

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN LA SELVA MEDIANA  
PERENNIFOLIA EN TIZIMÍN, YUCATÁN, MÉXICO**

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA

ING. CÉSAR ALDAIR MARTÍNEZ GAUNA

Linares, Nuevo León, México.

Junio del 2021

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

## FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



### ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN LA SELVA MEDIANA PERENNIFOLIA EN TIZIMÍN, YUCATÁN, MÉXICO

PRESENTA

ING. CÉSAR ALDAIR MARTÍNEZ GAUNA

COMITÉ DE TESIS

Dr. José Israel Yereña Yamallel  
Director de tesis

---

Dr. Javier Jiménez Pérez  
Asesor de tesis

---

Dr. Eduardo Alanís Rodríguez  
Asesor de tesis

M.C. Edgar Jesús Ortega Arroyo  
Asesor externo

## DEDICATORIA

*A mi madre Mirthala Gauna Macías, por haberme dado la vida, por su apoyo, sus consejos y regaños, por estar ahí y nunca dejarme solo, por creer en mí, por impulsarme y exigirme cada día a superarme, ¡¡Te amo!!*

*A mis hermanos Karen Gpe. Martínez Gauna y Efrén Martínez Gauna, quienes en todo momento me han brindado su apoyo, gracias por ser unos excelentes hermanos y llenar mi vida de amor y alegría, que Dios nos mantenga unidos siempre.*

*A mi abuela Dolores Macías Luna que, además de mi mamá me impulsa a superarme cada día de mi vida, por querer siempre lo mejor en el ámbito profesional y en lo personal, ¡¡Te amo!!*

*Muchas gracias a toda la familia que me apoyó en cada una de mis decisiones para bien o para mal quiero decirles que siempre serán parte importante, los amo.*

*Esta etapa de mi vida profesional es dedicada a ustedes a las personas que sin importar la situación creyeron en mí y en mi capacidad.*

*¡Muchas gracias!*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por prestarme vida, salud y una maravillosa familia. También porque gracias a él terminé mi etapa de formación académica con éxito.*

*A mi madre por estar presentes en cada una de las etapas por las que he pasado, pero sobre todo por siempre brindarme su apoyo.*

*A la Facultad de Ciencias Forestales, por aceptarme en el programa de Maestría en Ciencias Forestales, también a su planta de profesores quienes, durante estos años, contribuyeron a mi formación profesional, brindándome sus conocimientos y sabiduría permitiéndome ampliar mis conocimientos y generar una mejor crítica laboral.*

*A CONACYT por brindarme el apoyo económico necesario que me permitió realizar la Maestría en Ciencias Forestales.*

*Al Dr. José Israel Yerena Yamallé, por haber aceptado ser su tesista de posgrado, por sus comentarios, sugerencias y observaciones para la elaboración de tesis y por estar siempre al pendiente de las dudas e inconvenientes que surgieron durante esta investigación.*

*Al Dr. Javier Jiménez Pérez, por aceptar ser parte de mi comité, por sus comentarios y correcciones durante la elaboración de tesis.*

*Al Dr. Eduardo Alanís, por aceptar formar parte de mi comité, por sus comentarios y correcciones durante la elaboración de tesis.*

*A todos y cada uno de mis compañeros y amigos de la facultad, por su amistad y por compartir momentos tan agradables durante estos años de estudio.*

*A todas aquellas personas que fueron parte de esta investigación de una u otra forma, muchas gracias. ¡Dios los bendiga a todos!*

**INDICE**

INDICE DE TABLAS .....	III
INDICE DE FIGURAS .....	IV
RESUMEN .....	V
SUMMARY .....	VI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1 Gases de efecto invernadero (GEI) .....	3
2.2 Cambio Climático.....	5
2.3 Causas y consecuencias del cambio climático .....	6
2.4 Ciclo del carbono .....	6
2.5 Principales fuentes naturales de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).....	7
2.6 Importancia de los ecosistemas forestales .....	9
2.7 Biomasa.....	12
2.8 Métodos de estimación de biomasa .....	13
2.9 Estudios de caso de carbono almacenado en ecosistemas terrestres .....	16
3. HIPÓTESIS.....	20
4. OBJETIVO GENERAL.....	20
5. OBJETIVO ESPECÍFICO .....	20
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
6.1 Área de estudio.....	21
6.2 Diseño de unidad muestral .....	22
6.3 Tamaño de muestra.....	22
6.4 Evaluación de los parámetros ecológicos.....	23
6.5 Biomasa aérea a partir de ecuaciones alométricas específicas .....	25

I

6.6 Biomasa aérea a partir de una ecuación alométrica general .....	27
6.7 Factor de conversión a carbono "C" .....	29
6.8 Análisis estadístico .....	29
7. RESULTADOS .....	30
7.1 Distribución de individuos por clases diamétricas.....	30
7.2 Parámetros ecológicos .....	33
7.3 Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey .....	42
7.4 Biomasa – Carbono por especie.....	43
7.5 Biomasa – Carbono por categorías diamétricas .....	49
7.6 Contenido de Carbono "C" .....	52
8. DISCUSIÓN .....	53
8.1 Parámetros ecológicos .....	53
8.2 Biomasa – Carbono por especie.....	57
8.3 Biomasa – Carbono almacenado por categorías diamétricas.....	58
8.4 Biomasa – Carbono promedio .....	59
9. CONCLUSIONES.....	60
10. BIBLIOGRAFÍA .....	61

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1.- Principales reservorios existentes y su respectivo almacenamiento. ....	8
Tabla 2.- Ejemplos de ecuaciones para estimar biomasa en bosque tropical. ....	15
Tabla 3.- Ecuaciones alométricas utilizadas.....	25
Tabla 4.-Ecuación por tipo de clima. ....	28
Tabla 5.- Parámetros ecológicos de las especies en la aguada.....	34
Tabla 6.- Parámetros ecológicos de las especies en el área de regeneración. ....	36
Tabla 7.- Parámetros ecológicos de las especies del área de conservación. ....	39
Tabla 8.- Análisis de varianza del contenido de carbono. ....	42
Tabla 9.- Comprobación de medias mediante análisis de Tukey. ....	42
Tabla 10.- Resultados de biomasa y carbono almacenado por especie en el área de la aguada.....	43
Tabla 11.- Resultados de biomasa y carbono almacenado por especie en el área de regeneración. ....	45
Tabla 12.- Resultados de biomasa y carbono almacenado por especie en el área de conservación. ....	47

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1.- Funcionamiento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) .....	4
Figura 2.- Flujo del carbono en ecosistemas terrestres.....	10
Figura 3.- Área de estudio.....	21
Figura 4.- Distribución de individuos por categorías diamétricas (cm) en la aguada. .....	30
Figura 5.- Distribución de individuos por categorías diamétricas (cm) en área de regeneración. ....	31
Figura 6.- Distribución de individuos por categorías diamétricas (cm) en área de conservación. ....	32
Figura 7.- Biomasa aérea y carbono almacenado por categoría diamétrica en el área de aguada. ....	49
Figura 8.- Biomasa aérea y carbono almacenado por categoría diamétrica en área de regeneración. ....	50
Figura 9.- Biomasa aérea y carbono almacenado por categoría diamétrica en área de conservación. ....	51
Figura 10.- Resultados promedio de biomasa y carbono en las áreas de aguada, regeneración y conservación.....	52

## RESUMEN

El objetivo general de la presente investigación es cuantificar el contenido de carbono en la biomasa utilizando ecuaciones alométricas en una vegetación de tipo selva mediana perennifolia localizada en Tizimín, Yucatán. Este estudio se realizó en el Rancho San Miguel el cual presenta una superficie de 1,181.62 ha donde se evaluaron tres áreas; la aguada con 12 ha, área de regeneración (30 años) de 39 ha y área de conservación con 53 ha. Se realizaron 75 sitios de muestreo de 20 m x 50 m, de una superficie de 1,000 m<sup>2</sup>. La colecta de datos de campo se realizó a partir de las variables dasométricas como el diámetro a altura de pecho, altura y diámetro de copa, de cada árbol. Se calculó el número de individuos por categoría diamétrica y los parámetros ecológicos de abundancia ( $A_i$ ), dominancia ( $D_i$ ), frecuencia ( $F_i$ ) e Índice de Valor de Importancia. De acuerdo con los resultados obtenidos en las categorías diamétricas, para el área de la aguada resultó un total de 9 categorías de 5 cm a 45 cm, el área de regeneración con 12 categorías desde 5 cm hasta 60 cm y el área de conservación mostró un total de 13 categorías desde 5 cm a 65 cm. La riqueza de especies fue la siguiente: para el área de la aguada 45 especies, el área de regeneración presentó un incremento obteniendo 58 especies y para el área de conservación obtuvo el mayor número de especies siendo 61. La especie de mayor peso ecológico en las tres áreas de estudio de acuerdo con los parámetros ecológicos es *Piscidia piscipula*. La cuantificación del carbono almacenado en las áreas de estudio resultó para la aguada en promedio  $83.25 \pm 21$  ton C ha<sup>-1</sup>, para el área de regeneración con  $59.39 \pm 19$  ton C ha<sup>-1</sup> mientras que el área conservación  $91.29 \pm 37$  ton C ha<sup>-1</sup>. Mediante un análisis se demostró que existen diferencias altamente significativas ( $P > 0.000$ ) entre el promedio de contenido de carbono, por consiguiente, utilizando la prueba de Tukey se demostró que la diferencia estadística fue entre el área de regeneración contra el conjunto formado por las áreas de la aguada y de conservación.

## SUMMARY

The general objective of this research is to quantify carbon content in the biomass using allometric equations in a type of evergreen tropical forest vegetation in Tizimín, Yucatán. This study was carried in Rancho San Miguel that has an area of 1,181.62 ha where it was evaluated three areas; The areas of interest located the swamp area with 12 ha, the regeneration area (30 years) has 39 ha and the conservation area with 53 ha. It 75 sampling sites were carried out with dimensions of 20 m x 50 m of a surface of 1,000 m<sup>2</sup>. Field data collection was carried based on the dasometric variables such as the diameter at breast height, height, and canopy cover of each tree. The number of individuals per diameter category and the ecological parameters of abundance ( $A_i$ ), dominance ( $D_i$ ), frequency ( $F_i$ ) und Importance Value Index (IVI) were calculated as well. According to the results obtained in the diametric categories for the swamp area, resulted in a total of 9 categories from 5 cm to 45 cm, the regeneration area with 12 categories from 5 cm to 60 cm, and the conservation area showed a of total of 13 categories from 5 cm to 65 cm. The species richness was like this: 45 species were found in the swamp area, 58 species in the regeneration area which showed an increase, and 61 species in the conservation area which had the highest number of species. The specie with the greatest ecological weight, according to the ecological parameters in the three studied areas is *Piscidia piscipula*. The quantification of carbon stored in the study areas resulted in an average for the swamp area of  $83.25 \pm 21$  ton C ha<sup>-1</sup>, for the regeneration area a total of  $59.39 \pm 19$  ton C ha<sup>-1</sup> and  $91.29 \pm 37$  ton C ha<sup>-1</sup> for the conservation area. Through a variance analysis it was shown that there are highly significant differences ( $P > 0.000$ ) between the average of carbon content, therefore, using Tukey's test it was shown that the statistical difference was between the regeneration area with  $59.39$  ton C ha<sup>-1</sup> versus the set formed by the swamp area with  $83.25$  ton C ha<sup>-1</sup> and conservation area with  $91.29$  ton C ha<sup>-1</sup>.

## 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es el principal problema ambiental del siglo XXI, a consecuencia del incremento de la concentración de gases de efecto invernadero ocasionado por la quema de combustible fósiles y otras actividades antropogénicas. El aumento del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), empezó a presentar significancia a mediados del siglo XIX a causa del desarrollo industrial (Garreaud, 2011). De acuerdo con el IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) en el cuarto informe del año 2007 la estimación del incremento registrada fue de aproximadamente 0.7 °C en el último siglo.

Una de las principales funciones que presentan los ecosistemas forestales es capturar y almacenar carbono en la biomasa contribuyendo en el 90% del ciclo de este elemento entre la atmósfera y biósfera de acuerdo con su composición florística, edad y la densidad poblacional por estrato (Ordoñez *et al.*, 2001). Las selvas en crecimiento por ejemplo en edades tempranas o intermedias son capaces de capturar carbono (C), dicha capacidad se encuentra relacionada a la edad, es decir, con forme aumenta la edad la captación disminuye, posteriormente solo se retendrá el carbono fijado (Fonseca *et al.*, 2011; Ajit *et al.*, 2013; Kyrklund, 1990).

La cuantificación y monitoreo de la biomasa forestal es indispensable en la estimación de carbono almacenado, lo cual presenta una gran importancia en la mitigación del cambio climático (Cifuentes, 2010). Para la cuantificación de la biomasa existe el método indirecto, que consiste en la utilización de ecuaciones alométricas, las cuales permiten pronosticar una medida de un árbol en base a regresiones lineales o no lineales, se obtiene las proporciones o relaciones entre las variables diámetro y altura con la biomasa (Picard, Saint-André y Henry, 2012).

Las selvas capturan y almacenan la mayor cantidad del carbono debido a su gran biodiversidad siendo fundamental en el ciclo del carbono (Pan *et al.*, 2011; Houghton, Byers y Nassikas, 2015).

La selva tropical presenta subdivisiones en base al grado de exuberancia y la proporción de plantas de hoja decidua, es decir, de acuerdo con la caída de sus hojas; se consideran perennifolias cuando menos del 25% de las especies pierden sus hojas, subperennifolias del 25 a 50%, subcaducifolias del 50 a 75% y caducifolias más del 75% de las especies pierden sus hojas (CONABIO, 2008).

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Gases de efecto invernadero (GEI)

Una capa invisible que rodea al planeta Tierra se le conoce como atmósfera y alberga a los GEI, se encuentra compuesta químicamente por los elementos como el nitrógeno (N) representando el 79%, oxígeno (O<sub>2</sub>) 20%, argón (Ar) 0.9% y por último el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) 0.03% (Caballero, Lozano & Ortega, 2007; (Benavides & León, 2007); en menores proporciones el neón (Ne), helio (He), xenón (Xe), aerosoles y vapor de agua (H<sub>2</sub>O) (Ordóñez, 1999).

Debido a las actividades antropogénicas se generan las emisiones de los denominados gases de efecto invernadero, dichos gases son representados por las moléculas químicas del vapor de agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), ozono (O<sub>3</sub>) y los clorofluorocarbonos (CFC) contribuyendo en la absorción aproximado del 90% de radiación del espectro infrarrojo (IR) generada por la Tierra (Cepsa, 2015).

Es importante comprender que las constantes emisiones de los gases ha ocasionado las elevaciones en sus concentraciones en la atmósfera considerándose peligrosas puesto que actúan como una barrera aislante alrededor del globo terráqueo (Figura 1) al no permitir la salida de estas energías caloríficas ya que muestran la capacidad de absorber la radiación en diferentes proporciones provenientes del Sol (longitud de onda corta o ultravioleta) y la emanada por la Tierra (longitud de onda larga o infrarroja) dando como resultado los cambios en la temperatura.

Hasta cierto punto, la radiación de onda corta absorbida por la superficie de la Tierra proveniente del Sol, a su vez expulsada por la misma y a la existente capa de gases, permiten temperaturas ambientales habitables para las diferentes formas de vida (Echeverri, 2006), dicho en otras palabras, sin la presencia de los GEI, la atmósfera, las radiaciones solares y las remitidas por la Tierra, estaría 33°C más fría haciéndola inhabitable (Cosgrove, 1994, Rivera, 1999, Suplee, 1998 y Voituriez, 1994).



Figura 1.- Funcionamiento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Fuente. Echeverri, C. (2006).

Las moléculas que podrían considerarse de mayor peligro son el vapor de agua ( $H_2O$ ) y el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) (Cepsa, 2015); esto es debido principalmente a la abundancia natural por parte del  $H_2O$  que su vez este vapor seguirá almacenando energía calorífica latente siendo liberada siempre y cuando exista un proceso de condensación formando nubes y por ende precipitaciones (Benavides & León, 2007); de la misma forma el  $CO_2$  se encuentra en la segunda posición en cuestión de importancia, agregándose de modo antropocéntrico y natural a la atmósfera (Echaverri, 2006).

Por otro lado, a nivel mundial basado en el IPCC (2013) refiere que los responsables de las emisiones de GEI provienen de las actividades del giro energético con emisiones del 26%, el entorno industrial (19%), el sector forestal (17%), actividades agrícolas (14%), residenciales y comerciales (8%) y actividades basadas en el manejo de desechos (3%).

## 2.2 Cambio Climático

El aumento del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), empezó a presentar significancia a mediados del siglo XIX a causa del desarrollo industrial (Garreaud, 2011). De acuerdo con el IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) en el Cuarto Informe del año 2007 la estimación del incremento registrada fue de aproximadamente  $0.7\text{ }^\circ\text{C}$  en el último siglo. Por el contrario, el Quinto Informe de Evaluación del IPCC del 2013, se registró un incremento en el calentamiento global de  $0.85\text{ }^\circ\text{C}$  entre a partir de los años 1880 y 2012.

En base al Panel Intergubernamental del Cambio Climático el cambio climático se define como la variación en el valor promedio del clima en la superficie de la tierra, durante continuos periodos de observación (IPCC, 2018). Además, parte de la causa del cambio climático es atribuido principalmente a las rápidas y constantes emisiones de gases de efecto invernadero como el  $\text{CO}_2$  provocadas a raíz de las actividades del ser humano y en segundo lugar a las emisiones naturales (IPCC, 2014; Bolin *et al.*, 1989).

En el reporte especial realizado por el IPCC del año 2018 sobre los impactos del calentamiento global mencionan que si se continua con el mismo ritmo se espera que aproximadamente entre los años 2030 – 2052 aumente la temperatura  $1.5\text{ }^\circ\text{C}$ .

### 2.3 Causas y consecuencias del cambio climático

Con base al IPCC y Porrúa (2001), sobre el aumento de la temperatura de la Tierra, se menciona algunos escenarios que se han empezado a manifestar entre ellos son:

- Se prevé cambios a nivel regional con un calentamiento global de 1.5 °C, aumentos en la frecuencia y/o intensidad en la cantidad de precipitación.
- Incremento del nivel del mar de 0.26 a 0.77 metros a causa de la pérdida de las capas de hielo.
- Se pronostica un incremento de eventos naturales como: incendios, sequias e inundaciones.
- Posibilidad de presentarse casos de pestes, malaria, cólera, salmonelosis etc., relacionadas con los alimentos y el agua, típicos de las regiones tropicales.
- Afectaciones en los ecosistemas naturales, por ejemplo: cambios en la composición de especies, productividad, pérdida de biodiversidad, posible pérdida de arrecifes de coral etc.

