdot f$$

donde: v = volumen del árbol; d = diámetro a la altura de pecho (1.30 m); h = altura del árbol; f = factor de forma o coeficiente mórfico (es la relación que existe entre el volumen real del tronco y el modelo que se toma como referencia, el valor es diferente entre las especies).

**Tabla 1.** Ecuaciones alométricas para estimar biomasa específica para género o especie.

Especie	Ecuación
<i>Bauhinia variegata</i> L.	[0.197575]*[DBH <sup>2.34002</sup> ]
<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planchon	[0.037241*DBH <sup>2.99585</sup> ]
<i>Brosimum alicastrum</i> Swarts.	[0.0336]*[DBH <sup>2</sup> ]*[TH]
<i>Eugenia buxifolia</i> (Sw.) Willd.	[0.4600]+[[0.0370]*[DBH <sup>2</sup> ]*TH]
<i>Pouteria unilocularis</i> Donn. Smith	[0.0465]*[DBH <sup>2</sup> ]*[TH]
<i>Spondias mombin</i> L.	Exp(-2.12605 + 0.868 LN(DN <sup>2</sup> *H)
<i>Luehea speciosa</i> Willd.	
<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	[0.0841]*[DBH <sup>2.41</sup> ]

DBH, DN = diámetro a altura de pecho (1.30 m); H, TH = altura (m).

**Tabla 2.** Ecuación por tipo de clima, Húmedo.

Especie	Ecuación
<i>Albizia tomentosa</i> (Micheli) Standl.	
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	
<i>Byrsinima bucidaefolia</i> Standl.	
<i>Caesalpinia vesicaria</i> L.	
<i>Cascabela gaumeri</i> (Hemsl.) Lippold	
<i>Casimiroa tetrameria</i> Millsp.	
<i>Cecropia peltata</i> L.	
<i>Ceiba pentandra</i> (L) Gaertn	
<i>Chloroleucon mangense</i> (Jacq.) Britton & Rose	exp[-2.4090+0.95522In(D <sup>2</sup> HS)]
<i>Chrysophyllum cainito</i> L.	
<i>Colubrina arborescens</i> (Mill.) Sarg.	
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pavón) Oken	
<i>Cordia dodecandra</i> A. DC.	
<i>Diphysa carthagrenensis</i> Jacq.	
<i>Drypetes lateriflora</i> (Sw.) Krug. & Urb.	
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	
<i>Guettarda combsii</i> Urb.	

Especie	Ecuación
<i>Gymnanthes lucida</i> Sw.	
<i>Hamelia patens</i> Jacq.	
<i>Indigofera indica</i> L.	
<i>Krugiodendron ferreum</i> (Vahl) Urb.	
<i>Leucaena shannonii</i> Donn. Sm.	
<i>Nectandra coriacea</i> (Sw.) Griseb.	
<i>Rehdera trinervis</i> (S.F. Blake) Moldenke	
<i>Sebastiania adenophora</i> Pax & K. Hoffm.	
<i>Senna pallida</i> (Vahl) H. S. Irwin & Barneby	
<i>Senna racemosa</i> (Mill.) H.S. Irwin & Barneby	
<i>Sideroxylon foetidissimum</i> Jacq.	
<i>Simarouba glauca</i> DC.	
<i>Swartzia cubensis</i> (Britt. & Wils.) Standl.	
<i>Zuelania guidonia</i> (Sw.) Britton & Millsp.	

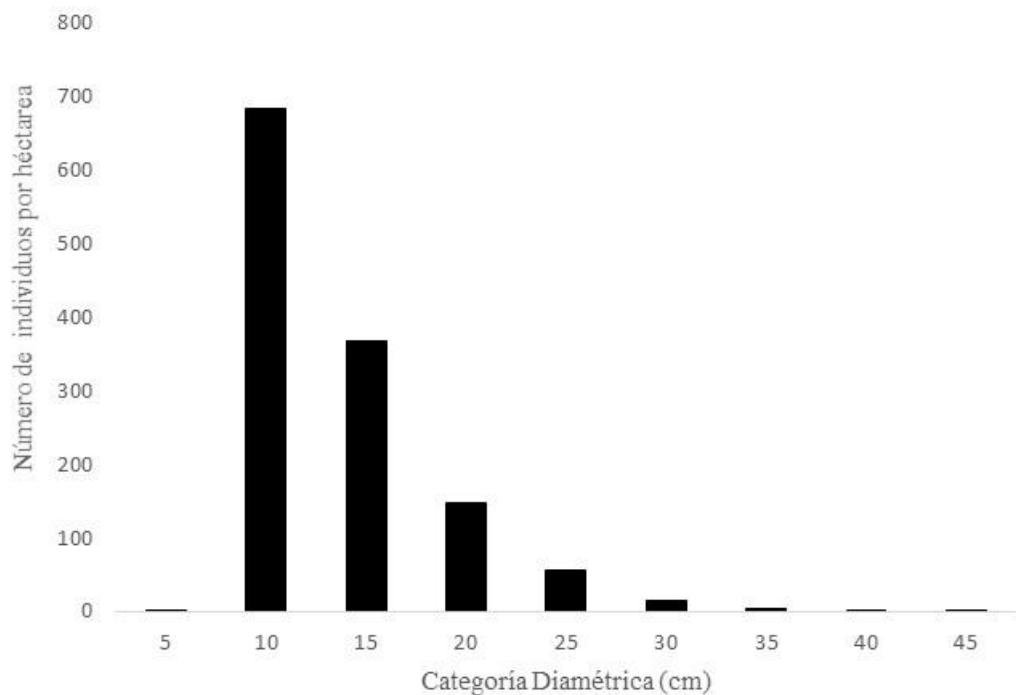
D= diámetro a altura de pecho (1.30 m), H= altura (m), S= densidad de madera.

El análisis estadístico de los datos se efectuó mediante el programa Statistica Advanced. Cuando los datos cumplieron con los criterios de normalidad y homocedasticidad se sometieron a un análisis de varianza ANDEVA (con un nivel de significancia de  $P \leq 0.05$ ) completamente aleatorio para determinar si existen efectos significativos en las variables biomasa aérea y contenido de carbono, entre los usos de la tierra, y cuando resultó significancia en la prueba, se procedió a realizar un análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

