



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**“SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CARBONO ALMACENADO EN  
MANGLARES: UNA LA SOLUCIÓN SOMOS TODOS EN TABASCO”**

**GUSTAVO MARÍN CRUZ**

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2019



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas  
Campeche-Córdoba-Montecillo-Puebla-San Luis Potosí-Tabasco-Veracruz

## CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Gustavo Marín Cruz**, alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección de la Profesora **Dra. Marivel Domínguez Domínguez**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis “**Servicio ecosistémico de carbono almacenado en manglares: UMA La Solución Somos Todos en Tabasco**” y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, La Consejera o Directora de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

H. Cárdenas, Tabasco, a 28 de junio de 2019.

Gustavo Marín Cruz

---

Nombre completo y firma

Dra. Marivel Domínguez Domínguez

---

Vo. Bo. Profesora Consejera o Directora de Tesis

La presente tesis titulada: “**SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CARBONO ALMACENADO EN MANGLARES: UMA LA SOLUCIÓN SOMOS TODOS EN TABASCO**”, realizada por el alumno: **Gustavo Marín Cruz**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA:   
DRA. MARIVEL DOMÍNGUEZ DOMÍNGUEZ

ASESOR:   
DR. CÉSAR JESÚS VÁZQUEZ NAVARRETE

ASESOR:   
DR. PABLO MARTÍNEZ ZURIMENDI

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO A 28 DE JUNIO DE 2019

# SERVICIO ECOSISTÉMICO DE CARBONO ALMACENADO EN MANGLARES: UMA LA SOLUCIÓN SOMOS TODOS EN TABASCO.

Gustavo Marín Cruz, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2019.

## RESUMEN

Los manglares son ecosistemas tropicales que generan una amplia gama de servicios ecológicos fundamentales para el sustento de la sociedad y para la biota que la habita, tienen la capacidad de almacenar carbono en su biomasa aérea. Por ello, el objetivo de este trabajo fue determinar la biomasa aérea de las especies *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa* en la Unidad de Manejo Ambiental (UMA) La Solución Somos Todos, Paraíso, Tabasco. El inventario forestal se realizó en el 2015 en 8 rodales de la superficie bajo manejo, donde se inventariaron 1,654 árboles midiendo el diámetro normal en *L. racemosa* y *A. germinans*, y a 30 cm arriba de la raíz en *R. mangle*. Para la estimación de biomasa aérea se utilizaron ecuaciones alométricas; posteriormente se calculó el carbono almacenado a través de la biomasa promedio del bosque con un factor de conversión de 0.464 y se determinó el índice de sitio de los ocho rodales. También se determinó el índice de valor de importancia para las tres especies. El valor económico del carbono almacenado se estimó utilizando el precio promedio de los créditos de carbono de Latinoamérica negociados en los mercados voluntarios de carbono (3.8USD·MgCO<sub>2e</sub>) con un factor de conversión de 1 MgC = 3.67 MgCO<sub>2</sub> que equivale a 13.93 USD·MgC<sup>-1</sup> por su equivalente de carbono. La existencia de carbono presente en el ecosistema se consideró para la superficie total ocupada de manglar en la UMA, considerando el precio de mercado del carbono.

La especie con mayor biomasa aérea fue *A. germinans* por tener los diámetros mayores dentro de la UMA. La biomasa aérea acumulada de las tres especies fue 141.8 Mg·ha<sup>-1</sup> y 65.9 MgC·ha<sup>-1</sup>, la biomasa aérea total acumulada en la UMA fue 245,314 Mg. y 113,826 MgC almacenado. Los rodales 3 y 4 presentaron mayor capacidad productiva, índice de sitio de 18.8 y 18.9 m y clase media-alta para *L.*

*racemosa*. El rodal 7 tuvo mayor índice de sitio 17 m para *R. mangle* con clase media-alta, por consecuencia del cambio de uso suelo en zonas donde se encuentran pozos petroleros, afectando directamente a su capacidad de almacenamiento. *A. germinans* presentó clase media-baja en los ocho rodales, pero con diámetros de hasta 114 cm, mayores a las otras dos especies. La especie con mayor índice de valor de importancia fue *L. racemosa* en la UMA con 43 % debido a la frecuencia y dominancia de la especie en los ocho rodales. El valor monetario de la UMA por almacenamiento de carbono fue 12,709,600 USD, equivalente a 243,439,678 MX. El valor económico por hectárea por año fue de 69.65 USD·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup> que equivale a 1,333.80 MX ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** *Avicennia germinans*, biomasa aérea, carbono almacenado, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, valoración económica.