### 2.4 Ciclo del carbono

Se ha demostrado que el elemento carbono (C) es parte fundamental en la formación de vida, debido a que puede combinarse para formar moléculas orgánicas

como lo son el nitrógeno, fósforo, hidrógeno y oxígeno, siendo estos de relevancia para la reproducción celular y el metabolismo (Bruhwiler *et al.*, 2018) este componente básico lo podemos encontrar en la atmosfera, flora, fauna, materia orgánica, compuestos fósiles, rocas e incluso en los océanos (McVay & Rice, 2002).

La vegetación es capaz de capturar el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que se encuentra libre en la atmósfera considerado un compuesto fundamental durante el proceso natural metabólico mejor conocido como fotosíntesis, donde es transformado en un polímero de celulosa y almacenado dentro de las diferentes estructuras de las plantas (Ávila *et al.*, 2001).

En general la flora y fauna están compuestos de carbono que al morir los microorganismos del suelo se encargan de descomponer, es decir, oxidan la materia orgánica como lo son los tejidos en compuestos anhídrido carbónico y así continua el flujo del carbono hacia la atmosfera (Schimel, 1995; Smith *et al.*, 1993).

## 2.5 Principales fuentes naturales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

Durante los procesos fotosintéticos de las plantas donde el bióxido de carbono es absorbido, transformado y almacenado dentro de las mismas estructuras creando la biomasa y a su vez junto a la actividad respiratoria se libera cierta cantidad de este gas, con lo cual se mantiene activo este ciclo de carbono-atmósfera.

Fuente:

Se reconocen en la actualidad dos principales fuentes emisoras de bióxido de carbono, en primer lugar, es por parte de los combustibles fósiles: carbón mineral, petróleo y gas natural. En segundo término, son los ecosistemas terrestres específicamente a las actividades del cambio y uso de suelo (Bolin, 1970; Stuiver, 1978; Woodwell *et al.*, 1978; Delcourt y Harris, 1980; Sedjo, 1990; Brown *et al.*,

1994; Dale *et al.*,1994; Houghton y Hackler, 1994; Ludevid, 1998). Sin embargo, González-Ubierna (2015) señala que la fuente que emite mayores cantidades de emisiones es el suelo (cinco veces más que la generada por los combustibles fósiles).

Según De la Rosa (2008) refiere que la cantidad entre 5 a 6 Gt (Gt=gigatoneladas) son emitidas a la atmósfera proveniente de la quema de combustibles fósiles, mientras que alrededor de 40 a 90 Gt son liberadas por los suelos agrícolas en consecuencia del acelerado proceso de mineralización.

Sumideros:

Se les conoce como sumideros o reservorios a los almacenes de carbono que existen en el Tierra, de acuerdo con De la Rosa (2008) manifiesta que los océanos, estratos geológicos y los suelos son parte de los reservorios de carbono más importantes, además el suelo posee mayor capacidad de almacenaje que la atmosfera y la biosfera teniendo una estimación de 2,400 Gt (Tabla 1).

Tabla 1.- Principales reservorios existentes y su respectivo almacenamiento.

<b>Constituyente</b>	<b>Carbono secuestrado (Gt)</b>
Océanos	38,400
Estratos geológicos	4,130
Suelos (hasta un metro de profundidad)	2,400
Atmósfera	760
Vegetación	560

Fuente. - De la Rosa, 2008.

Según Batjes (1998) expresa que a una profundidad de al menos dos metros se encuentra contenido 2,500 billones de toneladas de carbono (Gt).

Del mismo modo, Phillips *et al.*, (1998) estiman que aproximadamente 2 billones de toneladas de carbón por año son retiradas de la atmósfera por medio biomas terrestres.

## **2.6 Importancia de los ecosistemas forestales**

Se les conoce como reservorios o sumideros de carbono a el suelo, raíces, fustes, ramas hojas, madera, necromasa etc., donde consiste en atrapar o almacenar este compuesto, correspondiendo asimismo a la mitad (50%) del peso seco de la biomasa (Brown y Lugo, 1992). Estos reservorios de C (Figura 2) son capaces de realizar este trabajo haciendo uso de la actividad fotosintética obteniendo como resultando su retención creando la biomasa en plantas y del suelo, asimismo el carbono es distribuido en los diferentes componentes de la planta con la finalidad de impedir su devolución a la atmósfera (Casiano-Domínguez, Paz-Pellat, Rojo-Martínez, Covaleda-Ocon & Aryal, 2018).

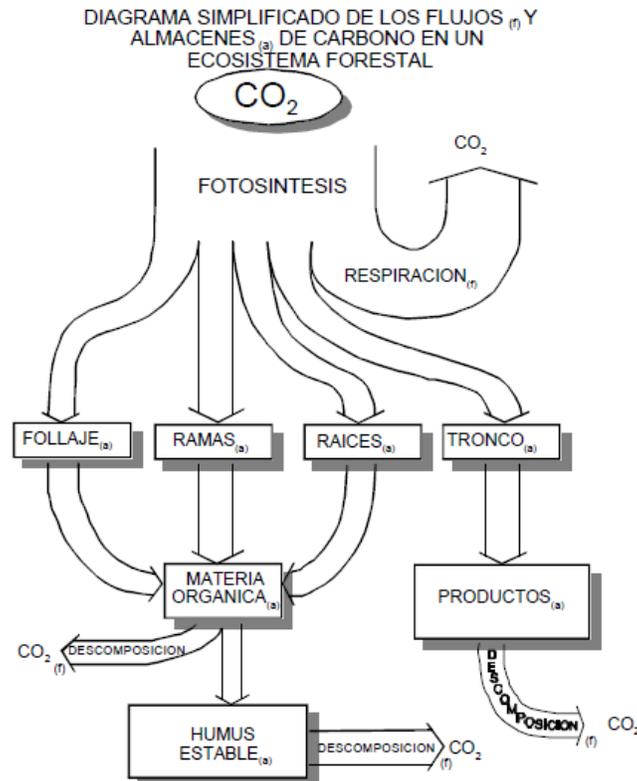


Figura 2.- Flujo del carbono en ecosistemas terrestres. Fuente: Ordóñez & Masera (2001).

Mediante la implementación de sistemas agroforestales, plantaciones forestales y actividades de rehabilitación de sistemas degradados, en la actualidad son consideradas como una alternativa en la reducción de gases de efecto invernadero actuando como sumideros (Tipper, 2000). Asimismo, gracias a las plantaciones forestales el consumo de madera de bosques naturales se ha visto reducido (De Camino y Morales, 2013); además de ayudar a conservar flora y fauna (López-Reyes *et al.*, 2016).

La perspectiva en los bosques es un manejo que permita conservar su diversidad biológica, productividad, capacidad de regeneración, vitalidad, además de las funciones socioeconómicas y ecológicas desde una escala local, nacional e internacional sin afectar a otros ecosistemas la provisión de bienes y servicios para futuras generaciones (Aguirre-Calderón, 2015). Sin embargo, con el paso del tiempo la vegetación aunada a su capacidad de capturar carbono se ve mermada, es decir,

se va reduciendo conforme la edad de los individuos aumenta, pero los individuos que están en edades tempranas o intermedias la captura de carbono son más elevados (Fonseca *et al.*, 2011; Ajit *et al.*, 2013). Por ello, mediante los programas de manejo forestal al hacer uso de prácticas silvícolas como las cortas de liberación y el uso de árboles de rápido crecimiento mantienen las masas forestales en etapas de jóvenes para una mayor captura y almacenamiento de carbono (López-Reyes *et al.*, 2016).

Lal (2011) hace referencia que al realizar plantaciones en áreas donde predominan los ecosistemas de bosques tropicales y templados son capaces de capturar y almacenar enormes cantidades de CO<sub>2</sub> en la atmósfera alrededor de 15 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en bosques tropicales en lapsos de tiempo prácticamente corto, obteniendo en segunda instancia beneficios socioambientales.

Por otra parte, existe evidencia que el stock de carbono presenta afectaciones por el flujo del carbono, dicho en otras palabras, debido a la combustión por agentes naturales o antropogénico el carbono es liberado provocando un aumento de CO<sub>2</sub> (Honorio y Baker, 2010) contribuyendo en la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por ejemplo: óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>).

De acuerdo con la FAO en la Evaluación de los Recursos Mundiales (FRA) del 2020 menciona que a nivel global los ecosistemas forestales aproximadamente cubren 4,060 millones de hectáreas equivalente al 31% de la superficie terrestre, de los cuales tan solo el 45% lo posee las zonas tropicales. En las regiones de los bosques tropicales según Griscom *et al.*, (2009) y Pearson *et al.*, (2017) indican que del total de las emisiones forestales producidas del 20% al 25% proviene de la degradación; en consecuencia, de las actividades de cambio de uso de suelo con la finalidad de establecer la agricultura y la ganadería, reduciendo considerablemente la cobertura vegetal (Wright & Muller-Landau, 2006; FAO, 2015) generando 2.1 billones de toneladas de CO<sub>2</sub> por año (Pearson *et al.*, 2017).

A pesar de la importante y constante tarea que muestran los bosques tropicales en tema de la regulación del ciclo del carbono y del cambio climático, estos

ecosistemas sufren pérdidas en sus extensiones territoriales ya sea por eventos naturales o actividades antropogénicas dando como resultado elevaciones en las concentraciones de gases de efecto invernaderos, entre ellos el dióxido de carbono (Paz-Pallet *et al.*, 2019).

La cobertura vegetal de los bosques tropicales proporciona bienes y servicios que son indispensables en el planeta ya que brinda una gran variedad de nichos ecológicos capaces de sostener diversas formas de vida, así como evitar la erosión del suelo, la regulación del ciclo del agua y del carbono, también encargándose de la mitigación del cambio climático (Toledo, 1992).

## 2.7 Biomasa

En los ecosistemas se le conoce como biomasa forestal a toda aquella materia orgánica existente ya sea aérea o subterránea (Fonseca *et al.*, 2009).

Dentro de la biomasa aérea se considera el fuste, corteza, ramas, follaje y semillas en la biomasa subterránea son todas las raíces vivas y la necromosa, es decir, material orgánico muerto (Schlegel *et al.*, 2000). La unidad de medida utilizada se expresa en toneladas de peso seco.

Las variables como la composición florística, la estructura de la vegetación y la disponibilidad de agua presentan una estrecha relación en la producción de biomasa. Además, es necesario tener en cuenta que la cantidad de biomasa, su distribución en los diversos componentes del árbol y el almacenamiento presenta variaciones dependiendo de cada especie, esto es debido principalmente a la densidad de los rodales, edad, composición de especies, calidad de sitio, factores ambientales, etc. (Figueroa-Navarro *et al.*, 2010; Rodríguez-Ortíz *et al.*, 2012).

Una forma para mitigar el aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera es la captura y almacenamiento de carbono en la biomasa de la vegetación en donde de acuerdo con Wright (2010) menciona que tienen la capacidad de procesamiento de carbono

hasta seis veces más que el producido por los combustibles fósiles, por medio de la fotosíntesis siendo preservado por periodos definidos (Ramírez *et al.*, 2017)

Patenaude *et al.*, (2005) mencionan la importancia de los bosques al cuantificar el almacenamiento del carbono cerca del 80% en la parte aérea y el 40% en la parte subterránea. Sin embargo, Lu (2006) señala que realizar investigaciones en la parte de las raíces resultan difíciles con lo cual, realizar las estimaciones se han orientado en la parte de la biomasa aérea. Por lo tanto, se destaca la importancia de la evaluación y cuantificación de este recurso para fines del manejo ambiental, el uso que se les da a la materia prima y finalmente como un importante indicador de captura de carbono (Zheng *et al.*, 2004 y así aminorando los gases de efecto invernadero (Brown, 1997; Schlegel, 2001).

## 2.8 Métodos de estimación de biomasa

La biomasa se calcula a partir de dos metodologías, la primera se le considera un método directo, agresivo e incluso dañino para la vegetación mientras que el segundo es indirecto siendo éste el más amigable.

**Método destructivo.** - consistiendo primeramente en el derribo de los árboles con el objetivo de obtener el peso húmedo en campo, después se divide en partes manejables para su extracción para su posterior secado y pesado en seco con la finalidad de tener una relación peso húmedo-seco y proceder a calcular la biomasa correspondiente (Cuenca *et al.*, 2014; Schlegel, 2001). Sin embargo, realizar este método conlleva a dedicarle grandes cantidades de tiempo (Nordh & Verwijis, 2004) y sumamente costoso (Marcos-Reyes *et al.*, 2016), asimismo, Nívar *et al.*, (2004), reconocen que la mejor opción en el establecimiento de ecuaciones alométricas se obtiene haciendo uso del método destructivo en la estimación del volumen de biomasa aérea.

**Método no destructivo.** – mediante el uso de técnicas como lo son la cubicación de los árboles, donde consiste en la sumatoria de los volúmenes de madera o mediante ecuaciones alométricas establecidas en regresiones exponenciales, lineales y no lineales, las cuales utilizan variables dasométricas sencillas como el diámetro a altura de pecho (1.3 m) y la altura total (Ketterings *et al.*, 2001; Cuenca *et al.*, 2014). También existen casos donde la ecuación requiere la densidad de la madera (consiguiéndose mediante el peso seco y dividido por volumen verde) de cada especie (Chave *et al.*, 2003) y un factor de expansión de biomasa (FEB) (Fonseca *et al.*, 2009) con el propósito de calcular estimaciones de biomasa más exactas.

La estimación de la biomasa de un bosque de acuerdo con Picard *et al.*, (2012) es de suma importancia puesto que da lugar a la cuantificación del carbono almacenado en la vegetación además estos valores se encontrarán en función de la especie ya que existen las de rápido y lento crecimiento, la disponibilidad de nutrientes, la precipitación y el tipo de suelo en el que se encuentre.

Para llevar a cabo la estimación de biomasa y la cuantificación de carbono en Estado de Yucatán, Yam (2012) recomienda las ecuaciones alométricas empleadas para este ecosistema tipo bosque tropical, fueron elaboradas por Martínez-Yrizar *et al.*, (1992), Brown (1997), Read y Lawrence (2003) y Cairns *et al.*, (2003) siendo estos últimos autores los que llevaron a cabo el método destructivo en especies que presentaron diámetro a altura de pecho  $DAP \geq 10$  cm (Tabla 2). Sin embargo, al no considerar las especies con  $DAP < 10$  cm con la ecuación de Cairns, diversos autores como Vargas *et al.*, (2009) y Vargas *et al.*, (2008) hicieron uso de la ecuación de Hughes *et al.*, (1999) formulada en un bosque tropical ubicado en Los Tuxtlas, Veracruz, posteriormente se modificó por Chave *et al.*, (2003) agregando el promedio de la densidad de las especies que están presentes en el paisaje, el cual se obtiene mediante la densidad de cada árbol dividido por 0.70.

Tabla 2.- Ejemplos de ecuaciones para estimar biomasa en bosque tropical.

Eq. 1 árboles DAP $\geq$ 10 cm	$AGB = ((\exp(-2.12605 + 0.868 \ln(D^2 H))) \pi) / p_m$
Eq. 2 árboles DAP $<$ 10 cm	$AGB = \pi / P_{av} (\exp(4.9375 + 1.0583 \ln(D^2))) * 1.14 / 10^6$

Nota: Eq.1 Cairns *et al.*, (2003) modificada por Urquiza *et al.*, (2007); Eq.2 Hughes *et al.*, (1999) modificada por Chave *et al.*, (2003). Simbología: AGB = Biomasa; D =diámetro a la altura del pecho (cm); H= altura total (m);  $\pi$ = densidad de madera de cada árbol;  $p_m$ = promedio de densidad de madera de los árboles cosechados para calcular la ecuación;  $P_{av}$ = promedio de densidad de madera de las especies presentes en el paisaje.

## 2.9 Estudios de caso de carbono almacenado en ecosistemas terrestres

Galeana-Pizaña *et al.*, (2013) estimaron el contenido de carbono en la biomasa aérea en la cuenca del río Magdalena en México, el área de estudio presentó valores desde 6.25 a 362.20 Mg C ha<sup>-1</sup>, el mayor contenido de carbono fue en bosque *Abies religiosa* cerrado con 162.91 ± 16.69 Mg C ha<sup>-1</sup>, mientras que el bosque de *Pinus hartwegii* abierto fue el que tuvo menor cantidad con 21.21 ± 5.62 Mg C ha<sup>-1</sup>.

Barrionuevo *et al.*, (2015) utilizando métodos de extracción in situ y ecuaciones alométricas, determinaron el CO<sub>2</sub> fijado en la biomasa aérea de un rodal de *Pinus halepensis* (Miller) de 40 años, resultó un valor de 5 ton de CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>.

Hidalgo (2011) estimó el carbono almacenado en un sistema agroforestal (SAF) del Banco de Germoplasma de Cacao de la UNAS Tingo María, la biomasa arbórea se calculó en base de ecuaciones alométricas, la arbustiva, herbácea y hojarasca utilizando muestreos directos, resultó 94.38 Ton C ha<sup>-1</sup> en la biomasa vegetal.

López-Reyes *et al.*, (2016) determinaron el carbono almacenado en la biomasa aérea en plantaciones de hule, los resultados fueron los siguientes: en el fuste 192.32 Mg ha<sup>-1</sup>, en las ramas 64.75 Mg ha<sup>-1</sup> y el total aéreo 257.07 Mg ha<sup>-1</sup> en arboles con 51 años, en cambio, en la plantación de 5 años presentó 16.65 Mg ha<sup>-1</sup> en el fuste, en las ramas 9.63 Mg ha<sup>-1</sup> y total aéreo 26.28 Mg ha<sup>-1</sup>.

Aguirre-Calderón & Jiménez-Pérez (2011) reportan para el bosque de *Pinus pseudostrobus* al sur de Nuevo León con edad promedio de 35 años un valor de 73.18 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono almacenado, en cambio para *Pinus teocote* con edad promedio de 50 años, se obtuvo 98.39 Mg ha<sup>-1</sup> de biomasa aérea y de contenido de carbono resultó 47.01 Mg ha<sup>-1</sup>.

Pacheco *et al.*, (2007) evaluaron el potencial de almacenamiento de carbono de una plantación de 6 años de *Pinus gregii* Engelm. en Cuaunepantla, Acaxochitlán, Edo.

de México, mencionan un contenido de  $17.9 \text{ t C ha}^{-1}$ , que representa en dióxido de carbono equivalente  $65.8 \text{ t CO}_{2\text{eq}} \text{ ha}^{-1}$ .