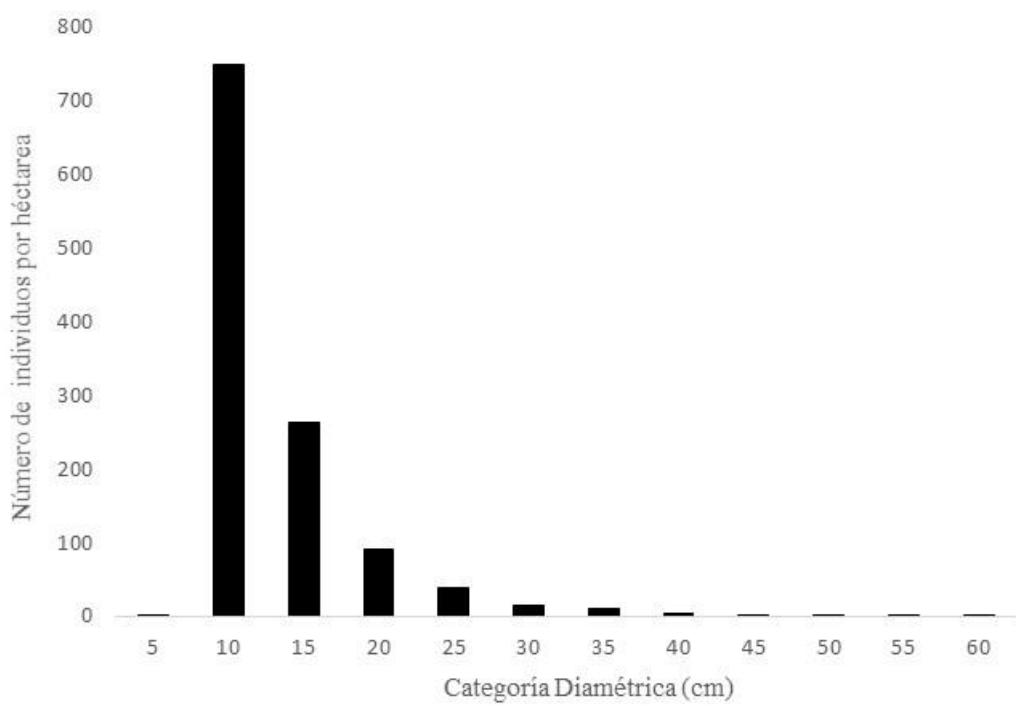
## RESULTADOS

### Estructura horizontal y composición de especies leñosas

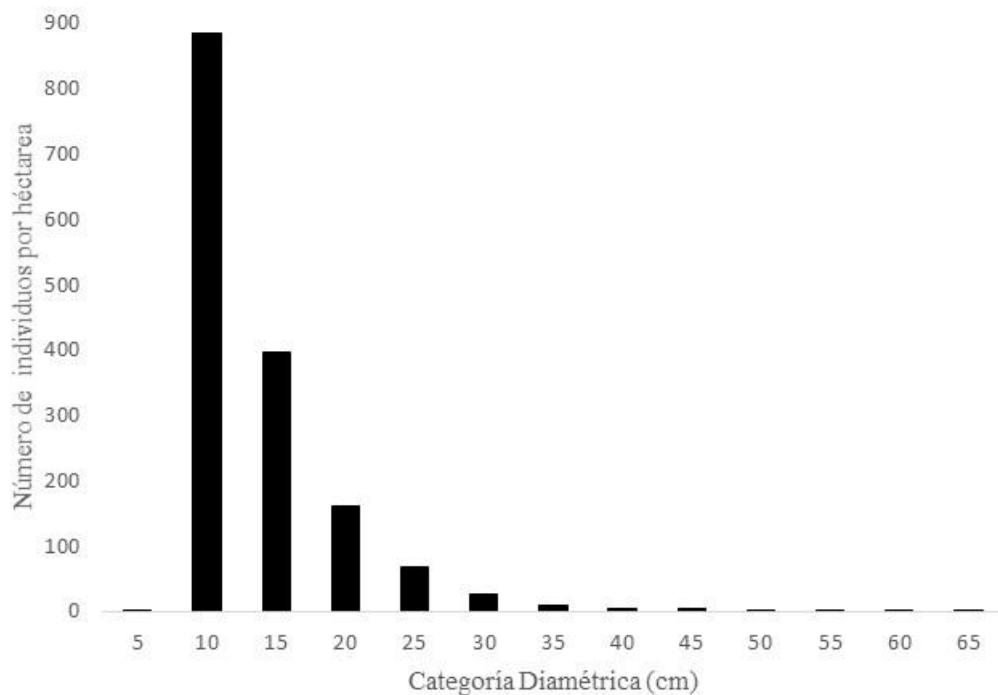
El área de conservación presentó mayor número de individuos por hectárea 1,564 ind/ha y con más categorías diamétricas 13, seguida por la aguda con 1,285 ind/ha y 9 categorías, después el área de regeneración con 1,181 ind/ha y 12 categorías. En las tres áreas el mayor número de individuos resultó en las categorías diamétricas 10, 15 y 20 cm. La tendencia de distribución de individuos de estas masas irregulares se asemejó a la "J" invertida, concentrándose dentro de las categorías diamétricas menores donde se realiza la etapa de crecimiento, es decir, se encuentran en fase activa de crecimiento de latizales esto se considera árboles en etapa juvenil con transición a juvenil-adultos (Figs. 2, 3 y 4).



**Fig. 2.** Número de individuos por categoría diamétrica en el área de la aguada.



**Fig. 3.** Número de individuos por categoría diamétrica en el área de regeneración.



**Fig. 4.** Número de individuos por categoría diamétrica en el área de conservación.

En base a los datos obtenidos se registraron en el área de la aguada 45 especies pertenecientes a 43 géneros y 24 familias. Las familias más representativas fueron: Fabaceae con las especies: *Piscidia piscipula*, *Caesalpinia gaumeri* y *Lysiloma latisiliquum*, seguida de Burseraceae representada por *Bursera simaruba* y Polygonaceae por *Coccoloba cozumelensis*. Por otro lado, la especie *P. piscipula* resultó con el porcentaje mayor de abundancia relativa con 34.24% seguida por *C. gaumeri* con el 9.26% y *B. simaruba* con 7.94%. La cobertura de las copas se estimó en 10,562 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, siendo las especies más dominantes *P. piscipula* con 3,153 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> con 29.86% de dominancia relativa, seguida por *L. latisiliquum* mostrando 1,404 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> con 13.30% y *B. simaruba* con 1,038 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> aportando el 9.83%. En la frecuencia relativa 4 especies se registraron en todos los sitios de estudio: *B. simaruba*, *C. cozumelensis*, *P. piscipula* y *Vitex gaumeri* con una representatividad conjunta de 21.04% (5.26% cada una), le siguieron *C. gaumeri* y *L. latisiliquum* mostrando ausencia en un sitio teniendo una representación en conjunto de 9.48% (4.74% para cada una). El índice de valor de importancia reflejó que la especie de mayor peso ecológico es *P. piscipula* con 23.12%, seguida por *L. latisiliquum* con 8.42%, posteriormente a *B. simaruba* con 7.68%. Los valores de abundancia, dominancia y frecuencia relativa se muestran en el Anexo 1.

En el área de regeneración se reconocieron 58 especies correspondientes a 55 géneros y 25 familias. Las familias y especies con los parámetros ecológicos superiores son Fabaceae caracterizada por *P. piscipula*, *Lonchocarpus xul* y *C. gaumeri*, seguida de Polygonaceae conformada por *C. cozumelensis* y *Gymnopodium floribundum*, después Rubiaceae con *Machaonia lindeniana* y Burseraceae representada por *B. simaruba*. La especie *P. piscipula* obtuvo el valor mayor de abundancia relativa con el 21.94%, seguida por *L. xul* con el 8.27% y *C. cozumelensis* con el 7.31%. Se estimó una cobertura de copas de 7,394 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; las especies con altos porcentajes de dominancia relativa fueron *P. piscipula* con 19.55% significando 1,446 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, seguida por *L. latisiliquum* con el 10.82% abarcando 800 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> y *C. gaumeri* presenta 7.47% equivalente a 552 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. *Coccoloba cozumelensis* y *Piscidia piscipula* presentaron existencias en cada uno de los sitios muestreados obteniendo en conjunto 9.68% (4.84% cada una) de frecuencia relativa, continuando *L. xul* con el 4.72% y con 4.60%

*B. simaruba*. *P. piscipula* presento mayor valor del IVI con 15.45%; la segunda especie fue *L. xuul* con un valor de 6.73% y posteriormente *Lysiloma latisiliquum* con 6.39%. Los valores de abundancia, dominancia y frecuencia relativa se muestran en el Anexo 2.

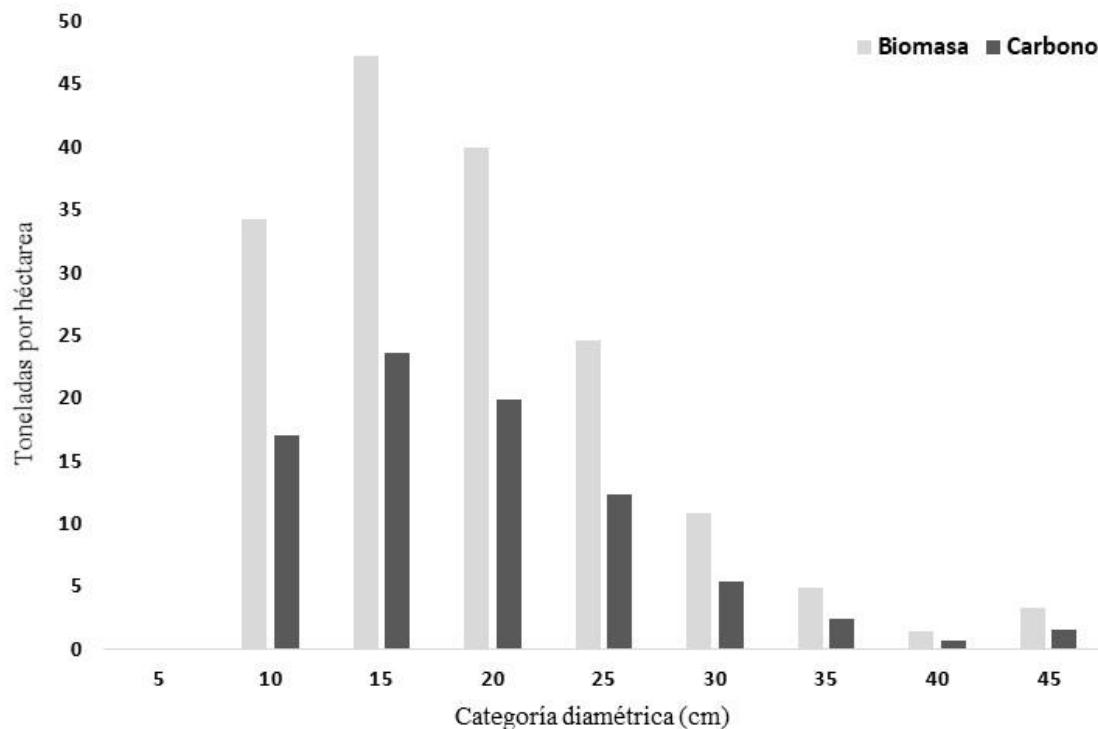
Para el caso del área de conservación, se identificaron 61 especies, 58 géneros y 28 familias. Las familias y especies más distintivas son: Fabaceae constituyéndose por *P. piscipula*, *C. gaumeri* y *L. xuul*. Le sigue la familia Polygonaceae representada por *C. cozumelensis* y *G. floribundum*, después Burseraceae con *B. simaruba* y Malvaceae con *Luehea speciosa*. La especie con la abundancia relativa más alta fue *P. piscipula* con el 19.37% del total. Le siguen las especies, *C. gaumeri* y *B. simaruba* con valores de 9% y 7.7% respectivamente. La cobertura de copas total de las especies manifestó ocupar 10,001 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; las especies con mayor dominancia relativa fueron: *P. piscipula* con 15.27% y 1,527 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, *L. latisiliquum* con el 10.95% siendo 1,095 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> y *C. gaumeri* con el 8.81% equivaliendo 882 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. En lo que respecta a las especies importantes en frecuencia relativa fueron: *C. cozumelensis* y *P. piscipula*; solo estuvieron ausentes en un sitio dando un total en conjunto del 8.62% (4.31% cada una). Se evidenciaron que tres especies comparten la misma cantidad de existencias faltando en dos sitios siendo estas *C. gaumeri*, *L. xuul* y *V. gaumeri* con 4.14%. En relación con el 100% del IVI, el 12.98% corresponde a *P. piscipula*, demostrando ser de mayor peso ecológico. La segunda especie resultó ser *C. gaumeri* con el 7.33% y la tercera *B. simaruba* con 6.49%. Los valores de abundancia, dominancia y frecuencia relativa se muestran en el Anexo 3.