# ECOSYSTEM SERVICE OF CARBON STORED IN MANGROVES: UMA LA SOLUCIÓN SOMOS TODOS IN TABASCO.

Gustavo Marín Cruz, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2019.

## ABSTRACT

Mangroves are tropical ecosystems that generate a wide range of essential ecological services for the sustenance of society and biota that have the capacity to store the content in their aerial biomass. Therefore, the objective of this work was to determine the aerial biomass of the species *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* and *Laguncularia racemosa* in the Environmental Management Unit (UMA) La Solución Somos Todos, Paraíso, Tabasco. The forest inventory was carried out in 2015 in 8 stands of the area under management, where 1,654 trees were inventoried in the normal center in *L. racemosa* and *A. germinans*, and 30 cm above the root in *R. mangle*. Allometric equations are used to estimate aerial biomass; The carbon stored through the average biomass of the forest was then calculated with a conversion factor of 0.464 and the site index of the eight stands was determined. The value index of importance for the three species was also determined. The economic value of the stored carbon is estimated the average price of the Latin American credits negotiated in the voluntary carbon markets (\$ 3.8USD·MgCO<sub>2e</sub>) with a conversion factor of 1 MgC = 3.67 MgCO<sub>2</sub> which is equivalent to 13.93 USD·MgC<sup>-1</sup> for its carbon equivalent. The existence of carbon present in the ecosystem refers to the total occupied area of mangrove in the UMA, at the prices of the carbon market.

The species with the highest aerial biomass was *A. germinans* because it had the largest diameters within the UMA. The accumulated aerial biomass of the three species was 141.8 Mg·ha<sup>-1</sup> and 65.9 MgC·ha<sup>-1</sup>, the total aerial biomass accumulated in the UMA was 245.314 Mg. and 113,826 MgC stored. The stands 3 and 4 presented higher productive capacity, site index of 18.8 and 18.9 m and upper-

middle class for *L. racemosa*. The stand 7 had a higher site index of 17 m for *R. mangle* with medium-high class, as a result of the change in land use in areas where oil wells are located, directly affecting its storage capacity.

*A. germinans* presented lower-middle class in the eight stands, but with diameters of up to 114 cm, greater than the other two species. The species with the highest importance value index was *L. racemosa* in the UMA with 43 % due to the frequency and dominance of the species in the eight stands. The monetary value of the UMA for carbon storage was 12,709,600USD, equivalent to 243,439,678 M.N. The economic value per hectare per year was 69.65 USD·ha<sup>-1</sup>·year<sup>-1</sup>, equivalent to 1,333.80 MX ha<sup>-1</sup>·year<sup>-1</sup>.

**Key words:** Aerial biomass, *Avicennia germinans*, economic valuation, stored carbon, *Laguncularia ramosa*, *Rhizophora mangle*.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al **CONACyT** por la beca otorgada para la culminación de este trabajo de investigación.

Al **Colegio de Postgraduados Campus Tabasco** por darme la oportunidad de realizar la Maestría en Ciencias.

A la **Dra. Marivel Domínguez Domínguez** por el apoyo proporcionado como consejera de tesis para culminar satisfactoriamente el trabajo de investigación. Agradezco su amistad, confianza y paciencia durante el tiempo que duró la maestría.

A mi **consejo particular** de tesis: Dr. Pablo Martínez Zurimendi y Dr. César J. Vázquez Navarrete por compartir sus experiencias y conocimientos para la realización de la tesis.

A mis padres, a mis hermanos, tíos(as) y personas importantes en mi vida personal que saben demostrar su apoyo y cariño.

A mi compañera y amiga de laboratorio Irma Elisa por su apoyo y gratas experiencias durante el tiempo transcurrido de la maestría.

## DEDICATORIA

**A Dios**, por darme la vida, brindarme su favor y las múltiples bendiciones día con día.

**A mis padres** Eduardo Marín Cruz y Herlinda Cruz Quintero, quienes me brindan su apoyo y amor incondicional para guiarme hacia la meta como profesionista y ser humano.

**A mi tía Juanita Cruz Quintero** por ser pieza fundamental en mi vida profesional, demostrándome siempre su apoyo hacia mi persona y sus buenos consejos en todo momento.