Esparza-Olguín & Martínez-Romero (2018) llevaron a cabo los análisis de la diversidad arbórea, acumulación de biomasa cuantificación del carbono almacenado del área forestal permanente con presencia de diversos tipos de vegetación Selva Mediana Subperennifolia (SMSP) y Selva Inundable (SI) de las cuales se encuentran en periodo de recuperación aproximadamente de más de 20 años. Esta área de estudio se encuentra localizado en el Ejido Álvaro Obregón en Calakmul, Campeche. Se realizaron parcelas de  $1,000 \text{ m}^2$  donde se recolectaron las variables altura y diámetro. Los procesos de cuantificación resultaron que para la selva mediana subperennifolia valores entre  $166$  a  $37.17 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , mientras que para la selva inundable fue de  $36.44$  a  $44.58 \text{ Mg C ha}^{-1}$ .

Pech-Cárdenas & Herrera-Silveira (2017) evaluaron en el Ejido San Crisanto, Yucatán, el almacenamiento del carbono tanto para la biomasa aérea total como el ecosistémico de la zona de manglar después de 14 años tras el paso de un huracán. Estos autores demostraron que a nivel de ecosistema el carbono depositado luego de la perturbación fue de  $65\,563 \text{ ton C}$  que es equivalente a  $240\,616 \text{ Mg CO}_{2\text{eq}}$ , con un valor promedio de almacenaje en la parte aérea de  $97.42 \pm 8.82 \text{ Mg C ha}^{-1}$ .

Caamal-Sosa *et al.*, (2012) evaluaron los almacenes de carbono en manglares de distintas zonas de la Península de Yucatán. Este tipo de ecosistema se identifica por presentar alturas bajas ( $< 4 \text{ m}$ ), las densidades de árboles son altas entre  $7000$  a  $2000 \text{ árboles ha}^{-1}$  y además de ser monoespecíficos de *Rhizophora mangle* o *Avicennia germinans*. Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que el almacén de C aéreo total incluyendo individuos vivos y muertos en pie en promedio fue  $8.52 \text{ Mg ha}^{-1}$  con valores oscilantes entre  $1.92$  a  $19.71 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Desglosando estos valores para árboles vivos el almacén de C promedio resultó de  $8.01 \text{ Mg ha}^{-1}$ , con un intervalo de  $1.78$  a  $19.25 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Asimismo, en árboles muertos en pie el promedio arrojado fue  $1.67 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Por otra parte, el suelo presentó

almacenamiento en rangos desde 82 a 477.70 Mg ha<sup>-1</sup> con un promedio de 251.21 Mg ha<sup>-1</sup>. Por último, en raíces gruesas el almacenamiento fue de 11.92 Mg ha<sup>-1</sup>.

Teco-Bravo *et al.*, (2014) realizaron la cuantificación de biomasa aérea y captura de CO<sub>2</sub> de *Jatropha curcas* en el estado de Yucatán durante el período de nueve meses haciendo uso de la reproducción vegetativa de 10 procedencias, esto es debido a que la especie presenta característica perenne. Para llevar a cabo la estimación de biomasa de todas las procedencias, se elaboraron modelos alométricos a partir del análisis de regresión mediante el modelo  $B = \beta_0 D^{\beta_1}$  donde las variables a consideradas fueron B = biomasa y D = diámetro del tallo. Una vez obtenidos los modelos se prosiguió a calcular el ajuste (R<sup>2</sup>), la significancia ( $\alpha = 0.05$ ), la linealidad, el sesgo, la estabilidad de los parámetros (IC 95%), la homocedasticidad y la normalidad. Los resultados comparativos de los modelos generados establecieron tres grupos de procedencias (uno con seis, otro de tres y uno con una sola procedencia. Al final, los modelos seleccionados demostraron ser estadísticamente significativos, con ajustes (> 0.96), no presentaron algún tipo de sesgo y con error estándar (< 5%). Por consiguiente, los resultados obtenidos de esta investigación arrojaron que la producción de biomasa de *J. curcas* presentó intervalos de 0.69 hasta 2.63 t C. ha<sup>-1</sup>, que son equivalentes a la captura de 1.27 a 4.84 t. CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>.

Puc-Kauil *et al.*, (2015) determinaron el contenido de carbono en bosques tropicales secundarios de la Península de Yucatán, resultando 86.31 Mg C ha<sup>-1</sup> en rodales de 9 años, en 17 años 72.02 Mg C ha<sup>-1</sup>, a la edad de 27 años fue mayor con 114.59 Mg C ha<sup>-1</sup>, edad de 37 años 104.24 Mg C ha<sup>-1</sup>, en rodal de 48 años 99.74 Mg C ha<sup>-1</sup> y de 82 años 113.73 Mg C ha<sup>-1</sup>.

Otro estudio elaborado por Ramírez-Guardado (2015) en el municipio de Oxkutzab localizado en la Reserva Biocultural Kaxil-Kiuc en la Península de Yucatán, se llevó a cabo la estimación de la biomasa y el carbono almacenado en rodales de diversas edades (3 a 100 años) en 32 conglomerados. En promedio la biomasa aérea total calculada fue 115.21 ± 5.43 ton ha<sup>-1</sup> de los cuales 106.28 ± 5.10 ton ha<sup>-1</sup>

corresponde a la biomasa aérea viva mientras que la biomasa muerta  $8.93 \pm 0.65$  ton  $\text{ha}^{-1}$ . Tomando en cuenta el factor de conversión de carbono la Reserva Biocultural cuenta con  $57.60 \pm 2.71$  ton C  $\text{ha}^{-1}$  de carbono total, donde  $53.14 \pm 2.55$  ton C  $\text{ha}^{-1}$  corresponde al carbono en biomasa viva y  $4.47 \pm 0.33$  ton C  $\text{ha}^{-1}$  en la biomasa muerta además con sus respectivas equivalencias de bióxido de carbono total de  $211 \pm 4.98$  ton  $\text{CO}_2$   $\text{ha}^{-1}$ , en biomasa viva tiene  $195.02 \pm 4.68$  ton  $\text{CO}_2$   $\text{ha}^{-1}$  y  $16.39 \pm 0.60$  ton  $\text{CO}_2$   $\text{ha}^{-1}$  en biomasa muerta.

El estudio realizado por Dai *et al.*, (2014) en un bosque tropical secundario en la Península de Yucatán, reportan basados en una modelación de existencias de carbono la presencia de variaciones en el contenido de carbono almacenado, dentro de las 276 parcelas evaluadas en este estudio mostrando oscilaciones entre 5 a 115 Mg C  $\text{ha}^{-1}$  manifestando un valor promedio de 56.6 Mg C  $\text{ha}^{-1}$ .

El estudio elaborado por Vargas *et al.*, (2008) se realizó en la Reserva Ecológica El Edén al noreste de la Península de Yucatán, Quintana Roo, México. El bosque estudiado se ha regenerado de forma natural después de un incendio en el año de 1989. En esta investigación se cuantificó la biomasa aérea, biomasa del suelo obteniendo que el carbono almacenado en todo el ecosistema mostró rangos desde 21.7 a 153.5 Mg C  $\text{ha}^{-1}$ , de las cuales a la biomasa aérea corresponde valores entre 0.05 y 72 Mg de C  $\text{ha}^{-1}$ , a la biomasa del suelo (materia orgánica a los 10 cm, raíces) desde 21.6 a 85 Mg de C  $\text{ha}^{-1}$ .

García *et al.*, (2019) determinaron el carbono que se encuentra almacenado en una plantación de la especie *Tectona grandis* L. f. conocida comúnmente como teca, la cual presenta una edad estimada de seis años, en el municipio de Tizimín, Yucatán. Para conseguir los datos pertinentes para la elaboración de este estudio se utilizó el método destructivo de 12 individuos representativos. Una vez en gabinete se prosiguió a analizar los datos, donde los resultados calculados indicaron que del dióxido de carbono equivalente almacenado ( $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ) fue de 147.1 ton  $\text{ha}^{-1}$ , y de carbono se obtuvo 40.08 ton  $\text{ha}^{-1}$ .

### **3. HIPÓTESIS**

El área de regeneración natural presenta diferencias estadísticamente significativas en el contenido de carbono con respecto a las áreas de conservación y aguada.

### **4. OBJETIVO GENERAL**

Estimar el contenido de carbono en la selva mediana perennifolia.

### **5. OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Determinar el número de individuos por categorías diamétricas.
- Evaluar los parámetros ecológicos: dominancia, densidad, frecuencia e índice de valor de importancia.
- Estimar la biomasa aérea mediante ecuaciones alométricas.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Área de estudio

El estudio se realizó en el Rancho "San Miguel" ubicado en el municipio de Tizimín, Yucatán, en las coordenadas geográficas  $21^{\circ}20'01.75''$  N y  $87^{\circ}46'28.77''$  O (Figura 3), con altitud promedio de 20 msnm. La vegetación dominante del predio es de tipo selva mediana perennifolia. El clima presente es caliente subhúmedo con lluvias en verano (Aw), según la clasificación de Köppen (1936) modificada por García (1998), con una precipitación anual promedio de 1167 mm y temperatura media anual de  $25.4^{\circ}\text{C}$ .

El rancho tiene una superficie de 1,181.62 ha de los cuales las áreas de estudio son la aguada con 12 ha, área de regeneración (30 años) de 39 ha y área de conservación con 53 ha.

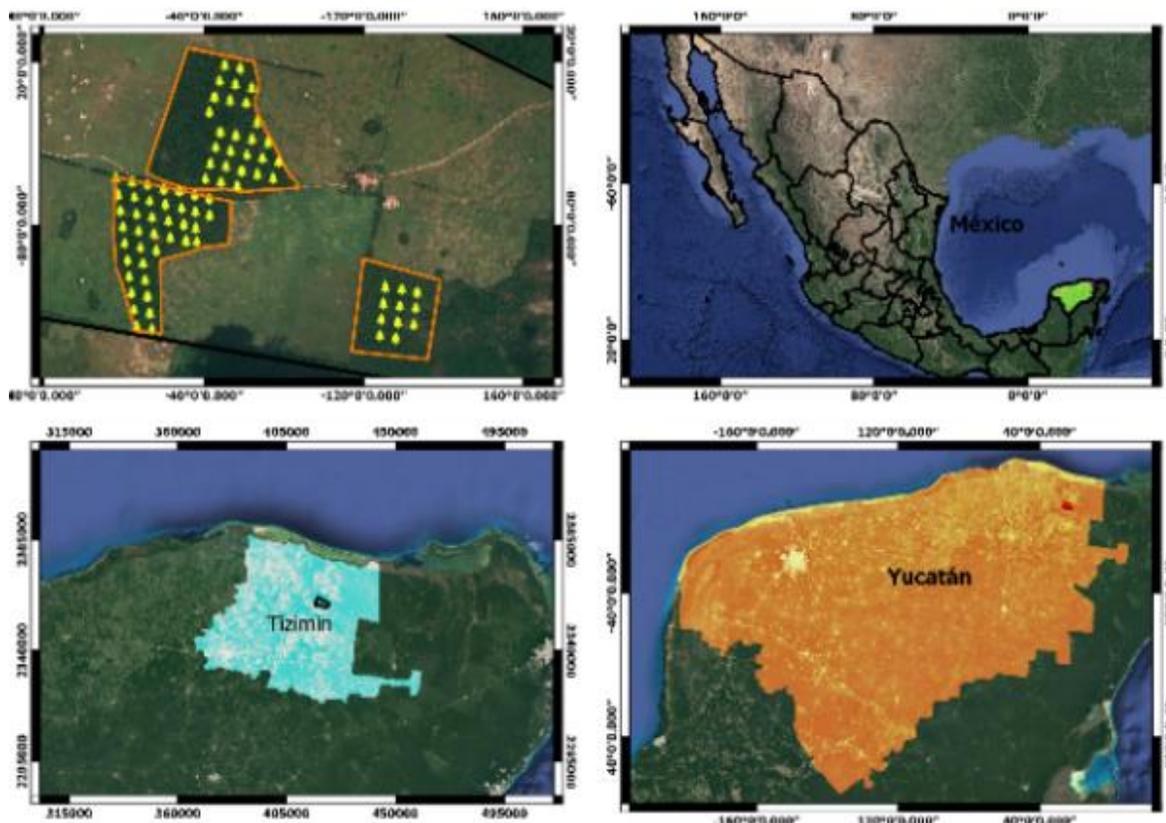


Figura 3.- Área de estudio.

## 6.2 Diseño de unidad muestral

Para evaluar las áreas se realizó sitios rectangulares de 20 x 50 metros obteniendo una superficie de 1,000 m<sup>2</sup>. La información obtenida procedió de las variables dasométricas diámetro normal, altura total, diámetro de copa (norte-sur) (este-oeste), se consideró las mediciones a partir de 1 cm de diámetro.

Para realizar las mediciones se utilizó los aparatos:

- Forcípula "CODIMEX L" (cm)
- Cinta métrica
- Cinta diamétrica
- Hipsómetro láser

## 6.3 Tamaño de muestra

Se realizaron 75 sitios de muestreo distribuidos en las tres áreas, teniendo como resultado aguada 10 sitios, área de regeneración 39 sitios, y área de conservación 26 sitios.

La distribución de los sitios se estableció de forma sistemática, se calculó la distancia entre sitios con el objetivo de obtener homogeneidad en base a la siguiente fórmula:

$$d = \sqrt{s/n}$$

donde: d= distancia, s= superficie, n= número de sitios

#### 6.4 Evaluación de los parámetros ecológicos

Con los datos obtenidos en campo para cada especie se determinó los parámetros ecológicos de abundancia ( $A_i$ ), dominancia ( $D_i$ ), frecuencia ( $F_i$ ), así como el Índice de Valor de Importancia (IVI), el cual adquiere valores porcentuales en una escala del 0 al 100 (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

Para estimar la abundancia relativa se aplicó la fórmula:

$$A_{i=1\dots n} = N_i/S \qquad AR_{i=1\dots n} = \left( \frac{A_i}{\sum A_i} \right) * 100$$

Donde  $A_i$  es abundancia absoluta,  $A_{ri}$  la abundancia relativa de la especie  $i$  respecto a la abundancia total,  $N_i$  es el número de individuos de la especie  $i$ , y  $S$  la superficie de muestreo (ha).

La dominancia relativa se evaluó mediante la siguiente fórmula:

$$D_{i=1\dots n} = Ab_i/S(\text{ha}) \qquad DR_{i=1\dots n} = \left( \frac{D_i}{\sum D_i} \right) * 100$$

donde  $D_i$  es dominancia absoluta,  $D_{ri}$  la dominancia relativa de la especie  $i$  respecto a la abundancia total,  $Ab_i$  el área de copa de la especie  $i$ , y  $S$  la superficie de muestreo (ha).

La frecuencia relativa se valoró con la fórmula:

$$F_i = P_i / NS \qquad FR_i = \left( \frac{F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \right) * 100$$

donde  $F_i$  es la frecuencia absoluta,  $FR_i$  la frecuencia relativa de la especie  $i$  respecto a la abundancia total,  $P_i$  el número de sitios en el que está presente la especie  $i$ , y  $NS$  número total de sitios de muestreo (ha).

De acuerdo con Curtis y McIntosh (1951), el índice de valor de importancia representa una medida de cuantificación para cada especie y se determinó con la siguiente fórmula:

$$IVI = (Ar + Fr + Dr) / 3$$

donde  $IVI$  es el Índice de Valor de Importancia,  $Ar$  es la abundancia relativa,  $Fr$  es la frecuencia relativa y  $Dr$  es la dominancia relativa.

## 6.5 Biomasa aérea a partir de ecuaciones alométricas específicas

A partir de la vegetación registrada, se revisó diversa literatura y se seleccionaron ecuaciones alométricas específicas para género o especie para la cuantificación de biomasa aérea (Tabla 3).

Tabla 3.- Ecuaciones alométricas utilizadas.

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Autor
<i>Acacia gaumeri</i>	EXP(- 9.5643815+1.82330416*LN(DN)+1.01741981*LN(H))		CONAFOR (2014)
<i>Bauhinia variegata</i>	[0.197575]*[DBH <sup>2.34002</sup> ]	0.93	Rodríguez-Laguna <i>et al.</i> , (2008)
<i>Brosimum alicastrum</i>	[0.0336]*[DBH <sup>2</sup> ]*[TH]	0.97	Cairns <i>et al.</i> , (2003)
<i>Bursera simaruba</i>	EXP(- 9.88282891+1.92178549*LN(DN)+1.04714889*LN(H))		CONAFOR (2014)
<i>Caesalpinia gaumeri</i>	EXP(- 9.41737421+1.76385327*LN(DN)+1.04067089*LN(H))		
<i>Chloroleucon mangense</i>	B = -10.26 + 0.09 (DAP2)+7.33 (HC)		Solano <i>et al.</i> , 2014
<i>Coccoloba acapulcensis</i>	EXP(- 9.41737421+1.76385327*LN(DN)+1.04067089*LN(H))		CONAFOR (2014)
<i>Coccoloba cozumelensis</i>	EXP(- 9.41737421+1.76385327*LN(DN)+1.04067089*LN(H))		CONAFOR (2014)

Espece	Ecuación	R <sup>2</sup>	Autor
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	$[0.0841]*[DBH^{2.41}]$		Návar, 2009 <sup>a</sup>
<i>Dendropanax arboreus</i>	$[0.037241*DBH^{2.99585}]$	0.95	Rodríguez-Laguna <i>et al.</i> , 2008
<i>Diospyros cuneata</i>	EXP(- 9.41737421+1.76385327*LN(DN)+1.04067089*LN(H))		CONAFOR (2014)
<i>Esenbeckia pentaphylla</i>	EXP(- 9.41737421+1.76385327*LN(DN)+1.04067089*LN(H))		CONAFOR (2014)
<i>Eugenia buxifolia</i>	$[0.4600]+[[0.0370]*[DBH^2]*TH]$	0.99	Cairns <i>et al.</i> , 2003
<i>Ficus cotinifolia</i>	EXP(- 9.52774573+1.76329569*LN(DN)+1.08168791*LN(H))		CONAFOR (2014)
<i>Gymnopodium floribundum</i>	EXP(- 9.41737421+1.76385327*LN(DN)+1.04067089*LN(H))		
<i>Haematoxylum campechianum</i>	EXP(- 9.5643815+1.82330416*LN(DN)+1.01741981*LN(H))		
<i>Hampea trilobata</i>	EXP(- 9.52774573+1.76329569*LN(DN)+1.08168791*LN(H))		
<i>Jatropha gaudereri</i>	EXP(- 9.41737421+1.76385327*LN(DN)+1.04067089*LN(H))		
<i>Lonchocarpus rugosus</i>	EXP(- 9.5643815+1.82330416*LN(DN)+1.01741981*LN(H))		
<i>Lonchocarpus xuul</i>	EXP(- 9.41737421+1.76385327*LN(DN)+1.04067089*LN(H))		
<i>Luehea speciosa</i>	Exp(-2.12605 + 0.868 LN(DN <sup>2</sup> *H))		
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	EXP(- 9.41737421+1.76385327*LN(DN)+1.04067089*LN(H))		

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Autor
<i>Machaonia lindeniana</i>	EXP(- 9.5643815+1.82330416*LN(DN)+1.01741981*LN(H))		CONAFOR (2014)
<i>Malmea depressa</i>	EXP(- 9.41737421+1.76385327*LN(DN)+1.04067089*LN(H))		
<i>Manilkara zapota</i>	EXP(- 9.84923104+1.91175328*LN(DN)+1.04555238*LN(H))		
<i>Piscidia piscipula</i>	EXP(- 9.84923104+1.91175328*LN(DN)+1.04555238*LN(H))		
<i>Pithecellobium albicans</i>	EXP(- 9.84923104+1.91175328*LN(DN)+1.04555238*LN(H))		
<i>Platymiscium yucatanum</i>	EXP(- 9.84923104+1.91175328*LN(DN)+1.04555238*LN(H))		
<i>Pouteria unilocularis</i>	[0.0465]*[DBH <sup>2</sup> ]*[TH]	0.96	Cairns <i>et al.</i> , 2003
<i>Psidium sartorianum</i>	EXP(- 9.41737421+1.76385327*LN(DN)+1.04067089*LN(H))		CONAFOR (2014)
<i>Spondias mombin</i>	Exp(-2.12605 + 0.868 LN(DN <sup>2</sup> *H))		Cairns <i>et al.</i> , 2003

## 6.6 Biomasa aérea a partir de una ecuación alométrica general

En caso de no obtener las ecuaciones específicas de las especies en literatura; se utilizó una ecuación general propuesta por el IPCC basado en el tipo de clima (Tabla 4).