#### Biomasa aérea y contenido de carbono

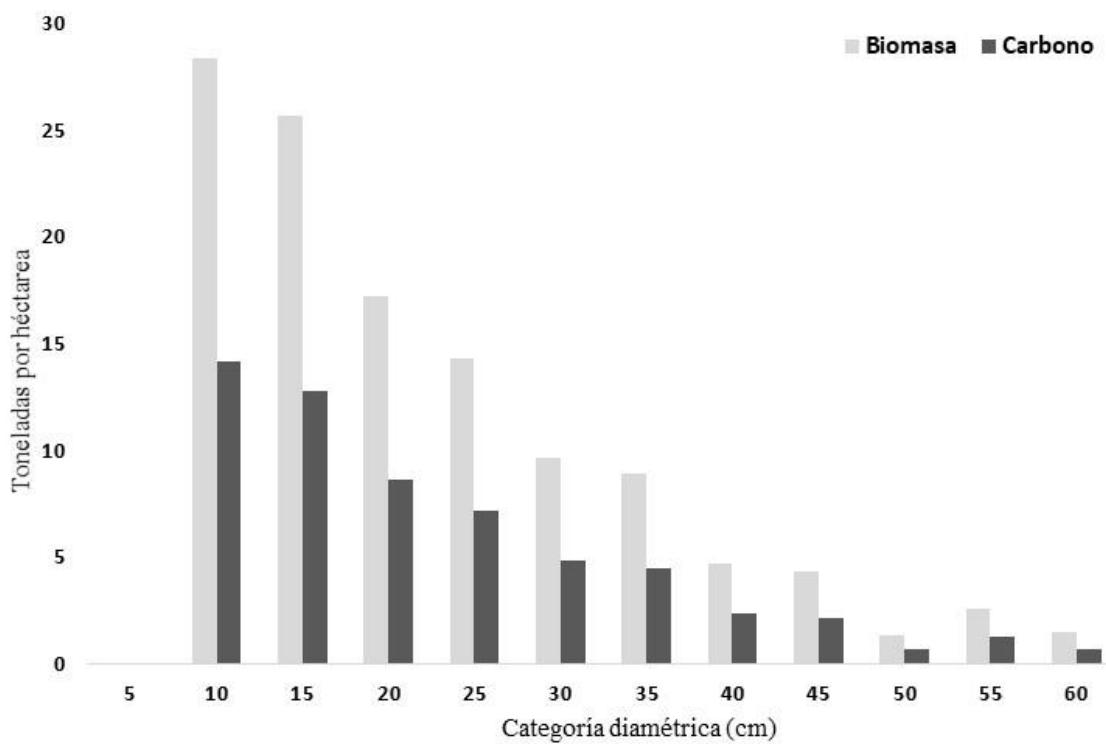
**En el área de la aguada**, las especies con mayores cantidades de biomasa y carbono almacenado representando el 69% del total son: *P. piscipula* aportando 47.99 ton ha<sup>-1</sup> de biomasa correspondiente a 23.995 ton C ha<sup>-1</sup>, le sigue *L. latisiliquum* contribuyendo con 44.75 ton B ha<sup>-1</sup> equivalente a 22.375 ton C ha<sup>-1</sup> y *C. gaumeri* con 22.57 ton B ha<sup>-1</sup> y 11.285 ton C ha<sup>-1</sup> (Anexo 4). **Para el área de regeneración** los resultados de valores mayores en biomasa y carbono por especie son: *L. latisiliquum* con 34.87 ton B ha<sup>-1</sup> y 17.435 ton C ha<sup>-1</sup>, seguida de *P. piscipula* que registró en biomasa 22.75 ton ha<sup>-1</sup> y 11.375 ton C ha<sup>-1</sup>; después *C. gaumeri* proporcionó 9.20 ton B ha<sup>-1</sup> correspondiente a 4.60 ton C ha<sup>-1</sup>. Estas especies representan el 56% del total estimado y los valores demostraron ser inferiores a los cuantificados en el área de la aguada (Anexo 5). **En el área de conservación** los contenidos de biomasa y carbono superiores corresponden a cuatro especies que aportan el 53% del total: *L. latisiliquum* con un valor de 40.57 ton B ha<sup>-1</sup> y 20.285 ton ha<sup>-1</sup>; le sigue *P. piscipula* con 30.83 ton B ha<sup>-1</sup> y 15.415 ton C ha<sup>-1</sup>, después *C. gaumeri* con 24.69 ton B ha<sup>-1</sup> y 12.345 ton C ha<sup>-1</sup> (Anexo 6).

**En el área de la aguada**, las categorías diamétricas 10, 15, 20 y 25 cm presentaron las mayores cantidades de biomasa siendo estas 34.2, 47.3, 39.9 y 24.6 ton B ha<sup>-1</sup>, respectivamente, cuyas equivalencias en carbono almacenado son 17.1, 23.6, 20 y 12.3 ton C ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Sin embargo, la categoría 5 contiene los menores con valores 0.04 ton B ha<sup>-1</sup> y 0.02 ton C ha<sup>-1</sup> (Figura 5). **Para el área de regeneración** los mayores valores de biomasa se presentaron en las clases diamétricas de 10 y 15 cm en donde se registró 28.4 y 25.7 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente, lo cual equivale a 14.19 y 12.84 ton ha<sup>-1</sup> de carbono retenido (Fig. 6). **En el área de conservación** dentro de las categorías 10, 15, 20 y 25 cm se registraron los mayores valores de: 39.14, 42.12, 32.13 y 24.21 ton ha<sup>-1</sup> en biomasa, lo cual representa 19.57, 21.06, 16.07 y 12.11 ton ha<sup>-1</sup> de carbono almacenado, respectivamente (Fig. 7).