**A mis hermanos** Lizardo Marín Cruz, José E. Marín Cruz y Alonso Marín Cruz por su apoyo en todo tiempo.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	viii
<b>DEDICATORIA</b> .....	ix
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	xii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xii
<b>1. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
<b>1.1. REFERENCIAS</b> .....	4
<b>1.2. OBJETIVOS</b> .....	6
1.2.1. General.....	6
1.2.2. Particulares.....	6
<b>1.3. HIPÓTESIS</b> .....	6
<b>2. ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CONTENIDO DE CARBONO EN ESPECIES DE MANGLAR EN LA UMA LA SOLUCIÓN SOMOS TODOS, EN EL SURESTE DE MÉXICO.</b> .....	7
<b>2.1. RESUMEN</b> .....	7
<b>2.2. ABSTRACT</b> .....	8
<b>2.3. INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>2.4. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	12
2.4.1. Medición del diámetro a la altura del pecho (DBH) .....	15
2.4.2. Estimación de la biomasa aérea .....	15
2.4.3. Estimación de carbono almacenado .....	15
2.4.4. Índice de sitio.....	16
2.4.5. Índice de valor de importancia (IVI) .....	17
<b>2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	18
2.5.1. Distribución de diámetro-altura .....	18
2.5.2. Determinación del área basimétrica.....	20
2.5.3. Biomasa aérea (BA) en los ocho rodales .....	20

2.5.4. Estimación de carbono almacenado .....	23
2.5.5. Determinación de los índices de sitio en el manglar de la Laguna Mecoacán La Solución Somos Todos.....	26
2.5.6. Determinación de índice de valor de importancia (IVI) en el manglar de la UMA La Solución Somos Todos. ....	27
<b>2.6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>29</b>
<b>2.7. REFERENCIAS .....</b>	<b>30</b>
<b>3. VALORACIÓN ECONÓMICA DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA DE LOS MANGLARES DE LA UMA LA SOLUCIÓN SOMOS TODOS, EN EL SURESTE DE MÉXICO. ....</b>	<b>37</b>
<b>3.2. ABSTRACT .....</b>	<b>38</b>
<b>3.3. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>39</b>
<b>3.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>42</b>
3.4.1. Estimación del valor económico del carbono almacenado en manglares de la UMA La Solución Somos Todos. ....	44
<b>3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>44</b>
<b>3.5.1. Determinación del valor económico carbono almacenado en la UMA La Solución Somos Todos.....</b>	<b>45</b>
<b>3.6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>3.7. REFERENCIAS .....</b>	<b>48</b>
<b>4. CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>53</b>

## LISTA DE CUADROS

### CAPITULO II

<b>Cuadro 1.</b> Ecuaciones alométricas empleadas para la estimación de la biomasa aérea en función del diámetro (Smith y Whelan 2006): .....	15
<b>Cuadro 2.</b> Área basimétrica para las tres especies de mangle en los ocho rodales evaluados. ....	20
<b>Cuadro 3.</b> Biomasa aérea promedio para las tres especies de mangle en los ocho rodales. ....	22
<b>Cuadro 4.</b> Carbono almacenado promedio para las tres especies de mangle en los ocho rodales. ....	23
<b>Cuadro 5.</b> Biomasa aérea y carbono promedio reportados para diferentes bosques. ....	25
<b>Cuadro 6.</b> Definición de los índices de sitio tipo de los manglares de Tabasco. ...	26
<b>Cuadro 7.</b> Índice de valor de importancia (IVI) para las tres especies de mangle en los ocho rodales. ....	28

### CAPITULO III

<b>Cuadro 1.</b> Valoración económica de carbono almacenado para cada especie .....	46
<b>Cuadro 2.</b> Valoración económica de carbono almacenado en la UMA. ....	46

## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO II

<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de la UMA La Solución Somos Todos, Paraíso, Tabasco .....	13
<b>Figura 2.</b> Rodales de manglares en la UMA La Solución Somos Todos, Paraíso Tabasco. ....	14
<b>Figura 3.</b> Distribución de altura y diámetro de los árboles de <i>L. racemosa</i> . ....	18
<b>Figura 4.</b> Distribución de altura y diámetro de los árboles de <i>R. mangle</i> . ....	19
<b>Figura 5.</b> Distribución de altura y diámetro de los árboles de <i>A. germinans</i> . ....	19

**Figura 6.** Densidad de arbolado por especie en los 8 rodales. ....21

**Figura 7.** Índice de sitio para las tres especies de mangle evaluadas en los ocho rodales de la UMA La Solución Somos Todos. ....27