Tabla 4.-Ecuación por tipo de clima.

Especie	Ecuación	R <sup>2</sup>	Clima
<i>Albizia tomentosa</i>	$y = \exp[-2.4090 + 0.95522 \ln(D^2HS)]$	0.99	Húmedo
<i>Astronium graveolens</i>			
<i>Byrsonima bucidifolia</i>			
<i>Caesalpinia vesicaria</i>			
<i>Cascabela gaumeri</i>			
<i>Casimiroa tetrameria</i>			
<i>Cecropia peltata</i>			
<i>Ceiba pentandra</i>			
<i>Chrysophyllum cainito</i>			
<i>Colubrina arborescens</i>			
<i>Cordia alliodora</i>			
<i>Cordia dodecandra</i>			
<i>Diphysa carthagenensis</i>			
<i>Drypetes lateriflora</i>			
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>			
<i>Guettarda combsii</i>			
<i>Gymnanthes lucida</i>			
<i>Hamelia patens</i>			
<i>Indigofera indica</i>			
<i>Krugiodendron ferreum</i>			
<i>Leucaena shannonii</i>			
<i>Nectandra coriacea</i>			
<i>Rehdera trinervis</i>			
<i>Sebastiania adenophora</i>			
<i>Senna pallida</i>			
<i>Senna racemosa</i>			
<i>Sideroxylon foetidissimum</i>			
<i>Simarouba glauca</i>			
<i>Swartzia cubensis</i>			
<i>Zuelania guidonia</i>			

Autor. - Brown *et al.*, 1989. D= diámetro a altura de pecho (1.30 m), H= altura (m), S= densidad de madera.

### 6.7 Factor de conversión a carbono "C"

La estimación de la concentración de carbono de forma indirecta se realizó a través de una simple multiplicación de la variable biomasa total (BT) por el factor de conversión de 0.5 (Brown y Lugo, 1992).

### 6.8 Análisis estadístico

Los resultados se sometieron a un análisis de varianza ANOVA (con un nivel de significancia de  $P \leq 0.05$ ) completamente aleatorio para determinar si realmente existen efectos significativos en el contenido de carbono almacenado entre las áreas de estudio.

Se realizó una prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para comparar las medias con el propósito de identificar en cuáles de los sitios expresaron diferencias estadísticamente significativas.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Distribución de individuos por clases diamétricas

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 los individuos jóvenes. La figura 4 muestra dicha distribución de diámetros en las categorías pertenecientes al área de la aguada.

Se registró 2 individuos dentro de la categoría de 5 cm, se entiende que hay pocos individuos en fase de repoblación, la mayor cantidad resultó en las categorías de 10, 15, 20 cm, siendo la de mayor valor la de 10 cm abarcando 685 ind/ha, de manera descendente 15 cm con 369 ind/ha y por último 20 cm con 149 ind/ha. Mostrando que, el área se encuentra en fase activa de crecimiento de latizales esto se considera árboles en etapa juvenil con transición a juvenil-adultos.

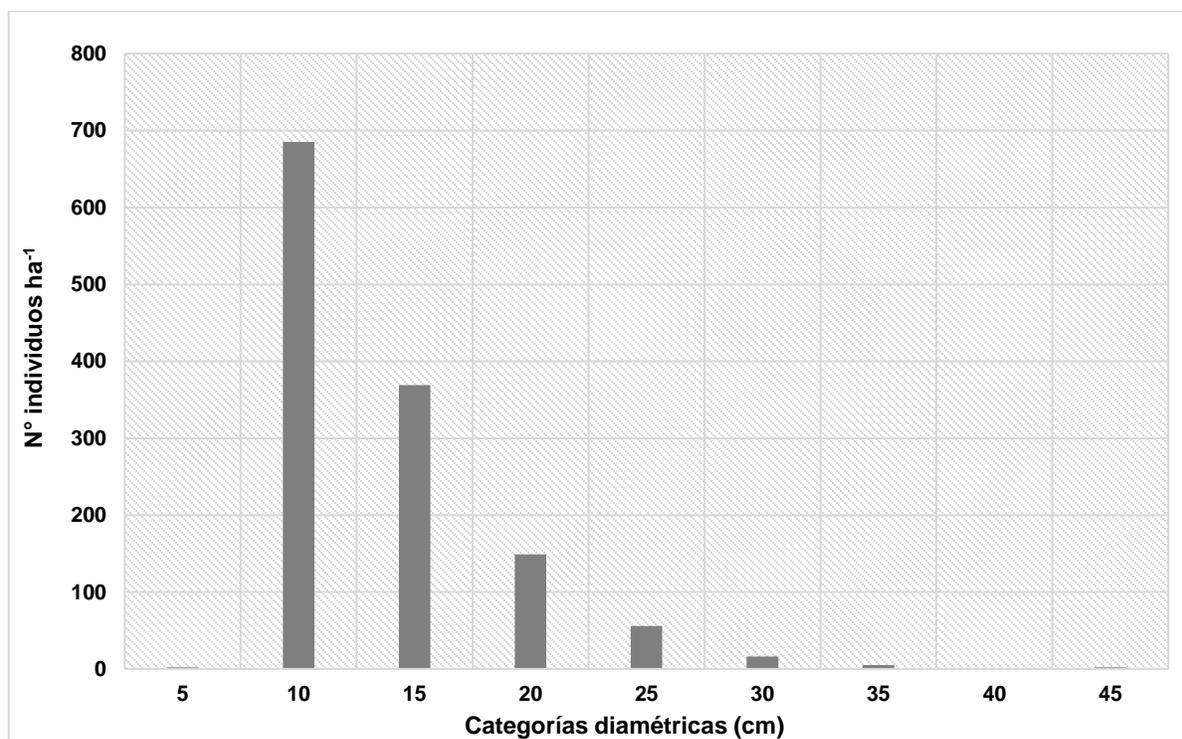


Figura 4.- Distribución de individuos por categorías diamétricas (cm) en la aguada.

Asimismo, se presentó similitud de distribución el área de regeneración como se muestra en la figura 5; la categoría diamétrica con mayor incidencia es la de 10 cm con 750 ind/ha, siguiendo la de 15 cm con 263 ind/ha y posteriormente la de 20 cm con 91 ind/ha. Es decir, las áreas donde se obtuvo los datos se comprenden en su mayoría de árboles jóvenes.

Por otra parte, también existió la presencia de menos individuos en las categorías superiores.

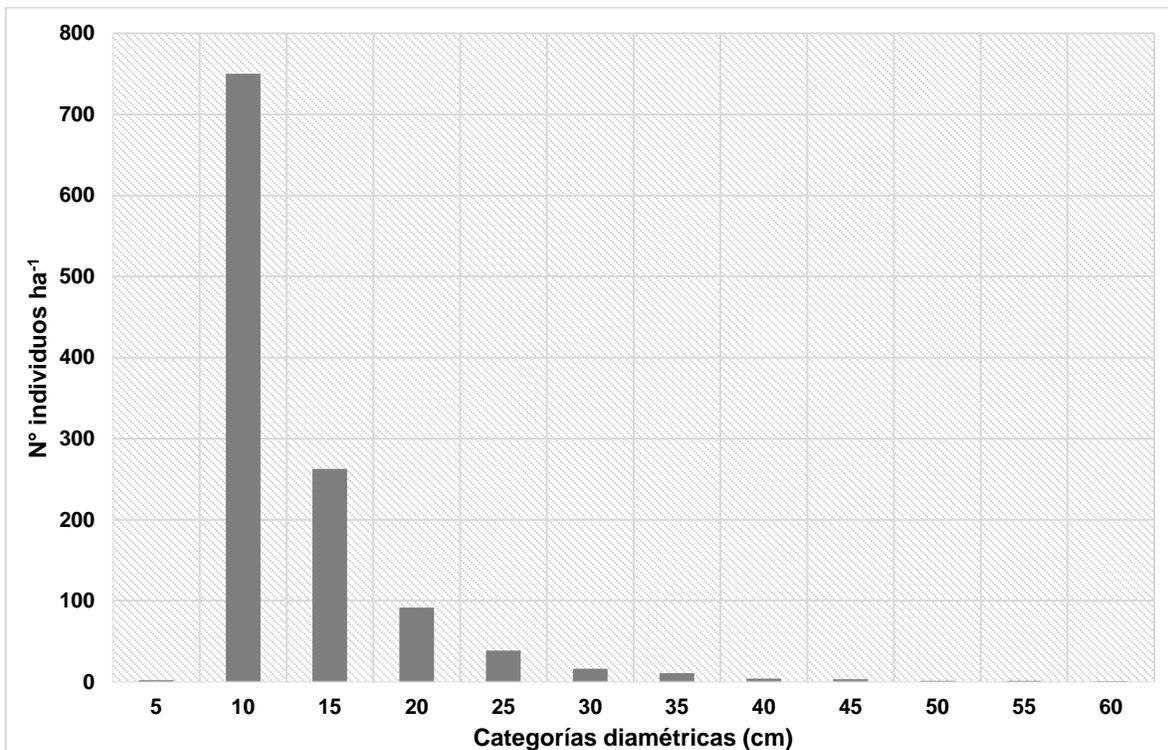


Figura 5.- Distribución de individuos por categorías diamétricas (cm) en área de regeneración.

El área de conservación resultó con la mayor cantidad de individuos en la categoría diamétrica de 10 cm con un total de 884 ind/ha, siguiendo con 397 ind/ha para la categoría de 15 cm y 161 ind/ha comprendida en 20 cm. Además, se registró presencia de árboles en categorías diamétricas mayores, lo que demuestra ser un área de mayor conservación permitiendo el desarrollo en longevidad de la vegetación y por ende expresar dimensiones en diámetro por arriba del promedio (Figura 6).

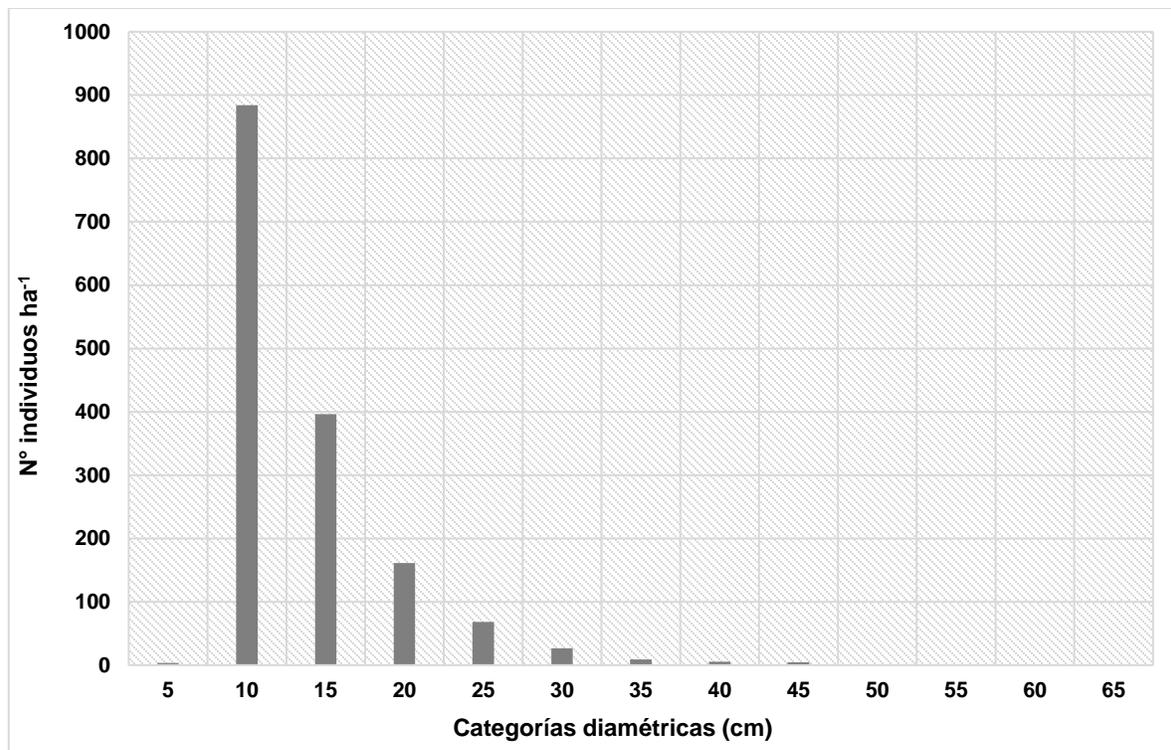


Figura 6.- Distribución de individuos por categorías diamétricas (cm) en área de conservación.

## 7.2 Parámetros ecológicos

En base a los datos obtenidos se registraron en la aguada 45 especies pertenecientes a 43 géneros y 24 familias. Las familias más representativas fueron las siguientes: Fabaceae donde las especies de mayor proporción son: *Piscidia piscipula*, *Caesalpinia gaumeri* y *Lysiloma latisiliquum*, seguida de Burseraceae representado por *Bursera simaruba* y Polygonaceae por *Coccoloba cozumelensis*.

Por otro lado, la abundancia total fue de 1,285 N.ha<sup>-1</sup>, las especies que registraron mayores aportaciones fueron *Piscidia piscipula* con 440 N.ha<sup>-1</sup>, siendo la abundancia relativa de 34.24% seguida por *Caesalpinia gaumeri* con 119 N.ha<sup>-1</sup> representando el 9.26% y *Bursera simaruba* con 102 N.ha<sup>-1</sup> con el 7.94% (Tabla 5).

La dominancia relativa se estimó por medio del cálculo de la cobertura de copa. La comunidad vegetal de la aguada presentó 10,562 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, es decir, un equivalente al 100% del área está ocupada por vegetación, siendo las especies más dominantes la *Piscidia piscipula* con 3,153 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> 29.86%, seguido por *Lysiloma latisiliquum* mostrando 1,404 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> 13.30% y *Bursera 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 muestreo: *Bursera simaruba*, *Coccoloba cozumelensis*, *Piscidia piscipula* y *Vitex gaumeri* con una representatividad conjunta de 21.04% (5.26% cada una), le sigue *Caesalpinia gaumeri* y *Lysiloma 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 (IVI) para el área de la aguada reflejó que la especie de mayor peso ecológico es *Piscidia piscipula* con 23.12%, seguida por *Lysiloma latisiliquum* con 8.42% la cual es representativa en dominancia, frecuencia e IVI siendo la dominancia donde destaca, posteriormente a *Bursera simaruba* con 7.68% mostrando un alto valor en dominancia.

Tabla 5.- Parámetros ecológicos de las especies en la aguada.

<b>Especie</b>	<b>Ab rel (%)</b>	<b>Dom rel (%)</b>	<b>Fr rel (%)</b>	<b>IVI (%)</b>
<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 cozumelensis</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

Especie	Ab rel (%)	Dom rel (%)	Fr rel (%)	IVI (%)
<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
<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

Ab rel. Abundancia relativa, Fr rel. Frecuencia relativa, Dom rel. Dominancia relativa e IVI. Índice de Valor de Importancia.

En el área de regeneración se reconocieron 58 especies correspondientes a 55 géneros y 25 familias. En esta área las familias y especies más distintivas son de las Fabaceae caracterizada por las especies *Piscidia piscipula*, *Lonchocarpus xuul* y *Caesalpinia gaumeri*, seguida de Polygonaceae conformada por *Coccoloba cozumelensis* y *Gymnopodium floribundum* después, la familia Rubiaceae con *Machaonia lindeniana* y Burceraceae representada por *Bursera simaruba*.

Por otra parte, la abundancia total registrada dentro del área de regeneración fue de 1,181 N.ha<sup>-1</sup> siendo menor a la aguada. La tabla 6 ejemplifica las estimaciones de los parámetros pertinentes a esta área, donde la especie *Piscidia piscipula* resulta con el valor mayor de abundancia relativa con el 21.94% representando 259 N.ha<sup>-1</sup> del total calculado; las especies que le siguen son: *Lonchocarpus xuul* con el 8.27% 98 N.ha<sup>-1</sup> y el 7.31% por parte de *Coccoloba cozumelensis* con 86 N.ha<sup>-1</sup>.

Se registró un total de 7,394 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> de dominancia siendo menor en comparación con las otras áreas; en este sitio las especies con altos porcentajes fueron principalmente *Piscidia piscipula* con 1,446 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> significando el 19.55% seguido

por *Lysiloma latisiliquum* con  $800 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  el 10.82% y *Caesalpinia gaumeri* presenta  $552 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  con el 7.47%.

Se identificaron dos especies con existencias en cada uno de los sitios siendo *Coccoloba cozumelensis* y *Piscidia piscipula* obteniendo en conjunto 9.68% (4.84% cada una), continuando con *Lonchocarpus xuul* con el 4.72% apareciendo en 38 sitios y 4.60% para *Bursera simaruba* en 37 sitios.

En el sitio de regeneración el IVI demostró a la especie *Piscidia piscipula* con 15.45% del 100%, la segunda especie de mayor peso es *Lonchocarpus xuul* con valor de 6.73% por su mayor frecuencia y posteriormente *Lysiloma latisiliquum* con 6.39% debido a su aportación en dominancia; estos valores resultantes fueron menores a los de la aguada.