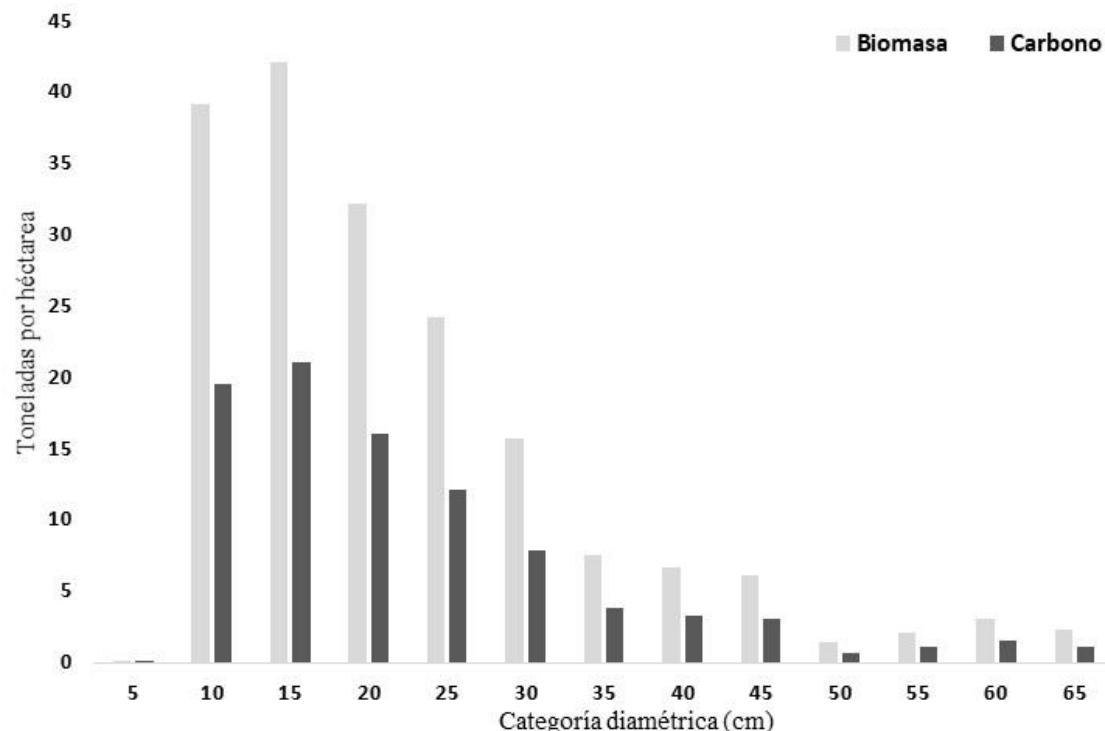
La biomasa y carbono almacenado fueron diferentes estadísticamente (ANOVA, Tukey, P≤0.05) entre las tres áreas estudiadas. Los mayores valores fueron para el área de conservación (Tabla 9) y los menores valores sin diferencia significativa fueron para la aguada y el área de conservación.



**Fig. 5.** Biomasa aérea y carbono almacenado por categoría diamétrica en el área de la aguada.



**Fig. 6.** Biomasa aérea y carbono almacenado por categoría diamétrica en área de regeneración.



**Fig. 7.** Biomasa aérea y carbono almacenado por categoría diamétrica en área de conservación.

**Tabla 9.** Biomasa aérea y contenido de carbono ( $\text{ton ha}^{-1}$ ) por área.

Área	Media		Desviación estándar de la media		Error estándar de la media	
	Biomasa	Carbono	Biomasa	Carbono	Biomasa	Carbono
Regeneración	118.78 <sup>a</sup>	59.39 <sup>a</sup>	38.38	19.19	6.15	3.07
Aguada	166.50 <sup>b</sup>	83.25 <sup>b</sup>	42.81	21.40	13.54	6.77
Conservación	182.58 <sup>b</sup>	91.29 <sup>b</sup>	74.95	37.48	14.70	7.35

Letras iguales son estadísticamente similares ( $P \leq 0.05$ )

## DISCUSIÓN

La composición de especies pertenecientes a las familias Fabaceae, Burseraceae, Polygonaceae y Rubiaceae, coincide con la de otros trabajos realizados en selvas en Yucatán (Chan, 2010; Gutiérrez-Báez *et al.*, 2011; López-Jiménez *et al.*, 2019; Zamora-Crescencio *et al.*, 2017; Zamora-Crescencio *et al.*, 2008). El número de especies fue menor en el área de la aguada donde las condiciones de disponibilidad de agua y humedad difieren en mayor cantidad con las otras zonas pero que influyen en el establecimiento y desarrollo de la diversidad arbórea. Las especies que se registraron en la mayoría de los sitios de las tres áreas son *Piscidia piscipula* y *Coccoloba cozumelensis*.

Los valores obtenidos de abundancia relativa en las tres áreas de estudio indican tener rangos similares a los determinados por Zamora-Crescencio *et al.* (2008) en una vegetación tipo selva mediana subcaducifolia en el municipio de Tzucacab localizado al sur del estado de Yucatán. Aquí las especies más representativas fueron *Bursera simaruba* el 13.17%, *Croton reflexifolius* con 22.01%, *Diospyros cuneata* el 17.60% y *Gymnanthes lucida* 43.22%, estos valores son mayores a los descritos en este trabajo. En otro estudio realizado por Zamora-Crescencio *et al.* (2017) al evaluar los parámetros estructurales de la selva mediana subperennifolia en el ejido Bethania, municipio de Campeche, reportan valores menores, tomando como ejemplo, *P. piscipula* con 1.40% y *C. cozumelensis* con 3.50%. Por otra parte, Chan (2010) analizó la estructura en la Reserva de la Biosfera Calakmul cita para la especie *P. piscipula* porcentajes menores a los reportados en este estudio, para *B. simaruba* reportan valores superiores. En general se mostró un comportamiento característico de las selvas tropicales en donde unas pocas especies son las más abundantes (Gutiérrez-Báez *et al.*, 2011), la densidad de algunas de estas permite suponer que son de rápido crecimiento (González-Iturbe *et al.*, 2002; Zamora-Crescencio *et al.*, 2008).

De acuerdo con el estudio de Chan (2010) referente a la dominancia relativa en diferentes edades de las especies *L. latisiliquum*, *B. simaruba* y *P. piscipula*, cita valores mayores a los reportados en este estudio. En el trabajo elaborado por Díaz *et al.* (2002) en la selva baja subperennifolia del ejido La Guadalupe en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, estimaron valores menores a los obtenidos en esta investigación. El área de regeneración presentó menor cobertura de copa lo cual se relaciona con el impacto de las actividades que se realizaban en el pasado (Esparza-Olguín & Martínez-Romero, 2018).

En la investigación de Zamora-Crescencio *et al.* (2008) reportan que las especies de mayor frecuencia relativa son: *L. latisiliquum*, *P. piscipula* y *C. reflexifolius* con 9.02, 9.89 y 8.15%, respectivamente. Dichos valores son superiores a los calculados en la presente investigación. Al comparar los resultados de las frecuencias del presente trabajo con los de Díaz *et al.* (2002), los sitios de la aguada y conservación demostraron ser mayores, el de regeneración fue menor.

En el estudio de Chan (2010) reporta que las especies con el índice de valor de importancia mayor son: *B. simaruba* con 9.45% y *P. piscipula* con 7.06%. En la investigación de Tadeo-Noble *et al.* (2019) mencionan que *B. simaruba* obtuvo 16.6%, *M. zapota* el 11.4% y *P. reticulata* 13.5% de índice de valor de importancia. Estos porcentajes descritos en comparación con los rangos de valores obtenidos en este trabajo en algunos casos son menores mientras que en otros mayores, se establece que se encuentran en un rango de variabilidad reducida.

Los resultados obtenidos de biomasa por especie son mayores a los reportados por Ramírez-Guardado (2015) en la Reserva Biocultural Kaxil-Kiuic en la Península de Yucatán donde estimó los siguientes valores: *L. latisiliquum* con 15.38 ton ha<sup>-1</sup>, *C. gaumeri* 13.15 ton ha<sup>-1</sup> y *P. piscipula* con 7.45 ton ha<sup>-1</sup>. En otra investigación realizada por Bautista-Hernández & Torres-Pérez (2003) citan cantidades para las especies *Manilkara zapota* de 157.95 ton B ha<sup>-1</sup> equivalente a 75.64 ton C ha<sup>-1</sup>, *Brosimum alicastrum* con 61.07 ton B ha<sup>-1</sup> y 27.53 ton C ha<sup>-1</sup> y para *Swartzia cubensis* 47.33 ton B ha<sup>-1</sup> con 24.13 ton C ha<sup>-1</sup>, estas son mayores a las de este trabajo.

Esparza-Olguín & Martínez-Romero (2018) reportaron para la vegetación tipo selva inundable un contenido de biomasa y carbono en la categoría diamétrica >31.5 cm mayor al de este estudio, pero el de las otras son menores. Las estimaciones realizadas por Esparza-Olguín (2019) por categorías diamétricas son menores a las del presente trabajo. En la categoría <2.5 cm estimo de biomasa 0.063 ton ha<sup>-1</sup> con 0.030 ton C ha<sup>-1</sup>, para la clase >2.5 a 5 cm 0.183 ton B ha<sup>-1</sup> con 0.086 ton C ha<sup>-1</sup> y en >5 a 9 cm 0.563 ton B ha<sup>-1</sup> equivaliendo 0.265 ton C ha<sup>-1</sup>. En el área de la aguada los individuos jóvenes están en etapa de desarrollo, el proceso de creación de biomasa y por ende la retención del elemento C se encuentran en un estado de productividad.