### **CAPITULO III**

**Figura 1.** Ubicación geográfica de la UMA La Solución Somos Todos .....43

## **CAPITULO I.**

### **1. INTRODUCCIÓN GENERAL**

Los manglares son bosques conformados por árboles y arbustos que se caracterizan por su habilidad para crecer y prosperar a lo largo de litorales, poseen mecanismos que les permiten eliminar el exceso de sal (NaCl) del agua, por lo cual han desarrollado tolerancia a suelos anegados y con alta salinidad (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2011). Son humedales costeros que ocupan un lugar privilegiado por su riqueza natural y los servicios ambientales que prestan, su importante papel ecológico ha sido reconocido internacionalmente (CONABIO 2008). Son ecosistemas valiosos que enfrentan alteraciones severas, como la contaminación por parte de las industrias y desastres naturales que afectan su estructura y función.

Su importancia ecológica reside en las funciones que desempeñan en la estabilización y protección de las líneas costeras, proporcionando un área de cría y alimentación de numerosas especies de peces y crustáceos, hábitat para cangrejos y moluscos y lugares de anidamiento de aves costeras (CONABIO, 2014). El almacenamiento de carbono es uno de los servicios más importantes de los ecosistemas de manglar en las áreas costeras de México. Esta productividad contribuye a disminuir el CO<sub>2</sub> atmosférico y mitigar el cambio climático (Ochoa-Gómez, 2014).

Las especies de manglar han evolucionado en gran manera para adaptarse al ambiente de las zonas intermareales de las costas. La distribución, composición y fisonomía de estos ecosistemas están influidas por los cambios latitudinales en la temperatura y la precipitación, pero localmente dependen de la geomorfología, el substrato, la salinidad y la inundación (López y Ezcurra 2002).

México abarca 1.7 % del territorio terrestre en el planeta y posee 10 % de la biodiversidad conocida. Sus ecosistemas prestan importantes servicios, tales como el almacenamiento de carbono, la provisión y mantenimiento del agua, la conservación del hábitat para la permanencia de especies, la reducción de los

impactos de los desastres meteorológicos, y la formación y preservación del suelo, que son indispensables para enfrentar el cambio climático (SEMARNAT, 2014).

México en 2015, contaba con 775,555 ha de bosque de manglar distribuidos en todas sus costas (Valderrama-Landero *et al.*, 2017). De acuerdo a Valderrama *et al.*, (2014) se habían perdido 81,711 ha en 25 años, por lo que esta degradación contribuyó significativamente en las emisiones de gases de efecto invernadero. Tabasco ocupa una amplia extensión de manglares, pues existen 45,410 hectáreas distribuidas en la parte posterior del cordón litoral bordeando las lagunas que se extienden en paralelo a la costa; los municipios que cuentan con mayor superficie de manglar en el estado son: Centla, Paraíso, Comalcalco, Cárdenas, Jalpa de Méndez y Huimanguillo; las especies de mangle existentes en el estado son *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Avicennia germinans* (mangle negro) y *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo) (Spalding *et al.*, 2010; Domínguez *et al.*, 2011; Valderrama *et al.*, 2017). Existen diversas comunidades en estos municipios que han permanecido en relación con el manglar para su manejo y el aprovechamiento de los recursos que el ecosistema brinda, como es el caso de los Ejidos La Solución Somos Todos, Las Flores, Chiltepec, Jalapita y Gurría Ordóñez, en el municipio de Paraíso; El Golpe en Cárdenas; los ejidos la Victoria y Cuauhtémoc en Centla (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2011).

El impacto negativo de la actividad antropogénica en los ecosistemas de manglar ha generado problemas ambientales derivados de los aprovechamientos forestales anárquicos en algunas comunidades, así como también de la industria petrolera. Esto ha ocasionado que quede prohibida cualquier actividad que ponga en peligro la existencia del manglar, quedando solo permitidas las actividades de restauración, protección e investigación en dichos ecosistemas.

Los principales Gases de Efecto Invernadero (GEI) emitidos por la actividad humana a nivel mundial son el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), Ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Saynes-Santillán *et al.*, 2016). Los

combustibles fósiles contribuyen mayoritariamente a la generación de los GEI emitidos en el mundo (Andress *et al.*, 2011). En 2011 se emitieron 31.6 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>, cifra que representó un incremento de 3.2 % con respecto al 2010 (Granados-Hernández *et al.*, 2015). En la actualidad National Oceanic and Atmospheric Administration reporta una media mundial de 408.75 ppm (NOAA, 2018).