Tabla 6.- Parámetros ecológicos de las especies en el área de regeneración.

<b>Especie</b>	<b>Ab rel (%)</b>	<b>Dom rel (%)</b>	<b>Fr rel (%)</b>	<b>IVI (%)</b>
<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

<b>Especie</b>	<b>Ab rel (%)</b>	<b>Dom rel (%)</b>	<b>Fr rel (%)</b>	<b>IVI (%)</b>
<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 carthagenensis</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>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
<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
<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 deppresa</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

Especie	Ab rel (%)	Dom rel (%)	Fr rel (%)	IVI (%)
<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

Ab rel. Abundancia relativa, Fr rel. Frecuencia relativa, Dom rel. Dominancia relativa e Índice de Valor de Importancia.

Para el caso del área de estudio de conservación, se registraron de forma general 61 especies pertinentes a 58 géneros y 28 familias. Las familias y especies más distintivas de esta área por mencionar algunas de ellas son: las Fabaceae constituyéndose por *Piscidia piscipula*, *Caesalpinia gaumeri* y *Lonchocarpus xuul*, le sigue la familia Polygonaceae presentando a *Coccoloba cozumelensis* y *Gymnopodium floribundum*, después las Burseraceae con *Bursera simaruba* y la Malvaceae con *Luehea speciosa*.

Los resultados para el área de conservación, reflejaron ser el sitio más abundante con 1,563 N.ha<sup>-1</sup> respecto a las otras áreas. La tabla 7 presenta los porcentajes de los parámetros siendo, *Piscidia piscipula* la más abundante con 303 N.ha<sup>-1</sup> representa el 19.37% del total, las especies que le siguen son: *Caesalpinia gaumeri* y *Bursera simaruba* teniendo valores de 141 N.ha<sup>-1</sup> y 120 N.ha<sup>-1</sup> significando el 9.03% y 7.70% respectivamente.

En la dominancia total de especies manifestó ocupar alrededor de 10,001 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> indicando ser mayor al sitio de regeneración, pero inferior a la aguada. Las especies a quienes se les atribuyó la más alta dominancia consistieron en *Piscidia piscipula* con 1,527 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> caracterizando el 15.27%, después desciende a 1,095 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> por

parte de *Lysiloma latisiliquum* siendo el 10.95% y *Caesalpinia gaumeri* con el 8.81% equivaliendo a 882 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> de ocupación del área.

En lo que respecta a las especies importantes en frecuencia relativa son *Coccoloba cozumelensis* y *Piscidia piscipula* estuvieron ausentes en un sitio del total muestreado dando un total en conjunto del 8.62% (4.31% cada una), después se evidenciaron que tres especies comparten la misma cantidad de existencias faltando en dos sitios siendo estas *Caesalpinia gaumeri*, *Lonchocarpus xuul* y *Vitex gaumeri* con 12.42% (4.14% individualmente).

Con respecto al 100% del IVI, el 12.98% corresponde a *Piscidia piscipula*, es decir, que esta especie demostró ser de gran peso ecológico obteniendo los valores mayores en todos los parámetros, la segunda especie resultó ser *Caesalpinia gaumeri* con el 7.33% y la tercera especie fue *Bursera simaruba* con 6.49% a raíz de la abundancia y dominancia.

Por otra parte, los valores de *Caesalpinia gaumeri* y *Bursera simaruba* presentan una tendencia a ser similares con los obtenidos en el sitio de la aguada, sin embargo, con respecto a la zona de regeneración, dichos resultados son mayores.

Tabla 7.- Parámetros ecológicos de las especies del área de conservación.

<b>Especie</b>	<b>Ab rel (%)</b>	<b>Dom rel (%)</b>	<b>Fr rel (%)</b>	<b>IVI (%)</b>
<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>Byrsonima 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

<b>Especie</b>	<b>Ab rel (%)</b>	<b>Dom rel (%)</b>	<b>Fr rel (%)</b>	<b>IVI (%)</b>
<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>Coccoloba acapulcensis</i>	0.39	0.42	1.38	0.73
<i>Coccoloba 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 carthagenensis</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 xuul</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
<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

<b>Especie</b>	<b>Ab rel (%)</b>	<b>Dom rel (%)</b>	<b>Fr rel (%)</b>	<b>IVI (%)</b>
<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 e IVI Índice de Valor de Importancia.

## 7.3 Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey

Se llevó a cabo el análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) de los valores obtenidos sobre el contenido de carbono de las tres áreas de estudio. En este análisis se evidenció que entre las medias existe diferencias estadísticamente significativas ( $Pr < 0.000$ ), por lo cual la hipótesis se acepta (Tabla 8).

Tabla 8.- Análisis de varianza del contenido de carbono.

<b>ANOVA</b>					
<b>Ton C ha<sup>-1</sup></b>					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	16941.373	2	8470.686	11.458	0.000
Dentro de grupos	53226.863	72	739.262		
Total	70168.235	74			

Al demostrar la existencia de diferencias entre los resultados se llevó a cabo la comprobación de medias utilizando la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) con la finalidad de conocer en cuales de los sitios se encuentra este contraste, obteniendo así, que el área de regeneración con 59.39 ton C ha<sup>-1</sup> no presentó igualdad estadística con las otras dos áreas de estudio, en cambio, los sitios de la aguada y de conservación presentaron igualdad estadísticamente con valores de 83.25 y 91.29 ton C ha<sup>-1</sup>, en los sitios donde se comprobó diferencia estadística fue entre el área de regeneración contra el conjunto formado por la aguada y conservación (Tabla 9).

Tabla 9.- Comprobación de medias mediante análisis de Tukey.

<b>Ton C ha<sup>-1</sup></b>			
HSD Tukey <sup>a,b</sup>			
Sitios	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Regeneración	39	59.3974 <sup>a</sup>	
Aguada	10		83.2520 <sup>b</sup>
Conservación	26		91.2973 <sup>b</sup>
Sig.		1.000	0.645

## 7.4 Biomasa – Carbono por especie

Se prosiguió a realizar los cálculos pertinentes de biomasa seca con la finalidad de obtener el equivalente en carbono retenido en cada una de las especies. La tabla 10 muestra los resultados obtenidos en la zona de la aguada, donde se observó que las especies de mayor contribución en biomasa y carbono almacenado son: *Piscidia piscipula* aportando 47.99 ton ha<sup>-1</sup> de biomasa correspondiente a 24 ton C ha<sup>-1</sup>, le sigue *Lysiloma latisiliquum* contribuyendo con 44.75 ton B ha<sup>-1</sup> equivaliendo a 22.37 ton C ha<sup>-1</sup> y *Caesalpinia gaumeri* con 22.57 ton B ha<sup>-1</sup> y 11.29 ton C ha<sup>-1</sup>.

Tabla 10.- Resultados de biomasa y carbono almacenado por especie en el área de la aguada.

Especies	Ton B ha <sup>-1</sup>	Ton C ha <sup>-1</sup>
<i>Piscidia piscipula</i>	47.99	24.00
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	44.75	22.37
<i>Caesalpinia gaumeri</i>	22.57	11.29
<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 xuul</i>	2.72	1.36
<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>	1.80	0.90
<i>Cascabela gaumeri</i>	1.42	0.71
<i>Lonchocarpus rugosus</i>	1.40	0.70
<i>Hamelia patens</i>	1.30	0.65
<i>Psidium sartorianum</i>	1.09	0.54
<i>Diospyros cuneata</i>	1.01	0.50
<i>Pouteria unilocularis</i>	1.01	0.50
<i>Metopium brownei</i>	0.91	0.46
<i>Cordia dodecandra</i>	0.90	0.45
<i>Dendropanax arboreus</i>	0.86	0.43
<i>Bauhinia variegata</i>	0.85	0.43
<i>Zuelania guidonia</i>	0.79	0.40

<b>Especies</b>	<b>Ton B ha<sup>-1</sup></b>	<b>Ton C ha<sup>-1</sup></b>
<i>Casimiroa tetrameria</i>	0.76	0.38
<i>Swartzia cubensis</i>	0.65	0.33
<i>Chloroleucon mangense</i>	0.59	0.30
<i>Margaritaria nobilis</i>	0.59	0.30
<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	0.20
<i>Simarouba glauca</i>	0.31	0.16
<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	0.05
<i>Chrysophyllum cainito</i>	0.09	0.04
<i>Esenbeckia pentaphylla</i>	0.08	0.04
<i>Drypetes lateriflora</i>	0.07	0.04
<i>Nectandra coriacea</i>	0.07	0.03
<i>Diphysa carthagenensis</i>	0.05	0.02
<i>Sideroxylon foetidissimum</i>	0.03	0.02
<i>Hampea trilobata</i>	0.03	0.02

Para el área de regeneración se muestra en la tabla 11, los resultados de biomasa y carbono por especie que obtuvieron los valores mayores son: *Lysiloma latisiliquum* alcanzó 34.87 ton B ha<sup>-1</sup> con 17.44 ton C ha<sup>-1</sup> mientras que *Piscidia piscipula* contribuye en biomasa con 22.75 ton ha<sup>-1</sup> equivaliendo a 11.38 ton C ha<sup>-1</sup>, después *Caesalpinia gaumeri* proporcionó 9.20 ton B ha<sup>-1</sup> correspondiente a 4.60 ton C ha<sup>-1</sup>, sin embargo, estos valores demostraron ser inferiores a los cuantificados en el área de la aguada.

Tabla 11.- Resultados de biomasa y carbono almacenado por especie en el área de regeneración.

<b>Especies</b>	<b>Ton B ha<sup>-1</sup></b>	<b>Ton C ha<sup>-1</sup></b>
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	34.87	17.44
<i>Piscidia piscipula</i>	22.75	11.38
<i>Caesalpinia gaumeri</i>	9.20	4.60
<i>Coccoloba cozumelensis</i>	5.21	2.60
<i>Lonchocarpus xuul</i>	5.09	2.54
<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>	3.30	1.65
<i>Guettarda combsii</i>	2.61	1.31
<i>Lonchocarpus rugosus</i>	2.41	1.21
<i>Machaonia lindeniana</i>	2.28	1.14
<i>Luehea speciosa</i>	1.83	0.91
<i>Diospyros cuneata</i>	1.76	0.88
<i>Thouinia paucidentata</i>	1.71	0.86
<i>Vitex gaumeri</i>	1.39	0.70
<i>Margaritaria nobilis</i>	1.35	0.67
<i>Swartzia cubensis</i>	1.28	0.64
<i>Manilkara zapota</i>	1.09	0.55
<i>Albizia tomentosa</i>	1.06	0.53
<i>Psidium sartorianum</i>	0.98	0.49
<i>Zuelania guidonia</i>	0.83	0.42
<i>Ficus cotinifolia</i>	0.77	0.38
<i>Pouteria unilocularis</i>	0.67	0.34
<i>Cordia dodecandra</i>	0.65	0.33
<i>Rehdera trinervis</i>	0.57	0.29
<i>Caesalpinia vesicaria</i>	0.52	0.26
<i>Chloroleucon mangense</i>	0.39	0.19
<i>Pithecellobium albicans</i>	0.35	0.17
<i>Astronium graveolens</i>	0.34	0.17
<i>Casimiroa tetrameria</i>	0.29	0.15
<i>Jatropha gaumeri</i>	0.28	0.14
<i>Bauhinia variegata</i>	0.25	0.13
<i>Diphysa carthagenensis</i>	0.20	0.10
<i>Cordia alliodora</i>	0.19	0.10
<i>Dendropanax arboreus</i>	0.18	0.09

<b>Especies</b>	<b>Ton B ha<sup>-1</sup></b>	<b>Ton C ha<sup>-1</sup></b>
<i>Simarouba glauca</i>	0.15	0.08
<i>Brosimum alicastrum</i>	0.15	0.08
<i>Ceiba pentandra</i>	0.14	0.07
<i>Talisia olivaeformis</i>	0.13	0.06
<i>Krugiodendron ferreum</i>	0.13	0.06
<i>Leucaena shannonii</i>	0.12	0.06
<i>Drypetes lateriflora</i>	0.11	0.06
<i>Tecoma stans</i>	0.10	0.05
<i>Spondias mombin</i>	0.09	0.04
<i>Coccoloba acapulcensis</i>	0.08	0.04
<i>Indigofera indica</i>	0.07	0.04
<i>Malmea depressa</i>	0.07	0.03
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.07	0.03
<i>Colubrina arborescens</i>	0.06	0.03
<i>Sideroxylon foetidissimum</i>	0.05	0.03
<i>Cascabela gaumeri</i>	0.05	0.03
<i>Chrysophyllum cainito</i>	0.05	0.03
<i>Sebastiania adenophora</i>	0.02	0.01
<i>Haematoxylum campechianum</i>	0.02	0.01
<i>Senna pallida</i>	0.01	0.004
<i>Hampea trilobata</i>	0.01	0.004
<i>Gymnanthes lucida</i>	0.003	0.001

Para el área de conservación, en la tabla 12 se muestra un incremento en especies con altas contribuciones en la elaboración de biomasa así mismo en retención de carbono siendo algunas de ellas: *Lysiloma latisiliquum* con un valor de 40.57 ton B ha<sup>-1</sup> equivalente en carbono retenido a 20.29 ton ha<sup>-1</sup>, le sigue *Piscidia piscipula* con 30.83 ton B ha<sup>-1</sup> con la cantidad de 15.41 ton C ha<sup>-1</sup>, después se encuentra la especie *Caesalpinia gaumeri* con 24.69 ton B ha<sup>-1</sup> y 12.35 ton C ha<sup>-1</sup>.

El área de conservación demostró ser la que en promedio provee mayores cantidades tanto de biomasa como de almacenamiento de carbono en las distintas especies de la vegetación, al compararla con las otras áreas resultaron con valores inferiores.

Tabla 12.- Resultados de biomasa y carbono almacenado por especie en el área de conservación.

<b>Especies</b>	<b>Ton B ha<sup>-1</sup></b>	<b>Ton C ha<sup>-1</sup></b>
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	40.57	20.29
<i>Piscidia piscipula</i>	30.83	15.41
<i>Caesalpinia gaumeri</i>	24.69	12.35
<i>Vitex gaumeri</i>	10.03	5.01
<i>Bursera simaruba</i>	7.50	3.75
<i>Coccoloba cozumelensis</i>	5.82	2.91
<i>Luehea speciosa</i>	5.57	2.78
<i>Metopium brownei</i>	5.46	2.73
<i>Lonchocarpus xuul</i>	5.08	2.54
<i>Gymnopodium floribundum</i>	4.77	2.39
<i>Dendropanax arboreus</i>	3.64	1.82
<i>Lonchocarpus rugosus</i>	3.60	1.80
<i>Manilkara zapota</i>	3.52	1.76
<i>Psidium sartorianum</i>	3.45	1.73
<i>Brosimum alicastrum</i>	2.71	1.35
<i>Swartzia cubensis</i>	2.63	1.31
<i>Platymiscium yucatanum</i>	2.58	1.29
<i>Pithecellobium albicans</i>	2.39	1.19
<i>Guettarda combsii</i>	2.14	1.07
<i>Thouinia paucidentata</i>	1.87	0.94
<i>Diospyros cuneata</i>	1.86	0.93
<i>Pouteria unilocularis</i>	1.76	0.88
<i>Margaritaria nobilis</i>	1.15	0.57
<i>Machaonia lindeniana</i>	0.81	0.41
<i>Casimiroa tetrameria</i>	0.67	0.34
<i>Bauhinia variegata</i>	0.59	0.30
<i>Chloroleucon mangense</i>	0.56	0.28
<i>Cascabela gaumeri</i>	0.51	0.26
<i>Zuelania guidonia</i>	0.50	0.25
<i>Diphysa carthagenensis</i>	0.50	0.25
<i>Malmea depressa</i>	0.47	0.24
<i>Spondias mombin</i>	0.38	0.19
<i>Leucaena shannonii</i>	0.37	0.19
<i>Rehdera trinervis</i>	0.33	0.17
<i>Jatropha gaumeri</i>	0.32	0.16
<i>Coccoloba acapulcensis</i>	0.31	0.16
<i>Simarouba glauca</i>	0.31	0.16
<i>Caesalpinia vesicaria</i>	0.29	0.14

<b>Especies</b>	<b>Ton B ha<sup>-1</sup></b>	<b>Ton C ha<sup>-1</sup></b>
<i>Ficus cotinifolia</i>	0.25	0.13
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	0.20	0.10
<i>Haematoxylum campechianum</i>	0.20	0.10
<i>Albizia tomentosa</i>	0.16	0.08
<i>Cordia alliodora</i>	0.16	0.08
<i>Byrsonima bucidifolia</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	0.06
<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	0.03
<i>Colubrina arborescens</i>	0.05	0.02
<i>Sebastiania adenophora</i>	0.04	0.02
<i>Drypetes lateriflora</i>	0.03	0.02
<i>Astronium graveolens</i>	0.03	0.01
<i>Senna racemosa</i>	0.02	0.01
<i>Ceiba pentandra</i>	0.02	0.01
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.01	0.01
<i>Krugiodendron ferreum</i>	0.01	0.01
<i>Acacia gaumeri</i>	0.01	0.01
<i>Cecropia peltata</i>	0.01	0.005

## 7.5 Biomasa – Carbono por categorías diamétricas

La figura 7 presenta los valores calculados de biomasa aérea y carbono almacenado distribuidos en las diversas categorías diamétricas en el área de la aguada. Los resultados proyectaron que entre las categorías 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> cuyas equivalencias en carbono almacenado son 17.1, 23.6, 20 y 12.3 ton C ha<sup>-1</sup> respectivamente, demostrando que, 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 mayor actividad y constancia. Sin embargo, la categoría 5 solo contiene 0.04 ton B ha<sup>-1</sup> con 0.02 ton C ha<sup>-1</sup>, en las categorías posteriores a 25 cm resultó bajos valores en los montos totales esto se puede atribuir a la poca existencia de árboles adultos e incluso a la reducción del potencial de crecimiento.