Eaton & Lawrence (2009) realizaron un estudio de contenido de carbono en una selva mediana subperennifolia al sureste de Yucatán en donde reportan 60.9 ton ha<sup>-1</sup>. Ramírez-Guardado (2015) cita para una selva mediana subcaducifolia en la Península de Yucatán, una biomasa promedio de 106.28 ton ha<sup>-1</sup> cuyo equivalente es 57.60 ton ha<sup>-1</sup> de carbono almacenado. En otra investigación realizada al sur de la Península de Yucatán en una selva tropical estacionalmente seca con vegetación secundaria por parte de Dai *et al.* (2014) obtuvieron en promedio una reserva de carbono de 56.6 ton ha<sup>-1</sup>. Las tres estimaciones de los trabajos mencionados resultan ser menores a las obtenidas para las áreas de conservación y aguada. Sin embargo, son similares a el área de regeneración. Estas realidades pueden atribuirse a que las áreas tuvieron algún tipo de perturbación producto de las actividades humanas. Además, estos resultados coinciden con los escenarios de cambio de uso de suelo en selvas medianas en Yucatán, los cuales indican que las perturbaciones tendrían un efecto mayor en la biomasa que en la riqueza de especies (Dupuy-Rada *et al.*, 2012).

## CONCLUSIONES

Se registró para el área de la aguada un total de 45 especies, en el área de regeneración 58 especies mientras que en el área de conservación resultó la de mayor cantidad con 61 especies. Donde la especie más representativa y de mayor importancia ecológica según los parámetros evaluados para las tres áreas de estudio es *Piscidia piscipula*. En el área de regeneración después de un tiempo de 30 años de no practicar actividades, ha permitido la recuperación de las especies manteniendo su composición en un 90% respecto al área de conservación. *Piscidia piscipula*, *Lysiloma latisiliquum* y *Caesalpinia gaumeri* son las especies de mayor contribución en biomasa y contenido de carbono en las tres áreas. Los contenidos superiores de carbono en las tres áreas de estudio se presentan en los individuos de las categorías intermedias (10 a 25 cm). Las estimaciones de biomasa y carbono almacenado en las áreas de estudio mostraron que la mayor cantidad se encuentra en el área de conservación seguido por el área de la aguada y posteriormente el sitio de regeneración. La recuperación hacia un estado más conservado de la selva toma muchos años, tal como se puede apreciar con el área de regeneración que alcanza un 65% de lo que se tiene de biomasa y carbono en el área conservada.

## AGRADECIMIENTOS

Al Rancho San Miguel en Tizimín, Yucatán, por el permiso para realizar esta investigación, además, a todo el personal local quienes amablemente brindaron su apoyo para el trabajo en campo. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada al primer autor para realizar una Maestría en Ciencias Forestales.

## LITERATURA CITADA

- Ajit, Dhyani, S. K., Ramnewaj, Handa, A. K., Prasad, R., Alam, B., Rizvi, R. H., Gupta, G., Pandey, K. K., Jain, A., & Uma. (2013). Modeling analysis of potential carbon sequestration under existing agroforestry systems in three districts of Indo-gangetic plains in India. *Agroforestry Systems*, 87(5), 1129–1146. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9625-x>
- Bautista-Hernández, J., & Torres-Pérez, J. A. (2003). Valoración económica del almacenamiento de carbono del bosque tropical del ejido Noh Bec, Quintana Roo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 9(1), 69–75. <https://revistas.chapingo.mx/forestales/?section=articles&subsec=issues&numero=27&articulo=389>

- Brown S., Gillespie, A. J., & Lugo, A. E. (1989). Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35, 881–902. <https://doi.org/10.1093/forestscience/35.4.881>
- Cairns, M. A., Olmsted, I., Granados, J., & Argaez, J. (2003). Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula. *Forest Ecology and Management*, 186(1–3), 125–132. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00229-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00229-9)
- Chan, D. A. M. (2010). *Diversidad florística y funcional a través de una cronosecuencia de la selva mediana subperennifolia en la zona de influencia de la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Chave, J., Muller-Landau, H. C., Baker, T. R., Easdale, T. A., ter Steege, H., & Webb, C. O. (2006). Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 Neotropical tree species. *Ecological Applications*, 16, 2356–2367.
- Dai, Z., Birdsey, R. A., Johnson, K. D., Dupuy, J. M., Hernandez-Stefanoni, J. L., & Richardson, K. (2014). Modeling Carbon Stocks in a Secondary Tropical Dry Forest in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(4), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-1925-x>
- Díaz, G. J., Castillo, A. O., & García, G. G. (2002). Distribución espacial y estructura arbórea de la selva baja subperennifolia en un ejido de la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 18, 11–28. <https://doi.org/10.19136/era.a18n35.235>
- Dupuy-Rada, J. M., Hernández-Stefanoni, J. L., Hernández-Juárez, R., Tun-Dzul, F., & May-Pat, F. (2012). Efectos del cambio de uso del suelo en la biomasa y diversidad de plantas leñosas en un paisaje de bosque tropical seco en Yucatán. *Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública*, 4, 130–140. [https://cicy.repositoryinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1242/1/id26022\\_Dupuy\\_Juan.pdf](https://cicy.repositoryinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1242/1/id26022_Dupuy_Juan.pdf)
- Eaton, J. M., & Lawrence, D. (2009). Loss of carbon sequestration potential after several decades of shifting cultivation in the Southern Yucatán. *Forest Ecology and Management*, 258(6), 949–958. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.10.019>
- Esparza-Olgún, L. G., & Martínez-Romero, E. (2018). Diversidad y carbono almacenado en el área forestal permanente de Álvaro Obregón, Calakmul, Campeche. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 152–186. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.141>
- Esparza-Olgún, L. G. (2019). Diversidad y biomasa de la selva circundante al Volcán de los Murciélagos, en Campeche, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 79–90. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1986>
- Fonseca, W., Rey-Benayas, J. M., & Alice, F. E. (2011). Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 262(8), 1400–1408. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.06.036>
- Garreaud, R. (2011). Cambio Climático: Bases físicas e impactos en Chile. *Revista Tierra Adentro*, 93, 1–14. [http://www.dgf.uchile.cl/rene/PUBS/inia\\_RGS\\_final.pdf](http://www.dgf.uchile.cl/rene/PUBS/inia_RGS_final.pdf)
- González-Iturbe, J. A., Olmsted, I., & Tun-Dzul, F. (2002). Tropical dry forest recovery after long term Henequen (sisal, *Agave fourcroydes* Lem.) plantation in northern Yucatan, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 167(1–3), 67–82. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00689-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00689-2)
- Gutiérrez-Báez, C., Ortiz-Díaz, J. J., Flores-Guido, J. S., Zamora-Crescencio, P., Domínguez-Carrasco, M. R., & Villegas, P. (2011). Estructura y composición florística de la selva mediana subcaducifolia de Nohalal-Sudzal Chico, Tekax, Yucatán, México. *Forest Veracruzana*, 13, 7–14. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49719786002.pdf>
- Houghton, R. A., Byers, B., & Nassikas, A. A. (2015). A role for tropical forests in stabilizing atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature Climate Change*, 5(12), 1022–1023. <https://doi.org/10.1038/nclimate2869>

**Recibido:**  
7/enero/2022

**Aceptado:**  
13/julio/2022

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2009). *Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tizimín, Yucatán.* [www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/31/31096.pdf](http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/31/31096.pdf)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.* [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_sp.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf)
- López-Jiménez, L. N., Durán-García, R., & Dupuy-Rada, J. M. (2019). Recuperación de la estructura, diversidad y composición en una selva mediana subperennifolia en Yucatán, México. *Madera y Bosques*, 25(1), 1–17. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511587>
- Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal.* El País. <http://www.biobnica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiatevegetal.pdf>
- Návar, J. (2009). Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 427–434. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.028>
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., & Hayes, D. (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, 333(6045), 988–993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
- Picard, N., Saint, A. L., & Henry, M. (2012). *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción.* Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.
- Ramírez-Guardado, M. A. (2015). *Estimación del carbono retenido en la biomasa aérea en una selva tropical de Yucatán, México.* Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Rodríguez-Laguna, R., Jiménez-Pérez, J., Meza-Rangel, J., Aguirre-Calderón, O., & Razo-Zarate, R. (2008). Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4, 215–222. <http://revista.itson.edu.mx/index.php/rln/article/view/127/59>
- Tadeo-Noble, A. E., Valdez-Hernández, J. I., Beltrán-Rodríguez, L., & García-Moya, E. (2019). Efecto del aprovechamiento forestal sobre la estructura y diversidad arbórea en selvas tropicales de Quintana Roo, México. *Bosque (Valdivia)*, 40(2), 129–140. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002019000200129>
- Zamora-Crescencio, P., García-Gil, G., Flores-Guido, J. S., & Ortiz, J. J. (2008). Estructura y composición florística de la selva mediana subcaducifolia en el sur del estado de Yucatán, México. *Polibotánica*, 26, 39–66. <http://www.polibotanica.mx/ojs/index.php/polibotanica/article/view/759/982>
- Zamora-Crescencio, P., Rico-Gray, V., Barrientos-Medina, R. C., Puc-Garrido, E. C., Villegas, P., Domínguez-Carrasco, M. R., & Gutiérrez-Báez, C. (2017). Estructura y composición florística de la selva mediana subperennifolia en Bethania, Campeche, México. *Polibotánica*, 43, 67–86. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.43.3>