Ante el cambio climático se han generado esfuerzos y compromisos a nivel mundial para reducir la quema de combustibles fósiles y combatir la deforestación creciente que provienen de actividades económicas donde el hombre es el principal responsable. La concentración de CO<sub>2</sub> antes de la era industrial, se encontraba en forma natural en el orden de 280 ppm de moléculas en el aire,

Los manglares generan un servicio ecosistémico importante para la mitigación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera conocido como almacenamiento de carbono. Para mitigar los altos porcentajes de CO<sub>2</sub> en la atmósfera; el bosque de manglar absorbe el CO<sub>2</sub> mediante el proceso de la fotosíntesis, fijando el carbono en la biomasa y liberando el oxígeno a través de un ciclo natural. Este servicio convierte a los manglares en importantes sumideros de carbono reconocido como parte del interés de conservación a nivel mundial.

En el protocolo de Kyoto se establecieron los mecanismos de mercado para incentivar las transacciones de CO<sub>2</sub>, con el fin de reducir las emisiones de los Gases de efecto invernadero, por parte de aquellos países que son responsables de las mayores emisiones por su gran industrialización. Los cambios favorables a nivel legislativo en beneficio al ecosistema de manglar, han servido para que la gente tenga la oportunidad de conservar y aprovechar los manglares como lo marca la Ley General de Vida Silvestre (SEMARNAT, 2018), para la obtención de un ingreso económico y sustento de sus familias.

Con base en esto, el presente estudio tiene como objetivo cuantificar el carbono almacenado en la biomasa aérea de tres especies de mangle utilizando modelos alométricos y valorar económicamente el almacenamiento de carbono como

servicio ecosistémico en el Ejido La Solución Somos Todos, con el objetivo de que los tomadores de decisiones implementen acciones en beneficio del ecosistema y se refuercen los trabajos de conservación y aprovechamiento de manera controlada, permitiendo mitigar las consecuencias del cambio climático y a su vez la obtención del sustento económico de las familias.

## 1.1. REFERENCIAS

Andres, R. J., Gregg, J. S., Losey, L., Marland, G., y Boden T. A. 2011. Monthly, global emissions of carbon dioxide from fossil fuel consumption. *Tellus*, 63 (3): 309–327.

CONABIO. 2008. Manglares de México. 33 p. Consultado en: <http://www.conabio.gob.mx/conocimientos/manglares/doctos/manglares>.

CONABIO. 2014. Manglares de México. 33 p. Consultado en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares>. Fecha de consulta: 30 de noviembre 2018.

Domínguez-Domínguez, M., Zavala-Cruz, J., y Martínez-Zurimendi, P. 2011. Manejo forestal sustentable de los manglares de Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México. 137 p.

Granados-Hernández, H., Bravo-Álvarez, R., Sosa-Echeverría, X., López-Andrade, C., García-Landa, C., y Sánchez-Álvarez, P. 2015. Consumo de energía y emisiones de bióxido de carbono del sector refinación de petróleo en México de 2015 a 2030. *Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16 (4): 503-513.

López J., y Ezcurra, E. 2002. Los Manglares de México una revisión. *Madera y Bosques*, número especial: 27-51.

NOAA, 2018. Versión de difusión sobre cambio climático y gases de efecto invernadero 30-06-2018. National Oceanic and Atmospheric Administration.

- Ochoa-Gómez, J. G. 2014. Estructura y productividad de manglar de Balandra BCS, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Saynes-Santillán, V., Etchevers-Barra, J. D., Paz-Pellat, F., y Alvarado-Cárdenas, L. O. 2016. Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana*, 34: 83-96.
- SEMARNAT. 2014. Versión de Difusión del Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC 2014-2018) [en línea]. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: [http://www.cenapred.unam.mx/es/documentosWeb/Avisos/cambio\\_climatico.pdf](http://www.cenapred.unam.mx/es/documentosWeb/Avisos/cambio_climatico.pdf).
- SEMARNAT. 2018. Ley General de vida silvestre 2000. Última reforma publicada DOF 19-01-2018 [en línea]. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Spalding, M., Kainuma, M., y Collins, L. 2010. Word atlas of mangroves. London, UK and Washington, DC: USA: Earthscan.
- Valderrama, L., Troche, C., Rodríguez, M. T., Márquez, D., Vázquez, B., Velázquez, S., Vázquez, A., Cruz, M. I., y Ressler, R. 2014. Evaluation of mangrove cover changes in Mexico during the 1970-2005 period. *Wetlandsk*, 34 (4): 747-758.
- Valderrama-Landeros, L. H., Rodríguez-Zúñiga, M. T., Troche-Souza, C., Velázquez-Salazar, S., Villeda-Chávez, E., Alcántara-Maya, J. A., Vázquez-Balderas, B., Cruz-López, M. I., y Ressler, R. 2017. Manglares de México: actualización y exploración de los datos del sistema de monitoreo 1970/1980–2015. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. 128 pp.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. General**

Cuantificar la importancia económica del carbono almacenado en la biomasa aérea de tres especies de mangle en la UMA La Solución Somos Todos.