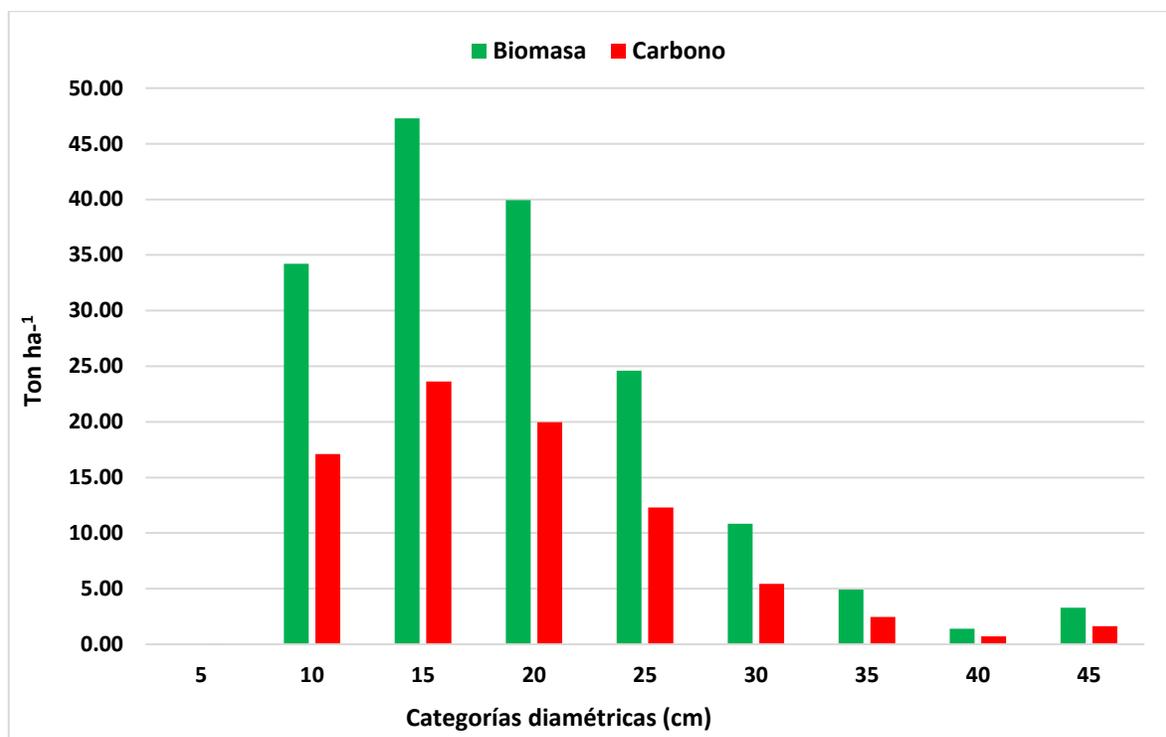


Figura 7.- Biomasa aérea y carbono almacenado por categoría diamétrica en el área de aguada.

Para el área de regeneración se muestra en la figura 8, los valores de biomasa aérea y carbono almacenado por categorías diamétricas. En primer lugar, se expresa un incremento de categorías con respecto a las reportadas en la anterior área pasando de 9 a 12. Las categorías donde se concentraron principalmente los valores de biomasa y carbono corresponden de igual manera a la vegetación joven y joven-madura siendo estas a partir de 10, 15, 20, 25, 30 y 35 cm de las cuales la biomasa es de 28.4, 25.7, 17.3, 14.3, 9.7 y 9 ton ha<sup>-1</sup> equivalente a carbono retenido de 14.19, 12.84, 8.64, 7.16, 4.85 y 4.48 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente. No obstante, este aumento de categorías no refleja mayores cantidades en biomasa y carbono puesto que los valores obtenidos son menores a los reportados en la aguada.

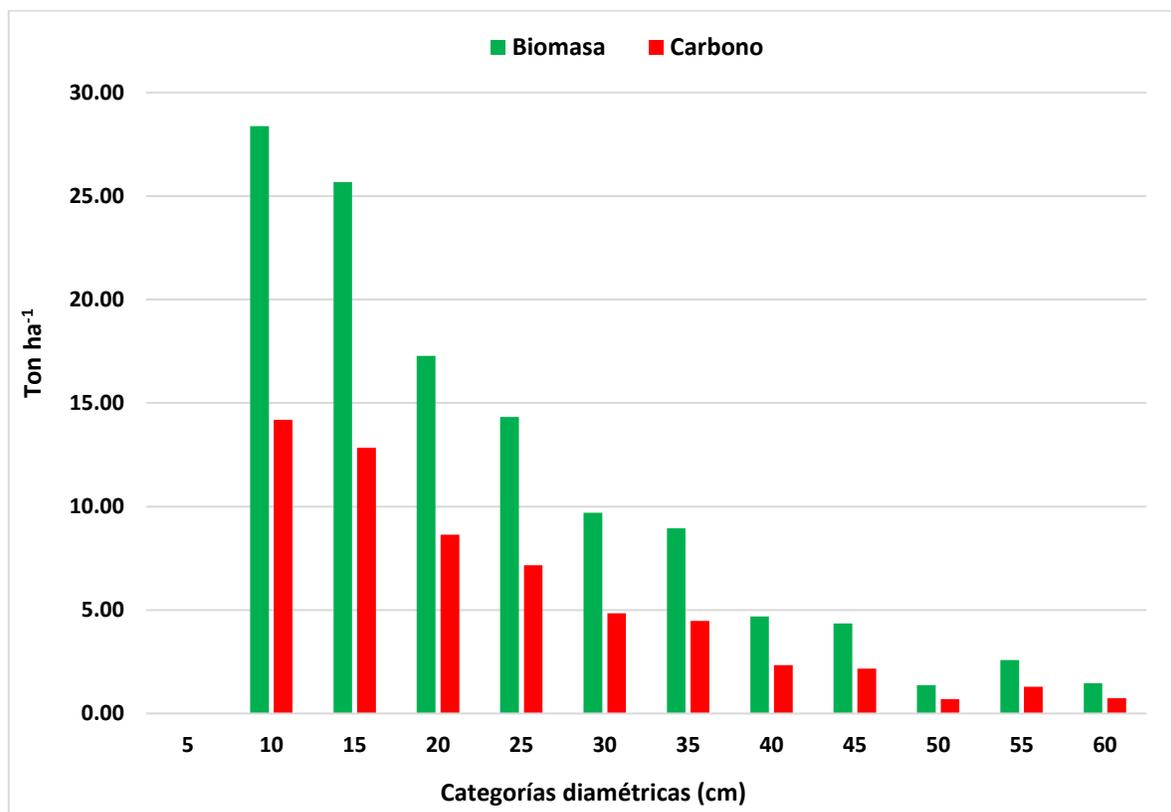


Figura 8.- Biomasa aérea y carbono almacenado por categoría diamétrica en área de regeneración.

La figura 9 representa la biomasa aérea y carbono almacenado del área de conservación por categorías diamétricas. Este sitio indicó el mayor número de categorías diamétricas en comparación a las anteriores con un total de 13 categorías; las mayores cantidades de biomasa y carbono se agruparon dentro de las categorías 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 cm donde los valores son 39.14, 42.12, 32.13, 24.21, 15.76, 7.55 y 6.63 ton ha<sup>-1</sup> de biomasa por lo cual los montos representados en carbono almacenado son 19.57, 21.06, 16.07, 12.11, 7.88, 3.78 y 3.32 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Estos valores obtenidos son mayores a los reportados en el área de regeneración, pero al ser comparados con el sitio de la aguada en la categoría de 10 cm del presente sitio mostró ser superior con 39.14 ton B ha<sup>-1</sup> y 19.57 ton C ha<sup>-1</sup> contra las 33.8 ton B ha<sup>-1</sup> y 16.9 ton C ha<sup>-1</sup> pero en las categorías de 15 cm a 25 cm de conservación resultaron con una tendencia a ser menores con respecto a las clases diamétricas de la aguada, posteriormente las siguientes categorías de conservación resultaron ser mayores.

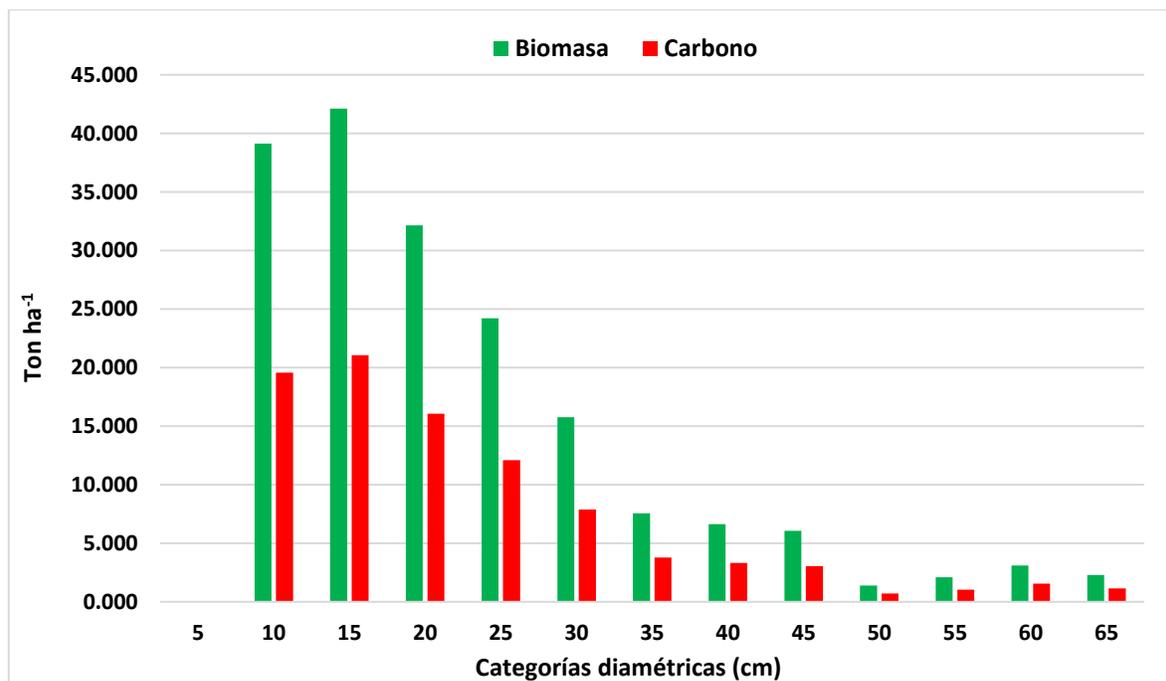


Figura 9.- Biomasa aérea y carbono almacenado por categoría diamétrica en área de conservación.

## 7.6 Contenido de Carbono "C"

Para observar el comportamiento de las estimaciones de biomasa y carbono almacenado con respecto a las áreas de estudio se elaboró un diagrama de cajas y bigotes (Figura 10). Para la aguada los datos obtenidos de biomasa presentan un rango desde 94.31 a 253.23 ton ha<sup>-1</sup> con una media de 166.50 ton ha<sup>-1</sup>, la equivalencia de carbono almacenado promedio es de 83.25 ton C ha<sup>-1</sup> con una variación de 47.16 a 126.62 ton C ha<sup>-1</sup>. En el área de regeneración se obtuvo una biomasa promedio de 118.80 ton ha<sup>-1</sup> mostrando como valor mínimo de 50.82 y máximo de 203.04 ton ha<sup>-1</sup> correspondiendo a un promedio de 59.40 ton C ha<sup>-1</sup> presentando un rango de carbono capturado entre 25.41 y 101.52 ton C ha<sup>-1</sup>. Por otra parte, para el área de conservación se calculó un rango de biomasa entre 63.94 a 337.96 ton ha<sup>-1</sup> con una media de 182.59 ton ha<sup>-1</sup> equivaliendo en promedio a 91.30 ton C ha<sup>-1</sup> con rangos en carbono capturado que va desde 31.97 hasta 168.98 ton C ha<sup>-1</sup>, cabe destacar que este sitio resultó con el mayor almacenamiento de carbono, seguido por la aguada y al final el de regeneración.

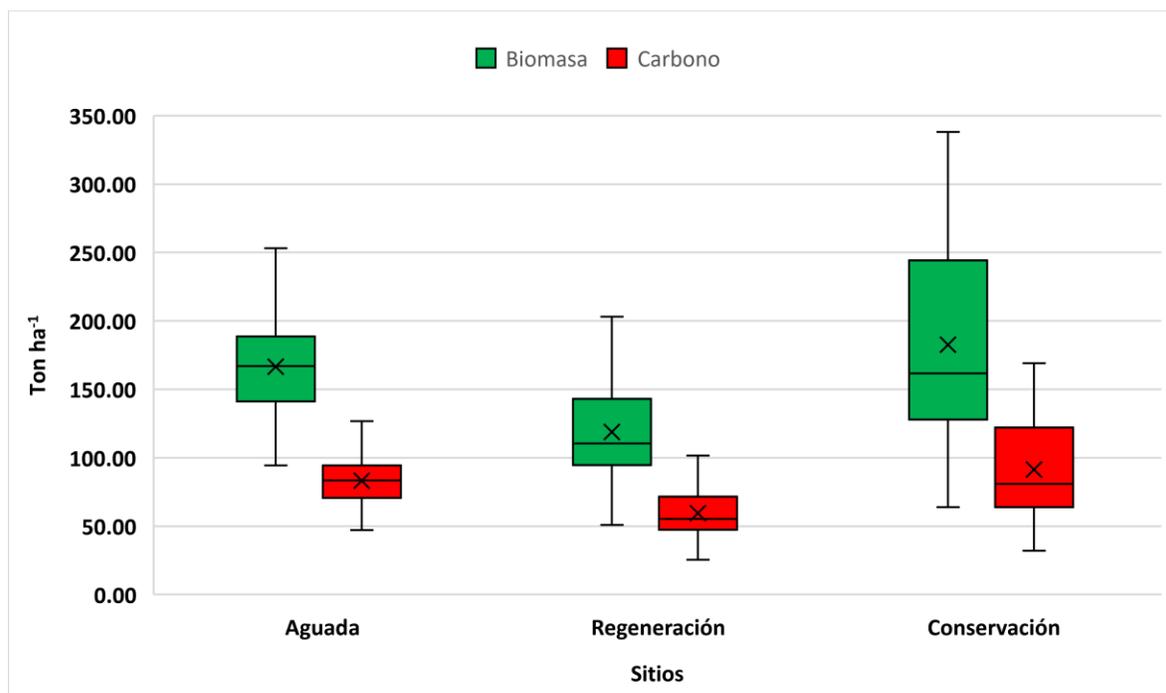


Figura 10.- Resultados promedio de biomasa y carbono en las áreas de aguada, regeneración y conservación.

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1 Parámetros ecológicos

#### Abundancia relativa

La aguada obtuvo de abundancia total 1,285 N.ha<sup>-1</sup>, las especies que registraron mayores aportaciones en abundancia relativa fueron *Piscidia piscipula* con el 34.24% seguida por *Caesalpinia gaumeri* representando el 9.26% y 7.94% de *Bursera simaruba*.

Por otra parte, el área de regeneración presentó 1,181 N.ha<sup>-1</sup>; la especie *Piscidia piscipula* indicó el 21.94%, después las especies por debajo de esta son: *Lonchocarpus xuul* con el 8.27% y el 7.31 % por parte de *Coccoloba cozumelensis*.

Por último, el sitio de conservación mostró ser el más abundante con 1,563 N.ha<sup>-1</sup> respecto a las áreas anteriores. La especie *Piscidia piscipula* fue la más abundante representando el 19.37% del total, las especies que le siguen son: *Caesalpinia gaumeri* y *Bursera simaruba* teniendo valores de 9.03 y 7.70%. Estos valores obtenidos indican tener rangos similares a los determinados por Zamora-Crescencio *et al.*, (2008) en 9 sitios con una vegetación tipo selva mediana subcaducifolia en el municipio de Tzucacab localizado al sur del estado de Yucatán, las especies más representativas fueron *B. simaruba*, *C. reflexifolius*, *D. cuneata* y *G. lucida*, pero si se toma en cuenta los valores más altos de cada sitio por especie resulta para *B. simaruba* el 13.17%, *C. reflexifolius* con 22.01%, *D. cuneata* el 17.60% y *G. 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 resultaron que son menores a los expuestos anteriormente, tomando como ejemplo, *P. piscipula* representa el 1.40% mientras que *C. cozumelensis* tan solo el 3.50%. Por otra parte, Chan (2010) analizó la estructura y composición florística del ejido Nuevo Conhuás en la Reserva de la Biosfera Calakmul (RBC)

después del uso agrícola de roza-tumba-quema demostrando que para la especie *P. piscipula* con edad de 4-6 años mostró de abundancia el 3.69%, con 14-16 años el 10.18% y a los 19-21 años el 6.51% siendo estos menores a los reportados en este estudio. Del mismo modo tomando como ejemplo a *B. simaruba* en el mismo orden de años expresó mayores valores tales como 16.77, 12.95 y 10.68% a los presentados en esta investigación.

Dominancia relativa:

La dominancia de la aguada se estimó en total 10,562 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, siendo las especies de mayor aportación: *Piscidia piscipula* representando el 29.86% seguida por *Lysiloma latisiliquum* mostrando el 13.30% y *Bursera simaruba* con el 9.83%.

En cambio, se registró un total de 7,394 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> en el sitio de regeneración donde las principales especies correspondieron a *Piscidia piscipula* con 19.55%, seguida por *Lysiloma latisiliquum* con el 10.82% y *Caesalpinia gaumeri* el 7.47%.

En el área de conservación el total es de 10,001 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, las especies con más alta dominancia relativa consistieron en *Piscidia piscipula* con el 15.27%, después se encuentra *Lysiloma latisiliquum* siendo el 10.95% y al final *Caesalpinia gaumeri* con el 8.81%. De acuerdo con el estudio realizado por Chan (2010) cita que en individuos de 4-6 años resultó a *L. latisiliquum* con 32.58%, *B. simaruba* 14.70% y *P. piscipula* 5.13% entre otras, a la edad de 14 a 16 muestra a *B. simaruba* con 16.78%, *P. piscipula* el 15.22% y *L. latisiliquum* con 12.80% y a los 19-21 años el 14.72% pertenece *B. simaruba*, *P. piscipula* con el 11.72% y *L. latisiliquum* con 9.14% como se puede observar algunos valores presentan una mínima reducción y otros un aumento mínimo sin embargo a pesar de estas variaciones continúan siendo mayores a los reportados en este estudio. En el trabajo elaborado por Díaz, Castillo & García (2002) en la selva baja subperennifolia del ejido La Guadalupe en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche en un estrato de 0-5 m reporta que las especies más dominantes fueron *M. floribunda* con el 17.79%, *H. campechianum*

el 43.97%, en el estrato 1-10 m se encuentra a *H. campechianum* con el 14.73%, *A. cubensis* con 9.53% y *G. floribundum* obteniendo el 9.31% demostrando que en estos dos primeros estratos, los valores mencionados son menores a los obtenidos en esta investigación.

Frecuencia relativa:

La frecuencia de la aguada presentó 4 especies en todos los sitios de muestreo: *Bursera simaruba*, *Coccoloba cozumelensis*, *Piscidia piscipula* y *Vitex gaumeri* con una representatividad conjunta de 21.04% (5.26% cada uno), le sigue *Caesalpinia gaumeri* y *Lysiloma latisiliquum* mostrando ausencia en un sitio teniendo una representación en conjunto de 9.48% (4.74% para cada uno).