**Anexo 1.** Parámetros ecológicos de las especies del área de la aguada.

Especie	Ab rel (%)	Dom rel (%)	Fr rel (%)	IVI (%)
<i>Bauhinia variegata</i>	1.09	0.42	1.05	0.85
<i>Bursera simaruba</i>	7.94	9.83	5.26	7.68
<i>Caesalpinia gaumeri</i>	9.26	7.83	4.74	7.28
<i>Caesalpinia vesicaria</i>	0.08	0.05	0.53	0.22
<i>Cascabela gaumeri</i>	1.87	2.12	3.68	2.56
<i>Casimiroa tetrameria</i>	0.54	0.46	2.11	1.04
<i>Chloroleucon mangense</i>	0.54	0.51	2.11	1.05
<i>Chrysophyllum cainito</i>	0.23	0.24	1.05	0.51
<i>Coccoloba coquimbensis</i>	5.53	4.76	5.26	5.18
<i>Cordia dodecandra</i>	1.01	0.58	1.58	1.06
<i>Dendropanax arboreus</i>	0.31	0.42	1.05	0.60
<i>Diospyros cuneata</i>	1.56	0.94	3.16	1.89
<i>Diphysa carthagenensis</i>	0.08	0.04	0.53	0.21
<i>Drypetes lateriflora</i>	0.16	0.23	0.53	0.30
<i>Esenbeckia pentaphylla</i>	0.08	0.05	0.53	0.22
<i>Ficus cotinifolia</i>	0.31	0.20	2.11	0.87
<i>Guettarda combsii</i>	2.65	2.89	4.21	3.25
<i>Gymnopodium floribundum</i>	3.27	1.81	3.16	2.75
<i>Hamelia patens</i>	0.47	0.25	0.53	0.42
<i>Hampea trilobata</i>	0.16	0.26	1.05	0.49
<i>Indigofera indica</i>	0.23	0.13	1.58	0.65
<i>Jatropha gaumeri</i>	0.62	0.53	1.58	0.91
<i>Lonchocarpus rugosus</i>	0.86	0.75	3.68	1.76
<i>Lonchocarpus xuul</i>	2.80	2.53	3.16	2.83
<i>Luehea speciosa</i>	3.74	3.22	3.16	3.37
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	7.24	13.30	4.74	8.42
<i>Machaonia lindeniana</i>	0.23	0.11	0.53	0.29
<i>Malmea depressa</i>	0.23	0.21	1.05	0.50
<i>Margaritaria nobilis</i>	0.47	0.40	2.11	0.99
<i>Metopium brownei</i>	0.39	0.66	1.05	0.70
<i>Nectandra coriacea</i>	0.08	0.11	0.53	0.24
<i>Piscidia piscipula</i>	34.24	29.85	5.26	23.12
<i>Pithecellobium albicans</i>	0.78	3.37	1.58	1.91
<i>Thouinia paucidentata</i>	1.01	0.64	2.63	1.43
<i>Vitex gaumeri</i>	4.28	4.92	5.26	4.82
<i>Zuelania guidonia</i>	0.23	0.48	1.05	0.59
<i>Platymiscium yucatanum</i>	1.32	0.84	4.21	2.12
<i>Pouteria unilocularis</i>	0.23	0.21	1.05	0.50
<i>Psidium sartorianum</i>	1.25	1.08	3.16	1.83
<i>Rehdera trinervis</i>	0.16	0.11	1.05	0.44
<i>Senna racemosa</i>	0.54	0.39	1.05	0.66
<i>Sideroxylon foetidissimum</i>	0.08	0.06	0.53	0.22
<i>Simarouba glauca</i>	0.54	0.54	2.11	1.06
<i>Spondias mombin</i>	0.78	0.80	1.58	1.05
<i>Swartzia cubensis</i>	0.54	0.87	2.11	1.17

Ab rel: Abundancia relativa; Fr rel: Frecuencia relativa; Dom rel: Dominancia relativa; IVI: Índice de Valor de Importancia.

**Anexo 2.** Parámetros ecológicos de las especies del área de regeneración.

Especie	Ab rel (%)	Dom rel (%)	Fr rel (%)	IVI (%)
<i>Albizia tomentosa</i>	0.04	0.05	0.25	0.11
<i>Astronium graveolens</i>	0.09	0.16	0.25	0.17
<i>Bauhinia variegata</i>	0.46	0.35	0.99	0.60
<i>Brosimum alicastrum</i>	0.13	0.20	0.37	0.23
<i>Bursera simaruba</i>	4.99	5.39	4.60	4.99
<i>Caesalpinia gaumeri</i>	7.18	7.47	4.47	6.37
<i>Caesalpinia vesicaria</i>	0.33	0.37	0.75	0.48
<i>Cascabela gaumeri</i>	0.11	0.08	0.50	0.23
<i>Casimiroa tetrameria</i>	0.28	0.25	0.87	0.47
<i>Ceiba pentandra</i>	0.02	0.19	0.12	0.11
<i>Chloroleucon mangense</i>	0.61	0.54	1.49	0.88
<i>Chrysophyllum cainito</i>	0.13	0.09	0.75	0.32
<i>Coccoloba acapulcensis</i>	0.15	0.13	0.50	0.26
<i>Coccoloba cozumelensis</i>	7.31	6.15	4.84	6.10
<i>Colubrina arborescens</i>	0.04	0.04	0.12	0.07
<i>Cordia alliodora</i>	0.20	0.16	0.87	0.41
<i>Cordia dodecandra</i>	0.13	0.33	0.50	0.32
<i>Dendropanax arboreus</i>	0.07	0.02	0.37	0.15
<i>Diospyros cuneata</i>	3.86	2.78	4.47	3.70
<i>Diphysa carthagrenensis</i>	0.20	0.19	0.99	0.46
<i>Drypetes lateriflora</i>	0.17	0.14	0.87	0.39
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.02	0.01	0.12	0.05
<i>Ficus cotinifolia</i>	0.52	0.62	1.74	0.96
<i>Lonchocarpus rugosus</i>	2.47	2.06	4.47	3.00
<i>Lonchocarpus xuul</i>	8.27	7.19	4.72	6.73
<i>Luehea speciosa</i>	2.30	2.40	1.99	2.23
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	4.02	10.82	4.35	6.39
<i>Machaonia lindeniana</i>	6.62	5.78	3.98	5.46
<i>Malmea depresra</i>	0.15	0.18	0.50	0.28
<i>Manilkara zapota</i>	0.33	0.56	1.12	0.67
<i>Margaritaria nobilis</i>	0.48	0.45	1.49	0.81
<i>Metopium brownei</i>	1.89	2.86	2.98	2.58
<i>Piscidia piscipula</i>	21.94	19.55	4.84	15.45
<i>Pithecellobium albicans</i>	0.30	0.37	0.87	0.52
<i>Platymiscium yucatanum</i>	2.80	2.16	3.98	2.98
<i>Pouteria unilocularis</i>	0.54	0.67	1.86	1.03
<i>Psidium sartorianum</i>	1.50	1.28	2.98	1.92
<i>Rehdera trinervis</i>	0.82	0.59	1.61	1.01
<i>Sebastiania adenophora</i>	0.02	0.02	0.12	0.05
<i>Senna pallida</i>	0.02	0.02	0.12	0.06
<i>Sideroxylon foetidissimum</i>	0.11	0.09	0.62	0.27
<i>Simarouba glauca</i>	0.22	0.22	0.75	0.39
<i>Spondias mombin</i>	0.28	0.24	1.12	0.55
<i>Swartzia cubensis</i>	1.28	1.23	3.11	1.87
<i>Talisia olivaeformis</i>	0.11	0.08	0.25	0.15
<i>Tecoma stans</i>	0.17	0.15	0.87	0.40
<i>Thouinia paucidentata</i>	2.67	2.39	4.10	3.05
<i>Vitex gaumeri Greenmn</i>	0.96	1.08	2.61	1.55
<i>Zuelania guidonia</i>	0.96	0.80	1.74	1.17
<i>Guettarda combsii</i>	3.91	3.77	4.22	3.97
<i>Gymnanthes lucida</i>	0.02	0.03	0.12	0.06
<i>Gymnopodium floribundum</i>	6.66	6.18	4.35	5.73