### **1.2.2. Particulares**

- I. Cuantificar el carbono almacenado en la biomasa aérea de tres especies de mangle utilizando modelos alométricos.
- II. Estimar el valor económico del carbono almacenado en la biomasa aérea como servicio ecosistémico.
- III. Determinar el índice de sitio de los ocho rodales para las tres especies de mangle.
- IV. Determinar el índice de valor de importancia de las tres especies de mangle en los ocho rodales.

## **1.3. HIPÓTESIS**

Hipótesis alternativa:

La especie *A. germinans* almacena más carbono en la biomasa aérea que *L. racemosa* y *R. mangle*.

*Avicennia germinans* presenta mayor valor económico en el almacenamiento de carbono de la biomasa aérea.

## CAPITULO II.

### 2. ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CONTENIDO DE CARBONO EN ESPECIES DE MANGLAR EN LA UMA LA SOLUCIÓN SOMOS TODOS, EN EL SURESTE DE MÉXICO.

Marín-Cruz, Gustavo<sup>1</sup>, Domínguez-Domínguez, Marivel<sup>2</sup>, Martínez-Zurimendi, Pablo<sup>3</sup>, Vázquez-Navarrete, César J.<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Programa docente de Posgrado en Producción Agroalimentaria en el Trópico. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Área Ambiente. Periférico Carlos A. Molina s/n, Carretera Cárdenas-Huimanguillo Km 3.5, H. Cárdenas, Tabasco.

<sup>3</sup> El Colegio de la Frontera Sur. Km. 15.5 carr. Villahermosa-Reforma. 86280, R. Guineo, 2ª secc, Villahermosa, Tabasco, México.

#### 2.1. RESUMEN

Los manglares son ecosistemas más productivos que la mayoría de los bosques tropicales y son conocidos por su alta capacidad de almacenamiento de carbono, razón por lo cual, esta investigación tuvo como propósito determinar la biomasa aérea y contenido de carbono de tres especies de mangle *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans* de la Unidad de Manejo Ambiental La Solución Somos Todos, Paraíso, Tabasco en el sureste de México. Este estudio busca estimar el carbono almacenado para que los ejidatarios tomen decisiones para conservar y proteger el ecosistema del manglar. Para la estimación de biomasa aérea y carbono almacenado en las tres especies se analizaron 1 654 árboles de 24 parcelas de 30x10 m y determinó el índice de sitio para conocer la capacidad productiva de los rodales y el índice de valor de importancia calculando la densidad, dominancia y frecuencia relativa por especies. Como resultado, la biomasa aérea promedio para *R. mangle* fue 34.25 Mg·ha<sup>-1</sup> para *L. racemosa* 40.87 Mg·ha<sup>-1</sup> y *A. germinans* 67 Mg·ha<sup>-1</sup>. La biomasa aérea acumulada de las tres especies fue 141.8 Mg·ha<sup>-1</sup> equivalente a 65.9 MgC·ha<sup>-1</sup> en promedio, la biomasa aérea total de la UMA fue 245 314 Mg. equivalente a 113 826 MgC. Los rodales 3 y 4 presentaron mayor índice de sitio con clase media-alta para *L. racemosa*. El rodal 7 tuvo mayor índice de sitio para *R. mangle* con clase media-alta; *A.*

*germinans* presentó clase media-baja en los ocho rodales. Como conclusión, *A. germinans* presentó mayor biomasa aérea y almacenó el mayor porcentaje de carbono por hectárea. *L. racemosa* obtuvo mayor valor de importancia en la UMA y mayor índice de sitio en los rodales 3 y 4.

**Palabras clave:** *Avicennia germinans*, biomasa aérea, ecuaciones alométricas, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*.