En el área de regeneración dos especies se presentaron en cada uno de los sitios siendo *Coccoloba cozumelensis* y *Piscidia piscipula* obteniendo en conjunto 9.68% (4.84% ambas), continuando con *Lonchocarpus xuul* (4.72%) apareciendo en 38 sitios y *Bursera simaruba* (4.60%) en 37 sitios.

En la zona de conservación resultó que las especies *Coccoloba cozumelensis* y *Piscidia piscipula* estuvieron ausentes en un sitio dando un total en conjunto del 8.62% de existencias (4.31% cada uno), después se evidenciaron que tres especies comparten la misma cantidad de existencias faltando en dos sitios siendo estas *Caesalpinia gaumeri*, *Lonchocarpus xuul* y *Vitex gaumeri* con 12.42% (4.14% individualmente). En la investigación de Zamora-Crescencio *et al.*, (2008) reportan que las especies de mayor frecuencia resultaron ser: *L. latisiliquum*, *P. piscipula* y *C. reflexifolius* con 9.02, 9.89 y 8.15%, dichos valores son superiores a los calculados en esta investigación. Otro estudio realizado por Díaz, Castillo & García (2002) mencionan que las especies con mayor frecuencia dentro del estrato 0-5m fueron *M. floribunda*, *Rouchefortia* sp. y *C. icche* con un valor de 3.77%, el estrato 1-10 m encontraron a *M. floribunda* y *C. icche* con el 5% para cada uno y *A. cubensis* con 4.5%, del mismo modo el estrato >10 m la especie *E. rotundifolium* tuvo 12.19%

mientras que *M. brownei* y *C. icche* con 9.75% para cada una. Al comparar los datos con la frecuencia del presente trabajo, los sitios de la aguada y conservación demostraron ser mayores, pero en el de conservación fue menor con base a los estratos 0-5 y 1-10 m no obstante, el estrato >10 m fue el mayor aportador de frecuencia en comparación a las obtenidas en este estudio.

#### Índice de Valor de Importancia (IVI)

El Índice de Valor de Importancia (IVI) para el área de la aguada reflejó que la especie de mayor peso ecológico fue *Piscidia piscipula* con 23.12%, posteriormente a *Lysiloma latisiliquum* con 8.42% y a *Bursera simaruba* con 7.68%.

En el sitio de regeneración el IVI mostró a la especie *Piscidia piscipula* con 15.45% del 100%, la segunda especie de mayor peso es *Lonchocarpus xuul* con valor de 6.73% y seguida por *Lysiloma latisiliquum* con 6.39%.

Para el área de conservación, el 12.98% corresponde a *Piscidia piscipula* demostrando ser la de mayor peso ecológico seguida por *Caesalpinia gaumeri* con el 7.33% y *Bursera simaruba* con el 6.49%. De acuerdo con el estudio de Chan (2010) reporta que las especies de mayor peso ecológico son: *L. latisiliquum* y *B. simaruba* con 18.33 y 11.71% con edades entre 4 a 6 años, con 14-16 años muestra a *B. simaruba* aportando el 10.81% y *P. piscipula* el 9.36% mientras que de 19 a 21 años *B. simaruba* y *P. piscipula* tuvieron el 9.45 y 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* con 13.5% demostrando así que para ambas situaciones los rangos de valores obtenidos en este trabajo en algunos casos son menores mientras que en otros resultaron ser mayores con lo cual se podría establecer que se encuentran dentro de un rango de variabilidad reducida, aunque solamente el IVI de la especie *P. piscipula* de la aguada fue superior en comparación a los descritos.

## 8.2 Biomasa – Carbono por especie

Los resultados obtenidos en la zona de la aguada demuestran que las especies de mayor contribución en biomasa y captura de carbono son: *Piscidia piscipula* aportando 47.99 ton B ha<sup>-1</sup> correspondiente a 24 ton C ha<sup>-1</sup>, le sigue *Lysiloma latisiliquum* contribuyendo con 44.75 ton B ha<sup>-1</sup> equivalente a 22.37 ton C ha<sup>-1</sup> y *Caesalpinia gaumeri* con 22.57 ton B ha<sup>-1</sup> y 11.29 ton C ha<sup>-1</sup>.

Para el área de regeneración son de la siguiente manera: *Lysiloma latisiliquum* mostró 34.87 ton B ha<sup>-1</sup> con 17.44 ton C ha<sup>-1</sup> mientras que *Piscidia piscipula* contribuye en biomasa con 22.75 ton ha<sup>-1</sup> equivaliendo a 11.38 ton C ha<sup>-1</sup>, después *Caesalpinia gaumeri* proporcionó 9.20 ton B ha<sup>-1</sup> y 4.60 ton C ha<sup>-1</sup>.

El sitio de conservación resultó para *Lysiloma latisiliquum* contiene en total 40.57 ton B ha<sup>-1</sup> con 20.29 ton C ha<sup>-1</sup>, le sigue *Piscidia piscipula* con 30.83 ton B ha<sup>-1</sup> con la cantidad de 15.41 ton C ha<sup>-1</sup> y *Caesalpinia gaumeri* con 24.69 ton B ha<sup>-1</sup> y 12.35 ton C ha<sup>-1</sup>; Estos resultados son mayores a los obtenidos por Ramírez-Guajardo (2015) en la Reserva Biocultural Kaxil-Kiuic en la Península de Yucatán donde reporta para biomasa los siguientes valores: *L. latisiliquum* con 15.38 ton ha<sup>-1</sup>, *C. gaumeri* tuvo 13.15 ton ha<sup>-1</sup> y *P. piscipula* con 7.75 ton ha<sup>-1</sup>. En otra investigación realizada por Bautista-Hernández y Torres-Pérez (2003) reportan los valores de las especies *Manikara zapota* con 157.95 ton B ha<sup>-1</sup> equivalente a 75.64 ton C ha<sup>-1</sup>, para la especie *Sickingia salvadorensis* obtuvo 56.36 ton B ha<sup>-1</sup> con 28.13 ton C ha<sup>-1</sup> y *Brosimum alicastrum* con 61.07 ton B ha<sup>-1</sup> y 27.53 ton C ha<sup>-1</sup>, con lo cual, estos valores son mayores a los resultados de la presente investigación.

### 8.3 Biomasa – Carbono almacenado por categorías diamétricas

Los valores calculados de biomasa aérea y carbono almacenado distribuidos en las diversas categorías diamétricas en el área de la aguada proyectaron que entre la categoría 10, 15, 20 y 25 cm presentaron las mayores producciones de biomasa siendo estas 34.2, 47.3, 39.9 y 24.6 ton ha<sup>-1</sup> cuyas equivalencias en carbono almacenado son 17.1, 23.6, 20 y 12.3 ton C ha<sup>-1</sup>, respectivamente, demostrando que, los individuos jóvenes están en etapa de desarrollo.

En el área de regeneración los valores superiores se obtuvieron a partir de las categorías 10, 15, 20, 25, 30 y 35 cm de las cuales la biomasa es de 28.4, 25.7, 17.3, 14.3, 9.7 y 9 ton ha<sup>-1</sup>, con el carbono equivalente retenido de 14.19, 12.84, 8.64, 7.16, 4.85 y 4.48 ton ha<sup>-1</sup>.

En el área de conservación se agruparon los valores superiores en las categorías de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 y 45 cm donde los valores fueron de 39.14, 42.12, 32.13, 24.21, 15.76, 7.55, 6.63 y 6.07 ton ha<sup>-1</sup> de biomasa y de carbono almacenado son: 19.57, 21.06, 16.07, 12.11, 7.88, 3.78, 3.32 y 3.04 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Con base a los resultados expuestos, en el estudio de Esparza-Olguín & Martínez-Romero (2018) reportaron que para la vegetación tipo selva inundable el mayor contenido de biomasa y carbono almacenado resultó en la categoría diamétrica >31.5 cm correspondiendo a 46.85 ton B ha<sup>-1</sup> equivaliendo a 44.02 ton C ha<sup>-1</sup> siendo estos valores mayores a los reportados en este estudio, pero es importante mencionar que los resultados en general de las demás categorías diamétricas son menores. Los valores registrados por Esparza-Olguín (2019) por categorías diamétricas son menores a los reportados en el presente estudio, por ejemplo: para el sitio 1 en la categoría <2.5 cm mostraron 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 con dimensiones >5 a 9 cm presentan valores de 0.563 ton B ha<sup>-1</sup> equivaliendo 0.265 ton C ha<sup>-1</sup>.

#### 8.4 Biomasa – Carbono promedio

En base a los resultados de biomasa y de carbono almacenado en el presente estudio se obtuvieron los siguientes valores promedio: la aguada  $166.50 \pm 43$  ton B  $\text{ha}^{-1}$ , la equivalencia de carbono almacenado es de  $83.25 \pm 21$  ton  $\text{ha}^{-1}$ . El área de regeneración  $118.80 \pm 38$  ton B  $\text{ha}^{-1}$  con un total de  $59.40 \pm 19$  ton C  $\text{ha}^{-1}$ . El sitio de conservación  $182.59 \pm 75$  ton B  $\text{ha}^{-1}$  equivaliendo a  $91.30 \pm 37$  Ton C  $\text{ha}^{-1}$ ; Eaton y Lawrence (2009) realizaron un estudio en tres ejidos al sureste de México, reportan que en bosques secundarios con edad de tres años el valor de carbono calculado fue de  $4.8$  Mg  $\text{ha}^{-1}$  mientras que en bosques maduros fue de  $73.5$  Mg  $\text{ha}^{-1}$  ambas estimaciones resultan menores a las obtenidas para las áreas de la aguada y conservación, sin embargo, solamente en los bosques maduros resultó ser mayor en comparación a el área de regeneración. Ramírez-Guajardo (2015) cita de biomasa promedio  $106.28 \pm 5.10$  ton  $\text{ha}^{-1}$  cuyo equivalente fue  $57.60 \pm 2.55$  ton  $\text{ha}^{-1}$  de carbono almacenado siendo este valor menor a las áreas de la aguada y de conservación, pero para el sitio de regeneración se encuentra dentro de un rango similar. En otra investigación realizada al sur de la Península de Yucatán dentro de un bosque secundario tropical seco por parte de Dai *et al.*, (2014) reportan en promedio  $56.6$  Mg C  $\text{ha}^{-1}$  resultando ser menor a los obtenidos en los sitios del presente estudio de la aguada y conservación, pero similar con la zona de regeneración.

## 9. CONCLUSIONES

- La estructura de especies que se presentó en las áreas del Rancho San Miguel asemeja a la “J” invertida, en donde la mayor parte de los individuos se agrupan a partir de la categoría de 10 cm hasta los 35 cm, es decir individuos juveniles y en transición a adultos. El número menor de categorías diamétricas resultó en la aguada con 9 (5 – 45 cm), seguida por 12 (5 – 60 cm) en el área de regeneración y el mayor con 13 (5 – 65 cm) en conservación.
- Se registra para el área de la aguada un total de 45 especies, en el área de generación con 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 análisis estadístico de las medias del contenido de carbono entre las áreas, resultó diferencias estadísticas significativas, por lo que la hipótesis se acepta.
- 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.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Calderón, O. A. (2015). Manejo Forestal en el Siglo XXI. *Madera y Bosques*, 21, 17-28. <https://doi.org/10.21829/myb.2015.210423>
- Aguirre-Calderón, O. A., & Jiménez-Pérez, J. (2019). Evaluación del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(6), 73-84. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i6.575>
- 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>
- Ávila, G., Jiménez, F., Beer, J., Gómez, M. & Ibrahim, M. (2001). Almacenamiento, Fijación de Carbono y Valoración de Servicios Ambientales en Sistemas Agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas (CATIE)* 8(30) 32-35. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/11554/5765>
- Barrionuevo, S., A., Pan, E. & Ledesma, R. (2015). Ecosistemas implantados y cambio climático: estimación del CO<sub>2</sub> fijado en un rodal de *Pinus Halepensis* (millier) en Santiago del Estero, Argentina. *Foresta Veracruzana*, 17(1),27-32. ISSN: 1405-7247. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/497/49742125004.pdf>
- Batjes, N. H. (1998). Mitigation of atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations by increased carbon sequestration in the soil. *Biology and Fertility of Soils*, 27(3), 230-235. <https://doi.org/10.1007/s003740050425>
- Bautista-Hernández, J. & Torres-Pérez, A. J. (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. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/629/62990107.pdf>
- Benavides B., H. O., & León A, G. E. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, 61

Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá DC: nota técnica del IDEAM Subdirección de Meteorología. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>

- Bolin, B. (1970). The carbon cycle. *Scientific American* 223: 125-132.
- Bolin, B., B. R. Döös, J. Jäger, and R. A. Warrick. (1989). The greenhouse effect, climatic change, and ecosystems. *Scope* No 29. Wiley-Blackwell. Sedona, AZ, USA. ISBN-10:0471910120
- Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. *Fao, Montes* 134. Roma. 55 p. Obtenido de: [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=uv-ISezvitwC&oi=fnd&pg=PA1&dq=%E2%80%A2%09Brown,+S.+1997.+Estimating+biomass+and+biomass+change+of+tropical+forests.+A+primer.+Fao,+Montes+134.+Roma.+55+p.&ots=ODp6Pm6VAG&sig=C-yCUpDXGrUePs4KmKC8ky5ulrY&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=uv-ISezvitwC&oi=fnd&pg=PA1&dq=%E2%80%A2%09Brown,+S.+1997.+Estimating+biomass+and+biomass+change+of+tropical+forests.+A+primer.+Fao,+Montes+134.+Roma.+55+p.&ots=ODp6Pm6VAG&sig=C-yCUpDXGrUePs4KmKC8ky5ulrY&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Brown, S., & Lugo, A. E. (1992). Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia Caracas*, 17(1), 8-18. Obtenido de: [https://www.researchgate.net/publication/305348793\\_Aboveground\\_biomass\\_estimates\\_for\\_tropical\\_moist\\_forest\\_of\\_the\\_Brazilian\\_amazon](https://www.researchgate.net/publication/305348793_Aboveground_biomass_estimates_for_tropical_moist_forest_of_the_Brazilian_amazon)
- Brown, S., Gillespie, A. J., & Lugo, A. E. (1989). Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest science*, 35(4), 881-902. Obtenido de: <https://academic.oup.com/forestscience/article/35/4/881/4642515?login=true>
- Brown, S., Iverson, L. R., & Lugo, A. E. (1994). Land-Use and Biomass Changes of Forests in Peninsular Malaysia from 1972 to 1982: A GIS Approach. *Effects of Land-Use Change on Atmospheric CO<sub>2</sub> Concentrations*, 117-143. [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8363-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8363-5_4)
- Bruhwiler, L., Michalak, A. M., Birdsey, R., Fisher, J. B., Houghton, R. A., Huntzinger, D. N., & Miller, J. B. (2018). Chapter 1: Overview of the global

- carbon cycle. In N. Cavallaro, G. Shrestha, R. Birdsey, M. A. Mayes, R. G. Najjar, S. C. Reed, P. Romero-Lankao, and Z. Zhu (Eds.), *Second State of the Carbon Cycle Report (SOCCR2): A Sustained Assessment Report U.S. Global Change Research Program*, (42-70 pp), Washington, DC, USA. doi: 10.7930/SOCCR2.2018.Ch1
- Caamal-Sosa, J., Zaldívar, A., Adame, M. F., Teutli, C., Andueza, M. T., Pérez, R., & Herrera-Silveira, J. A. (2012). Almacenes de carbono en diferentes tipos ecológicos de manglares en un escenario cárstico. In F. Paz & R. Cuevas (Eds.), *Estado actual del Conocimiento. del ciclo del carbono y sus interacciones en México Síntesis a 2011* (887 pp.). Texcoco, Estado de México, México.
  - Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria*, 8(10). Recuperado de <https://biblat.unam.mx>
  - Cairns, M. A., Olmsted, I., Granados, J., & Arguez, 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)
  - Casiano-Domínguez, M., Paz-Pellat, F., Rojo-Martínez, M., Covalada-Ocon, S., & Aryal, D. R. (2018). El carbono de la biomasa aérea medido en cronosecuencias: primera estimación en México. *Madera y Bosques*, 24, 1-22. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401894>
  - Cepsa, D. (2015). El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en Cepsa Obtenido de: [https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp\\_Comp/Medio%20Ambiente\\_Seguridad\\_Calidad/Art%C3%ADculos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf](https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp_Comp/Medio%20Ambiente_Seguridad_Calidad/Art%C3%ADculos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf)
  - Chan Dzul, 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*. Tesis Doctoral.

*Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)*  
Turrialba, Costa Rica.

- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., ... Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Chave, J., Condit, R., Lao, S., Caspersen, J. P., Foster, R. B., & Hubbell, S. P. (2003). Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal of Ecology*, 91(2), 240-252. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2003.00757.x>
- Cifuentes J, M. (2010). *ABC del cambio climático en Mesoamérica*. Serie Técnica, Informe Técnico Número 383. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Programa Cambio Climático. Turrialba, Costa Rica. Pág 83. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11554/8371>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (2014). Inventario Estatal Forestal y de Suelos - Campeche 2013. Obtenido de: [https://www.academia.edu/28494428/Tabla\\_2\\_C\\_Ecuaciones\\_de\\_vol%C3%BAmenes\\_Campeche](https://www.academia.edu/28494428/Tabla_2_C_Ecuaciones_de_vol%C3%BAmenes_Campeche)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2008). [en línea] <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/selvaHumeda.html> [consulta: 23 agosto 2019].
- Cosgrove, B. (1994). *La atmósfera y el tiempo*. México: Biblioteca Visual Altea. Obtenido de: [https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Cambio\\_Climatico\\_una\\_vision\\_desde\\_Mexico.pdf#page=27](https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Cambio_Climatico_una_vision_desde_Mexico.pdf#page=27)
- Cuenca, M. E., Jadán, O., Cueva, K. & Aguirre, C. (2014). Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas, Amazonía Ecuatoriana. *CEDAMAZ*, 4 (1): 21-31. Recuperado a partir de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/226>

- Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An Upland Forest Continuum in the Prairie-Forest Border Region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476-496. <https://doi.org/10.2307/1931725>
- 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>
- Dale, V. H. (1994). *Effects of Land-Use Change on Atmospheric CO<sub>2</sub> Concentrations*. New York, Estados Unidos: Springer Publishing.
- De Camino, M. & Morales, J. (2013). Las Plantaciones de Teca en América Latina: Mitos y Realidades. Serie Técnica, Informe Técnico Número 397. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. FAO 392 p. Obtenido de <http://www.ibiologia.unam.mx/gela/tecalibro.pdf>
- De la Rosa, D. (2008). *Evaluación agro-ecológica de suelos*. Sevilla, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Delcourt, H. R., & Harris, W. F. (1980). Carbon Budget of the Southeastern U.S. Biota: Analysis of Historical Change in Trend from Source to Sink. *Science*, 210(4467), 321-323. <https://doi.org/10.1126/science.210.4467.321>
- 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(35), 11-28. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/154/15403501.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>
- Echeverri, L, C. A. (2006). Estimación de la emisión de gases de efecto invernadero en el municipio de Montería (Córdoba, Colombia). *Revista*

*Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(9), 85-96. Obtenido de:  
<https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/236/223>

- Esparza-Olguín, 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>
- Esparza-Olguín, 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>
- Figueroa-Navarro, C. M., Ángeles-Pérez, G., Velázquez-Martínez, A., & De los Santos-Posadas, H. M. (2010). Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de *Pinus patula* Schlttdl. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(1), 105-112. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v1i1.658>
- Fonseca, G. W., Alice G, F., & Rey-Benayas, J. M. (2009). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque (Valdivia)*, 30(1), 36-47. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002009000100006>
- 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>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2015). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO). (2020). Recuperado 2 de febrero de 2021. Obtenido de: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca8753es>
- Galeana-Pizaña, J. M., Ordóñez-Díaz, J. A. B., & Corona-Romero, N. (2013). Estimación de contenido de carbono en la cuenca del río Magdalena, México. *Madera y Bosques*, 19(1), 53-69. <https://doi.org/10.21829/myb.2013.191347>

- García, E. (1998). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Climas. Clasificación de Köppen, modificado por García. Escala 1: 1000000. México. [en línea] [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?\\_http\\_cache=yes&\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?_http_cache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no) [consulta: 23 agosto 2019]
- García, G, D. A., Jiménez P, J., Yereña, Y, J. I., Aguirre C, Ó. A., & Alanís R, E. (2019). Evaluación de carbono almacenado en una plantación de teca (*Tectona grandis* L. F.) en Tizimín, Yucatán, México. *Revista Ciencia UANL*, 22(97) <https://doi.org/10.29105/cienciauanl22.97-2>
- Garreaud, R. (2011). Cambio Climático: Bases físicas e impactos en Chile. *Revista Tierra Adentro*, 93(2), 1-14 Obtenido de [http://www.dgf.uchile.cl/rene/PUBS/inia\\_RGS\\_final.pdf](http://www.dgf.uchile.cl/rene/PUBS/inia_RGS_final.pdf)
- González-Ubierna, S., de la Cruz, M. T., & Casermeiro, M. A. (2015). How do biodegradable organic residues affect soil CO<sub>2</sub> emissions? Case study of a Mediterranean agro-ecosystem. *Soil and Tillage Research*, 153, 48-58. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.05.002>
- Griscom, B., Ganz, D., Virgilio, N., Price, F., Hayward, J., Cortez, R., ... & Stanley, B. (2009). *The hidden frontier of forest degradation: a review of the science, policy and practice of reducing degradation emissions*. Obtenido de: <https://www.conservationgateway.org/Documents/The%20Hidden%20Frontier%20of%20Forest%20Degradation.pdf>
- Hidalgo C., P. (2011). Determinación de las reservas totales de Carbono en un sistema agroforestal de la Selva Alta de Tingo María. *Aporte Santiaguino*, 4(1), 87-92. <https://doi.org/10.32911/as.2011.v4.n1.532>
- Honorio, C. E. N. & Baker, T. R. (2010). Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana / Universidad de Leeds. Lima, 54p. Obtenido de: [http://repositorio.iiap.gob.pe/bitstream/IIAP/290/1/Honorio\\_libro\\_2010.pdf](http://repositorio.iiap.gob.pe/bitstream/IIAP/290/1/Honorio_libro_2010.pdf)

- Houghton, R. & Hackler, J. (1994). The net flux of carbon from deforestation and degradation in South and Southeast Asia. Cap 7: 301-328 pp. In: Dale, V.H. (Ed.). Effects of land-use changes on atmospheric concentrations. South and Southeast Asia as a case study. New York: Springer-Verlag.
- 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>
- Hughes, R. F., Kauffman, J. B., & Jaramillo, V. J. (1999). Biomass, Carbon, and Nutrient Dynamics of Secondary Forests in a Humid Tropical Region of Mexico. *Ecology*, 80(6), 1892-1907. <https://doi.org/10.2307/176667>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). Summary for Policymakers. In T.F. Stocker, D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P.M. Midgley (Eds.) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 3–29). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, US
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate Change 2007. The Physical Science Basis*. Cambridge, UK. Cambridge University Press, 996 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)]. En: *Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del*

cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].

- Ketterings, Q. M., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagau, Y., & Palm, C. A. (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146(1-3), 199-209. [https://doi.org/10.1016/s0378-1127\(00\)00460-6](https://doi.org/10.1016/s0378-1127(00)00460-6)
- Kyrklund, B. (1990). Cómo pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. *Unasylva*, 163(41), 12-14.
- Lal, R. (2011). Soil Carbon Sequestration: *SOLAW Background Thematic Report – TR04B*. Roma: FAO. Recuperado de [http://www.fao.org/fileadmin/templates/solaw/files/thematic\\_reports/TR\\_04b\\_web.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/solaw/files/thematic_reports/TR_04b_web.pdf)
- López-Reyes, L. Y., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Zavala-Cruz, J., Gómez-Guerrero, A., & Posada-Cruz, S. (2016). Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) de diferentes edades. *Madera y Bosques*, 22(3), 49-60. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2231456>
- Lu, D. (2006). The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 27(7), 1297-1328. <https://doi.org/10.1080/01431160500486732>
- Ludevid, A. M. (1998). El cambio global en el medio ambiente: introducción a sus causas. Madrid: Boixareu. 99 p. Obtenido de: [http://fapur.uaemex.mx/images/FAPUR/LecturasCEDIAT/CA\\_junio2010.pdf](http://fapur.uaemex.mx/images/FAPUR/LecturasCEDIAT/CA_junio2010.pdf)
- Marcos-Reyes, J. L., Gil, D. M. L., Ortiz, S. J., Martínez, R. S., Garrido, L. F., Sánchez, S. L. F., & Ortiz S. L. (2016). Determinación de biomasa en parcelas de cultivos herbáceos mediante cámaras ópticas elevadas por medio de

- vehículos aéreos no tripulados (UAV). In *Proceedings of the 6th Ibero-American Congress on Qualitative Research (CIAIQ2016), Qualitative Research on Engineering and Technology* (Vol. 4).
- Martínez-Yrizar, A., Sarukhan, J., Pérez-Jiménez, A., Rincón, E., Maass, J. M., Solís-Magallanes, A., & Cervantes, L. (1992). Above-ground phytomass of a tropical deciduous forest on the coast of Jalisco, México. *Journal of Tropical Ecology*, 8(01), 87-96. <https://doi.org/10.1017/s0266467400006131>
  - McVay, K. A. & Rice, C. W. (2002). El carbono orgánico del suelo y el ciclo global del carbono. Recuperado de <http://www.bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/MF2548S.pdf>
  - Mostacedo, B., & Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal* (Daniel Nash ed.). Santa Cruz, Bolivia: El País. 87 pp. Obtenido de [www.bionica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf](http://www.bionica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf)
  - Nívar, J. (2009a). 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>
  - Nívar, J., Méndez, E., Nájera, A., Graciano, J., Dale, V., & Parresol, B. (2004). Biomass equations for shrub species of Tamaulipan thornscrub of North-eastern Mexico. *Journal of Arid Environments*, 59(4), 657-674. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.02.010>
  - Nordh, N. & Verwijst, T. (2004). Above-ground biomass assessments and first cutting cycle production in willow (*Salix* sp.) coppice—a comparison between destructive and non-destructive methods. *Biomass and Bioenergy*, 27(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.10.007>
  - Ordóñez, D. (1999). Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. *Instituto nacional de Ecología, SEMARNAP*. Desarrollo gráfico editorial. México, D.F. 72p. Obtenido de: [https://www.researchgate.net/publication/292788246\\_Captura\\_de\\_Carbono\\_en\\_un\\_Bosque\\_Templado\\_El\\_Caso\\_de\\_San\\_Juan\\_Nuevo\\_Michoacan](https://www.researchgate.net/publication/292788246_Captura_de_Carbono_en_un_Bosque_Templado_El_Caso_de_San_Juan_Nuevo_Michoacan)

- Ordóñez, J. A. B., & Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1), 3-12. <https://doi.org/10.21829/myb.2001.711314>
- Pacheco E., F. C., Aldrete A., Gómez G. A., Fierros G., A. M., Cetina-Alcalá, V. M., Vaquera H., H. (2007). Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30(3) 251-254. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/610/61003006.pdf>
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., ... 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>
- Patenaude, G., Milne, R., & Dawson, T. P. (2005). Synthesis of remote sensing approaches for forest carbon estimation: reporting to the Kyoto Protocol. *Environmental Science & Policy*, 8(2), 161-178. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2004.12.010>
- Paz-Pellat, F., Romero-Benítez, V. M., Argumedo-Espinoza, J. A., Bolaños-González, M., de Jong, B., de la Cruz-Cabrera, J. C., & Velázquez-Rodríguez, A. (2019). Capítulo 23: Dinámica del uso del suelo y vegetación. *Estado del Ciclo del Carbono en México: Agenda Azul y Verde. Programa Mexicano del Carbono. Texcoco, Estado de México*, 529-572.
- Pearson, T. R. H., Brown, S., Murray, L., & Sidman, G. (2017). Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. *Carbon Balance and Management*, 12(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13021-017-0072-2>
- Pech-Cárdenas M. & Herrera-Silveira J. (2017). Almacenes de carbono orgánico aéreo en manglares sometidos a perturbaciones naturales. Programa Mexicano del Carbono (PMC). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México. Síntesis*, 2017. Pág 524. [fecha de consulta 06 de febrero de 2020].
- Phillips, O. L., Malhi, Y., Higuchi, N., Laurance, W. F., Núñez, P. V., Vásquez, R. M., ... & Grace, J. (1998). Changes in the Carbon Balance of Tropical

Forests: Evidence from Long-Term Plots. *Science*, 282(5388), 439-442.  
<https://doi.org/10.1126/science.282.5388.439>

- 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, Rome, Montpellier, 223 p. Obtenido de: <http://www.fao.org/3/i3058s/i3058s.pdf>
- Porrúa, M. E. (2001). Cambio climático global: causas y consecuencias. *Revista de Información y Análisis*, 16, 7-17. Obtenido de: <https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGTS/MGTS15/MGTSV15-02/SEMANA3/climatico.pdf>
- Puc-Kauil, R., Ángeles-Pérez G. & García-Cuevas X. (2015). Biomasa y Carbono aéreo en bosques tropicales secundarios de la Península de Yucatán. *Programa Mexicano del Carbono (PMC). VI Simposio Internacional del Carbono en México* pág. 43. Obtenido de: [http://pmcarbono.org/pmc/simposio/files/Memorias\\_Res\\_Cortos-2015.pdf](http://pmcarbono.org/pmc/simposio/files/Memorias_Res_Cortos-2015.pdf)
- Ramírez R, G., Dupuy R, J. M., Ramírez y A, L., & Solorio S, F. J. (2017). Evaluación de ecuaciones alométricas de biomasa epigea en una selva mediana subcaducifolia de Yucatán. *Madera y Bosques*, 23(2), 163-179. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2321452>
- Ramírez-Guardado, M. A. (2015). *Estimación del carbono retenido en la biomasa aérea en una selva tropical de Yucatán, México*. Tesis Doctoral, Centro de Investigación Científica de Yucatán, México.
- Read, L. & Lawrence, D. (2003). Recovery of biomass following shifting cultivation in dry tropical forests of the Yucatan. *Ecological Applications*, 13(1), 85-97. Obtenido de: [https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1890/1051-0761%282003%29013%5B0085%3AROBFSC%5D2.0.CO%3B2?casa\\_tok=en=zguV8yZp9jsAAAAA%3A750K4INO65T1MjoDTskZ4ako4ZUNWTvyrLs8XxMC1W9ixxGd3TqWXq2x4VrvrKS2ixRSocmuDWIRzrhz](https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1890/1051-0761%282003%29013%5B0085%3AROBFSC%5D2.0.CO%3B2?casa_tok=en=zguV8yZp9jsAAAAA%3A750K4INO65T1MjoDTskZ4ako4ZUNWTvyrLs8XxMC1W9ixxGd3TqWXq2x4VrvrKS2ixRSocmuDWIRzrhz)

- Reyes D G, J., García G, G., & Castillo A, O. (2001). Uso del suelo y transformación de selvas en un ejido de la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México. *Investigaciones Geográficas*, 1(44), 11–28. <https://doi.org/10.14350/rig.59134>
- Rivera, M. A. (1999). El cambio climático. México: Colección Tercer Milenio, CNCA. Obtenido de: [https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Cambio\\_Climatico\\_una\\_vision\\_desde\\_Mexico.pdf#page=27](https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Cambio_Climatico_una_vision_desde_Mexico.pdf#page=27)
- 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 (2) 215 -222. Obtenido de: <http://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/127/59>
- Rodríguez-Ortiz, G., De Los Santos-Posadas, H. M., González-Hernández, V. A., Aldrete, A., Gómez-Guerrero, A., & Fierros-González, A. M. (2012). Modelos de biomasa aérea y foliar en una plantación de pino de rápido crecimiento en Oaxaca. *Madera y Bosques*, 18(1), 25-41. <https://doi.org/10.21829/myb.2012.1811116>
- Schimel, D.S. (1995). Terrestrial Ecosystems and the Carbon Cycle. *Global Change Biology*. 1(1), 77-91. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.1995.tb00008.x>
- Schlegel, B. (2001). Estimación de la biomasa en bosques de tipo forestal siempreverde. In *Memorias del Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Valdivia, Chile.
- Schlegel, B., Gayoso, J. & Guerra, J. (2000). Manual de Procedimientos: Muestreos de biomasa forestal. Proyecto Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF D98I1076. Valdivia – Chile. 26 pp.
- Sedjo, R. (1990). ¿The global carbon cycle: are the forest the missin sink?. *Journal of Forestry* 88(10): 33-34.

- Smith, T. M., Cramer, W. P., Dixon, R. K., Leemans, R., Neilson, R. P., & Solomon, A. M. (1993). The global terrestrial carbon cycle. *Water, Air, and Soil Pollution*, 70(1), 19-37. Obtenido de: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01104986>
- Solano, D., Vega, C., Eras, V. H., & Cueva, K. (2014). Generación de modelos alométricos para determinar biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluviestacional del Ecuador. *Revista Cedamaz*, 4(1). Obtenido de: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/227>
- Stuiver, M. (1978). Atmospheric Carbon Dioxide and Carbon Reservoir Changes. *Science*, 199(4326), 253-258. <https://doi.org/10.1126/science.199.4326.253>
- Suplee, C. (1998). Diseñando el enigma del clima. *National Geographic* 2(5): 38-70. Obtenido de: [https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Cambio\\_Climatico\\_una\\_vision\\_desde\\_Mexico.pdf#page=27](https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Cambio_Climatico_una_vision_desde_Mexico.pdf#page=27)
- 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>
- Tecu-Bravo J. I., Navarrete-Yabur, A., Barahona-Pérez L. F., y Mijangos-Cortés, J. O. (2014). Captura de carbono y producción de biomasa de germoplasma de *Jatropha curcas* en Yucatán, México. In *Programa Mexicano del Carbono (PMC). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México*. Síntesis, 2014. Pág 38. Obtenido de: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=ria&uact=8&ved=2ahUKEwi7s6P1hoLvAhWVZM0KHe8iCCMQFjAAegQIAxAD&url=http%3A%2F%2Fpmmc.org%2Fpmmc%2Fpublicaciones%2FLibro\\_Merida\\_2014\\_PMC\\_ISBN-web.pdf&usg=AOvVaw2RtHTohujVaWYzk6XwpwS3](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=ria&uact=8&ved=2ahUKEwi7s6P1hoLvAhWVZM0KHe8iCCMQFjAAegQIAxAD&url=http%3A%2F%2Fpmmc.org%2Fpmmc%2Fpublicaciones%2FLibro_Merida_2014_PMC_ISBN-web.pdf&usg=AOvVaw2RtHTohujVaWYzk6XwpwS3)

- Tipper, R. (2000). Carbon offsets from forestry projects in developing countries. Report commissioned by the Department of the Environment, Transport, and Regions. ECCM, Edimburgo. 27 pp.
- Toledo, V.M. (1992). Cambio climático y deforestación en los trópicos. *Ciencia* 43 (Número especial): 129-234.
- Urquiza-Haas, T., Dolman, P. M., & Peres, C. A. (2007). Regional scale variation in forest structure and biomass in the Yucatan Peninsula, Mexico: Effects of forest disturbance. *Forest Ecology and Management*, 247(1-3), 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.04.015>
- Vargas, R., Allen, E. B., & Allen, M. F. (2009). Effects of Vegetation Thinning on Above- and Belowground Carbon in a Seasonally Dry Tropical Forest in Mexico. *Biotropica*, 41(3), 302-311. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00494.x>
- Vargas, R., Allen, M. F., & Allen, E. B. (2008). Biomass and carbon accumulation in a fire chronosequence of a seasonally dry tropical forest. *Global Change Biology*, 14(1), 109-124. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01462.x>
- Voituriez, B. (1994). La atmósfera y el clima. Barcelona: Colección Conocer la Ciencia. RBA Editores. Obtenido de: [https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Cambio\\_Climatico\\_una\\_vision\\_desde\\_Mexico.pdf#page=27](https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Cambio_Climatico_una_vision_desde_Mexico.pdf#page=27)
- Woodwell, G. M., Whittaker, R. H., Reiners, W. A., Likens, G. E., Delwiche, C. C., & Botkin, D. B. (1978). The Biota and the World Carbon Budget. *Science*, 199(4325), 141-146. <https://doi.org/10.1126/science.199.4325.141>
- Wright, S. J. (2010). The future of tropical forests. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1195(1), 1-27. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05455.x>
- Wright, S. J., & Muller-Landau, H. C. (2006). The Future of Tropical Forest Species1. *Biotropica*, 38(3), 287-301. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2006.00154.x>

- Yam, O. W. (2012). *Estimación de biomasa aérea arbórea en un paisaje de selva mediana subcaducifolia en el Sur del estado de Yucatán*. Tesis Doctoral dissertation. Centro de Investigación Científica de Yucatán, AC Mérida, Yucatán, México.
- 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. Obtenido de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-27682008000200002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-27682008000200002&script=sci_arttext)
- 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>
- Zheng, D., Rademacher, J., Chen, J., Crow, T., Bresee, M., Le Moine, J., & Ryu, S. R. (2004). Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA. *Remote Sensing of Environment*, 93(3), 402-411. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.08.008>