Especie	Ab rel (%)	Dom rel (%)	Fr rel (%)	IVI (%)
<i>Haematoxylum campechianum</i>	0.04	0.07	0.12	0.08
<i>Hampea trilobata</i>	0.04	0.03	0.25	0.11
<i>Indigofera indica</i>	0.09	0.05	0.37	0.17
<i>Jatropha gaumeri</i>	0.74	0.67	1.61	1.01
<i>Krugiodendron ferreum</i>	0.09	0.10	0.25	0.14
<i>Leucaena shannonii</i>	0.13	0.13	0.75	0.33

Ab rel: Abundancia relativa; Fr rel: Frecuencia relativa; Dom rel: Dominancia relativa; IVI: Índice de Valor de Importancia.

### Anexo 3. Parámetros ecológicos de las especies del área de conservación.

Especie	Ab rel (%)	Dom rel (%)	Fr rel (%)	IVI (%)
<i>Acacia gaumeri</i>	0.02	0.02	0.17	0.07
<i>Albizia tomentosa</i>	0.05	0.03	0.34	0.14
<i>Astronium graveolens</i>	0.02	0.02	0.17	0.07
<i>Bauhinia variegata</i>	0.44	0.35	0.69	0.49
<i>Brosimum alicastrum</i>	0.37	0.79	0.69	0.62
<i>Bursera simaruba</i>	7.70	7.81	3.97	6.49
<i>Byrsinima bucidifolia</i>	0.10	0.15	0.52	0.26
<i>Caesalpinia gaumeri</i>	9.03	8.81	4.14	7.33
<i>Caesalpinia vesicaria</i>	0.20	0.15	0.86	0.40
<i>Cascabela gaumeri</i>	0.39	0.35	1.21	0.65
<i>Casimiroa tetrameria</i>	0.37	0.42	1.38	0.72
<i>Cecropia peltata</i>	0.02	0.09	0.17	0.10
<i>Ceiba pentandra</i>	0.02	0.03	0.17	0.08
<i>Chloroleucon mangense</i>	0.64	0.48	2.07	1.06
<i>Chrysophyllum cainito</i>	0.20	0.21	0.86	0.42
<i>Coccocloba acapulcensis</i>	0.39	0.42	1.38	0.73
<i>Coccocloba cozumelensis</i>	6.74	5.48	4.31	5.51
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	0.20	0.19	0.86	0.42
<i>Colubrina arborescens</i>	0.02	0.04	0.17	0.08
<i>Cordia alliodora</i>	0.15	0.15	0.52	0.27
<i>Cordia dodecandra</i>	0.07	0.06	0.52	0.22
<i>Dendropanax arboreus</i>	0.30	0.42	0.52	0.41
<i>Diospyros cuneata</i>	3.52	2.94	3.79	3.42
<i>Diphysa carthagrenensis</i>	0.44	0.24	1.03	0.57
<i>Drypetes lateriflora</i>	0.05	0.03	0.34	0.14
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.02	0.01	0.17	0.07
<i>Esenbeckia pentaphylla</i>	0.17	0.11	0.86	0.38
<i>Eugenia buxifolia</i>	0.10	0.03	0.34	0.16
<i>Ficus cotinifolia</i>	0.27	0.34	1.03	0.55
<i>Guettarda combsii</i>	2.29	1.94	3.28	2.50
<i>Gymnopodium floribundum</i>	5.39	5.01	3.62	4.67
<i>Haematoxylum campechianum</i>	0.17	0.17	0.34	0.23
<i>Indigofera indica</i>	0.15	0.11	1.03	0.43
<i>Jatropha gaumeri</i>	0.64	0.54	1.38	0.85
<i>Krugiodendron ferreum</i>	0.02	0.02	0.17	0.07
<i>Leucaena shannonii</i>	0.15	0.22	0.86	0.41
<i>Lonchocarpus rugosus</i>	2.36	2.01	3.79	2.72
<i>Lonchocarpus xul</i>	5.73	4.74	4.14	4.87
<i>Luehea speciosa</i>	5.46	5.56	3.10	4.71
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	4.28	10.95	3.79	6.34
<i>Machaonia lindeniana</i>	1.53	1.01	2.41	1.65

Especie	Ab rel (%)	Dom rel (%)	Fr rel (%)	IVI (%)
<i>Malmea depressa</i>	1.03	1.17	1.38	1.20
<i>Manilkara zapota</i>	1.85	2.58	2.07	2.17
<i>Margaritaria nobilis</i>	0.44	0.33	1.21	0.66
<i>Metopium brownei</i>	2.39	2.69	2.93	2.67
<i>Piscidia piscipula</i>	19.37	15.27	4.31	12.98
<i>Pithecellobium albicans</i>	0.81	1.36	1.55	1.24
<i>Platymiscium yucatanum</i>	1.53	1.18	3.10	1.94
<i>Pouteria unilocularis</i>	0.66	0.83	1.38	0.96
<i>Psidium sartorianum</i>	2.95	2.41	3.28	2.88
<i>Rehdera trinervis</i>	0.22	0.14	0.86	0.41
<i>Sebastiania adenophora</i>	0.12	0.13	0.52	0.26
<i>Senna racemosa</i>	0.02	0.03	0.17	0.08
<i>Sideroxylon foetidissimum</i>	0.12	0.08	0.69	0.30
<i>Simarouba glauca</i>	0.42	0.40	1.21	0.67
<i>Spondias mombin</i>	0.69	0.59	1.90	1.06
<i>Swartzia cubensis</i>	1.23	1.39	2.93	1.85
<i>Talisia olivaeformis</i>	0.07	0.09	0.34	0.17
<i>Thouinia paucidentata</i>	2.12	2.17	2.93	2.41
<i>Vitex gaumeri</i>	3.22	4.27	4.14	3.88
<i>Zuelania guidonia</i>	0.52	0.41	1.90	0.94

Ab rel: Abundancia relativa; Fr rel: Frecuencia relativa; Dom rel: Dominancia relativa; IVI: Índice de Valor de Importancia.

**Anexo 4.** Biomasa aérea y carbono almacenado por especie en el área de la aguada.

Especie	Ton B ha <sup>-1</sup>	Ton C ha <sup>-1</sup>
<i>Piscidia piscipula</i>	47.99	23.995
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	44.75	22.375
<i>Caesalpinia gaumeri</i>	22.57	11.285
<i>Vitex gaumeri</i>	8.48	4.24
<i>Coccoloba cozumelensis</i>	5.52	2.76
<i>Bursera simaruba</i>	5.42	2.71
<i>Luehea speciosa</i>	3.38	1.69
<i>Lonchocarpus xuu</i>	2.73	1.365
<i>Platymiscium yucatanum</i>	2.28	1.14
<i>Guettarda combsii</i>	2.26	1.13
<i>Pithecellobium albicans</i>	1.84	0.92
<i>Gymnopodium floribundum</i>	1.8	0.9
<i>Cascabela gaumeri</i>	1.42	0.71
<i>Lonchocarpus rugosus</i>	1.4	0.7
<i>Hamelia patens</i>	1.3	0.65
<i>Psidium sartorianum</i>	1.09	0.545
<i>Diospyros cuneata</i>	1.01	0.505
<i>Pouteria unilocularis</i>	1.01	0.505
<i>Metopium brownei</i>	0.91	0.455
<i>Cordia dodecandra</i>	0.9	0.45
<i>Dendropanax arboreus</i>	0.86	0.43
<i>Bauhinia variegata</i>	0.85	0.425
<i>Zuelania guidonia</i>	0.79	0.395
<i>Casimiroa tetrameria</i>	0.76	0.38
<i>Swartzia cubensis</i>	0.65	0.325
<i>Chloroleucon mangense</i>	0.59	0.295
<i>Margaritaria nobilis</i>	0.59	0.295