## 2.2. ABSTRACT

Mangroves are more productive ecosystems than most tropical forests and are known for their high carbon storage capacity, which is why, the purpose of this investigation was to determine the aerial biomass and carbon content of three mangrove species, *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* and *Avicennia germinans*, from the Environmental Management Unit (UMA), La Solución Somos Todos, Paraíso in the southeast of Mexico. This study seeks to estimate carbon stored for communal land holders to make decisions to conserve and protect the mangrove ecosystem. For the estimation of aerial biomass and carbon stored in the three species, 1 654 trees of 24 plots of 30x10 m were analyzed and determined the site index to know the productive capacity of the stands and the importance value index by calculating the density, dominance and relative frequency by species. As a result, the average aerial biomass for *R. mangle* was 34.25 Mg · ha<sup>-1</sup> for *L. racemosa* 40.87 Mg · ha<sup>-1</sup> and *A. germinans* 67 Mg · ha<sup>-1</sup>. The accumulated aerial biomass of the three species was 141.8 Mg · ha<sup>-1</sup> equivalent to 65.9 MgC · ha<sup>-1</sup> on average, the total aerial biomass of the UMA was 245 314 Mg. equivalent to 113 826 MgC. Stands 3 and 4 presented higher site index with medium-high class for *L. racemosa*. The stand 7 had higher site index for *R. mangle* with upper-middle class; *A. germinans* presented lower-middle class in the eight stands. In conclusion, *A. germinans* showed higher aerial biomass and stored the highest percentage of carbon per hectare. *L. racemosa* obtained greater value of importance in the UMA and higher index of site in stands 3 and 4.

**Key words:** aerial biomass, allometric equations, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*.

### 2.3. INTRODUCCIÓN

Los manglares prestan a la sociedad bienes y servicios ecosistémicos, estos servicios son las condiciones y procesos naturales de un ecosistema que permiten a la humanidad obtener una amplia gama de beneficios. Los beneficios directos representan aquellos bienes y servicios que se reconocen de manera inmediata a través de su consumo y pueden clasificarse como de uso extractivo (madera, leña y taninos) y no extractivo (servicios recreativos y paisajísticos) (Munasinghe y Lutz 1993). Los beneficios indirectos son los bienes y servicios estrechamente asociados a las funciones de los ecosistemas, como control de erosión, retención de sedimentos, amortiguamiento de tormentas, filtrado de aguas residuales, pesquerías dependientes del manglar, producción de oxígeno, fijación de nitrógeno, almacenamiento de carbono (Sanjurjo & Welsh, 2005), producción de nutrientes, filtración de sales, filtración de productos químicos de la agricultura e incluso del petróleo que pueden arrastrar las aguas, por lo que a los manglares se les considera a los “riñones de la tierra”. Sin embargo, los manglares son ecosistemas que han sufrido grave deterioro en su cobertura vegetal debido a factores naturales y humanos, por lo que es necesaria su protección para evitar la grave tendencia a la desaparición de estas comunidades vegetales primarias a nivel mundial (Benítez-Pardo *et al.*, 2002).

La importancia de la dinámica del carbono en los manglares, es acorde al interés de implementar medidas de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático en estos ecosistemas, lo que reduciría su vulnerabilidad a las perturbaciones (Kelly y Adger, 2000; Adger *et al.*, 2005). Son ecosistemas sumamente productivos que revisten una enorme importancia, en términos ambientales y económicos. Su contribución al almacenamiento de carbono sugiere que la conservación y la restauración de estos ecosistemas, podrían ser una vía que ayude a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (Valderrama-Landeros *et al.*, 2017). No solo se pierde biomasa aérea del manglar por problema

de deforestación, sino que después de la perturbación liberan considerables concentraciones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> a la atmósfera (Troxler *et al.*, 2015). Las emisiones de carbono resultantes de la pérdida de manglares son inciertas, debido en parte a la falta de datos a gran escala sobre la cantidad de carbono almacenado en estos ecosistemas, en particular bajo el suelo. Tan solo con 0.7 % de la superficie forestal tropical en su aportación por deforestación podrían contribuir con el 10 % del total de las emisiones globalmente (Donato *et al.*, 2011). En ese sentido, es de suma importancia continuar con los estudios de estimación de carbono en los ecosistemas de manglar como línea base de emisiones (Herold *et al.*, 2011).