Especie	Ton B ha <sup>-1</sup>	Ton C ha <sup>-1</sup>
<i>Thouinia paucidentata</i>	0.52	0.26
<i>Senna racemosa</i>	0.46	0.23
<i>Spondias mombin</i>	0.44	0.22
<i>Jatropha gaumeri</i>	0.39	0.195
<i>Simarouba glauca</i>	0.31	0.155
<i>Indigofera indica</i>	0.18	0.09
<i>Machaonia lindeniana</i>	0.16	0.08
<i>Ficus cotinifolia</i>	0.14	0.07
<i>Rehdera trinervis</i>	0.12	0.06
<i>Caesalpinia vesicaria</i>	0.12	0.06
<i>Malmea depressa</i>	0.09	0.045
<i>Chrysophyllum cainito</i>	0.09	0.045
<i>Esenbeckia pentaphylla</i>	0.08	0.04
<i>Drypetes lateriflora</i>	0.07	0.035
<i>Nectandra coriacea</i>	0.07	0.035
<i>Diphysa carthagrenensis</i>	0.05	0.025
<i>Sideroxylon foetidissimum</i>	0.03	0.015
<i>Hampea trilobata</i>	0.03	0.015

**Anexo 5.** Biomasa aérea y carbono almacenado por especie en el área de regeneración.

Especie	Ton B ha <sup>-1</sup>	Ton C ha <sup>-1</sup>
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	34.87	17.435
<i>Piscidia piscipula</i>	22.75	11.375
<i>Caesalpinia gaumeri</i>	9.2	4.6
<i>Coccoloba cozumelensis</i>	5.21	2.605
<i>Lonchocarpus xul</i>	5.09	2.545
<i>Bursera simaruba</i>	3.74	1.87
<i>Gymnopodium floribundum</i>	3.38	1.69
<i>Platymiscium yucatanum</i>	3.32	1.66
<i>Metopium brownei</i>	3.3	1.65
<i>Guettarda combsii</i>	2.61	1.305
<i>Lonchocarpus rugosus</i>	2.41	1.205
<i>Machaonia lindeniana</i>	2.28	1.14
<i>Luehea speciosa</i>	1.83	0.915
<i>Diospyros cuneata</i>	1.76	0.88
<i>Thouinia paucidentata</i>	1.71	0.855
<i>Vitex gaumeri</i>	1.39	0.695
<i>Margaritaria nobilis</i>	1.35	0.675
<i>Swartzia cubensis</i>	1.28	0.64
<i>Manilkara zapota</i>	1.09	0.545
<i>Albizia tomentosa</i>	1.06	0.53
<i>Psidium sartorianum</i>	0.98	0.49
<i>Zuelania guidonia</i>	0.83	0.415
<i>Ficus cotinifolia</i>	0.77	0.385
<i>Pouteria unilocularis</i>	0.67	0.335
<i>Cordia dodecandra</i>	0.65	0.325
<i>Rehdera trinervis</i>	0.57	0.285
<i>Caesalpinia vesicaria</i>	0.52	0.26
<i>Chloroleucon mangense</i>	0.39	0.195
<i>Pithecellobium albicans</i>	0.35	0.175
<i>Astronium graveolens</i>	0.34	0.17
<i>Casimiroa tetrameria</i>	0.29	0.145

Especie	Ton B ha <sup>-1</sup>	Ton C ha <sup>-1</sup>
<i>Jatropha gaumeri</i>	0.28	0.14
<i>Bauhinia variegata</i>	0.25	0.125
<i>Diphysa carthagrenensis</i>	0.2	0.1
<i>Cordia alliodora</i>	0.19	0.095
<i>Dendropanax arboreus</i>	0.18	0.09
<i>Simarouba glauca</i>	0.15	0.075
<i>Brosimum alicastrum</i>	0.15	0.075
<i>Ceiba pentandra</i>	0.14	0.07
<i>Talisia olivaeformis</i>	0.13	0.065
<i>Krugiodendron ferreum</i>	0.13	0.065
<i>Leucaena shannonii</i>	0.12	0.06
<i>Drypetes lateriflora</i>	0.11	0.055
<i>Tecoma stans</i>	0.1	0.05
<i>Spondias mombin</i>	0.09	0.045
<i>Coccoloba acapulcensis</i>	0.08	0.04
<i>Indigofera indica</i>	0.07	0.035
<i>Malmea depressa</i>	0.07	0.035
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.07	0.035
<i>Colubrina arborescens</i>	0.06	0.03
<i>Sideroxylon foetidissimum</i>	0.05	0.025
<i>Cascabela gaumeri</i>	0.052	0.026
<i>Chrysophyllum cainito</i>	0.052	0.026
<i>Sebastiania adenophora</i>	0.025	0.0125
<i>Haematoxylum campechianum</i>	0.021	0.0105
<i>Senna pallida</i>	0.009	0.0045
<i>Hampea trilobata</i>	0.008	0.004
<i>Gymnanthes lucida</i>	0.003	0.0015

**Anexo 6.** Biomasa aérea y carbono almacenado por especie en el área de conservación.

Especie	Ton B ha <sup>-1</sup>	Ton C ha <sup>-1</sup>
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	40.57	20.285
<i>Piscidia piscipula</i>	30.83	15.415
<i>Caesalpinia gaumeri</i>	24.69	12.345
<i>Vitex gaumeri</i>	10.03	5.015
<i>Bursera simaruba</i>	7.50	3.75
<i>Coccoloba cozumelensis</i>	5.82	2.91
<i>Luehea speciosa</i>	5.57	2.785
<i>Metopium brownei</i>	5.46	2.73
<i>Lonchocarpus xul</i>	5.08	2.54
<i>Gymnopodium floribundum</i>	4.77	2.385
<i>Dendropanax arboreus</i>	3.64	1.82
<i>Lonchocarpus rugosus</i>	3.60	1.8
<i>Manilkara zapota</i>	3.52	1.76
<i>Psidium sartorianum</i>	3.45	1.725
<i>Brosimum alicastrum</i>	2.71	1.355
<i>Swartzia cubensis</i>	2.63	1.315
<i>Platymiscium yucatanum</i>	2.58	1.29
<i>Pithecellobium albicans</i>	2.39	1.195
<i>Guettarda combsii</i>	2.14	1.07
<i>Thouinia paucidentata</i>	1.87	0.935
<i>Diospyros cuneata</i>	1.86	0.93
<i>Pouteria unilocularis</i>	1.76	0.88

Especie	Ton B ha <sup>-1</sup>	Ton C ha <sup>-1</sup>
<i>Margaritaria nobilis</i>	1.15	0.575
<i>Machaonia lindeniana</i>	0.81	0.405
<i>Casimiroa tetrameria</i>	0.67	0.335
<i>Bauhinia variegata</i>	0.59	0.295
<i>Chloroleucon mangense</i>	0.56	0.28
<i>Cascabela gaumeri</i>	0.51	0.255
<i>Zuelania guidonia</i>	0.50	0.25
<i>Diphysa carthagrenensis</i>	0.50	0.25
<i>Malmea depressa</i>	0.47	0.235
<i>Spondias mombin</i>	0.38	0.19
<i>Leucaena shannonii</i>	0.37	0.185
<i>Rehdera trinervis</i>	0.33	0.165
<i>Jatrophia gaumeri</i>	0.32	0.16
<i>Coccoloba acapulcensis</i>	0.31	0.155
<i>Simarouba glauca</i>	0.31	0.155
<i>Caesalpinia vesicaria</i>	0.29	0.145
<i>Ficus cotinifolia</i>	0.25	0.125
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	0.20	0.1
<i>Haematoxylum campechianum</i>	0.20	0.1
<i>Albizia tomentosa</i>	0.16	0.08
<i>Cordia alliodora</i>	0.16	0.08
<i>Byrsonima bucidaefolia</i>	0.16	0.08
<i>Talisia olivaeformis</i>	0.14	0.07
<i>Esenbeckia pentaphylla</i>	0.12	0.06
<i>Indigofera indica</i>	0.11	0.055
<i>Cordia dodecandra</i>	0.10	0.05
<i>Sideroxylon foetidissimum</i>	0.08	0.04
<i>Chrysophyllum cainito</i>	0.08	0.04
<i>Eugenia buxifoli</i>	0.05	0.025
<i>Colubrina arborescens</i>	0.05	0.025
<i>Sebastiania adenophora</i>	0.04	0.02
<i>Drypetes lateriflora</i>	0.03	0.015
<i>Astronium graveolens</i>	0.03	0.015
<i>Senna racemosa</i>	0.02	0.01
<i>Ceiba pentandra</i>	0.02	0.01
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.01	0.005
<i>Krugiodendron ferreum</i>	0.01	0.005
<i>Acacia gaumeri</i>	0.01	0.005
<i>Cecropia peltata</i>	0.01	0.005