La gran cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es parte de la explicación de los cambios climáticos y de la dinámica evolutiva de nuestro planeta. Algunos países se verán afectados y otros beneficiados. En ese sentido, Sachs (2010) indica que la India dejará de generar 30 % de su producción de alimentos; México reducirá el 27 %, Australia 15 % y Brasil 5 %. Sin embargo, para mitigar esta dinámica y con la mira de adaptarse a los cambios, se ofrecen varias soluciones: mejorar los sistemas de transporte, promover el aprovechamiento sustentable de ecosistemas cuyas funciones permitan la captación y almacenamiento de carbono donde se encuentran los manglares (Torres-Torres *et al.*, 2013).

En el caribe sur de Costa Rica, la biomasa aérea promedio reportada en manglares de tipo ribereño > 5 m de altura es 330.27 Mg·ha<sup>-1</sup> en Laguna de Gandoca y 257.10 Mg·ha<sup>-1</sup> en Moín y el carbono aéreo almacenado fue de 153.25 Mg·ha<sup>-1</sup> en Gandoca y 119.29 Mg·ha<sup>-1</sup> en Moín, con la ecuación desarrollada para *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*, por Komiyama *et al.*, (2005) y Manrow y Vilchez (2012).

En el Caribe colombiano la biomasa aérea total (hojas-flores-frutos, ramas, raíces aéreas-fuste) de los bosques de manglar ribereño dominado por *R. mangle* del área marina protegida Distrito de Manejo Integrado en la Bahía de Cispatá es 129.69 ± 20.24 Mg·ha<sup>-1</sup>, y carbono 64.85 ± 10.12 MgC·ha<sup>-1</sup> en *R. mangle* y *A. germinans* (Yepes *et al.*, 2016).

En la Costa Norte del Caribe Colombiano el carbono aéreo almacenado en tallo, rama y follaje de *L. racemosa*, *A. germinans* y *R. mangle* obtenido mediante modelos alométricos es 45.7 MgC·ha<sup>-1</sup> en el manglar La Rinconada y 6.9 MgC·ha<sup>-1</sup> en La Luna (De la Peña *et al.*, 2010).

En México el almacén de carbono en manglares chaparros (diámetro a la altura del pecho <5 cm y altura promedio de <2.5 m) del Pacífico Norte presentan en promedio 42.09 MgC·ha<sup>-1</sup>, máximo 162.41 MgC·ha<sup>-1</sup> en la Laguna Agua Brava, Nayarit y mínimo (3.40 MgC·ha<sup>-1</sup>) en la Bahía del Tóbari, Sonora. En el pacífico Sur y Golfo de México se encuentran muy probablemente los manglares de mayor altura (>30m) y diámetro a la altura del pecho (>30 cm) del tipo ribereño (Adame *et al.*, 2015; Domínguez *et al.*, 2011). En el Pacífico Sur se registra la biomasa más alta 139.65 MgC·ha<sup>-1</sup>, en la región del Golfo de México 137.32 MgC·ha<sup>-1</sup>, en la Península de Yucatán se encuentran manglares de tipo chaparro y petén con altura de <2.5m, se registra 46.78 MgC·ha<sup>-1</sup>, máximo de 306.55 MgC·ha<sup>-1</sup> en Pom Atasta, Campeche y mínimo de 1.68 MgC·ha<sup>-1</sup> en Tulum, Quintana Roo y en el Pacífico Centro se registra 101.75 MgC·ha<sup>-1</sup>, máximo 120.78 MgC·ha<sup>-1</sup> en Cuyutlán Colima, y mínimo 84.86 MgC·ha<sup>-1</sup> (Herrera-Silveira *et al.*, 2016)

En Tabasco, las reservas de carbono en los ecosistemas de manglares oceánicos en la franja costera y estuarinos en Pantanos de Centla, en el río Grijalva presentan estimaciones mínimas de 342 MgC·ha<sup>-1</sup> y máximo de 2,099 MgC·ha<sup>-1</sup> en el manglar Cometa. Las reservas de carbono en estos sitios resultaron mayores que la media mundial para todos los manglares, aproximadamente 965 MgC·ha<sup>-1</sup> (Kauffman *et al.*, 2014a).

El promedio de almacén de carbono en los manglares es casi seis veces mayor que el promedio de carbono de otros bosques en México. Sin embargo, se pretende estimar el carbono almacenado de los manglares de la Unidad para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre “La Solución Somos Todos” ejido con larga experiencia de uso de recursos y gestión del manglar (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2019) se planteó el objetivo de

determinar el carbono almacenado en la biomasa aérea de tres especies de mangle (*R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans*) utilizando modelos alométricos y emitir información que ayudará al ejido a tomar decisiones para seguir conservando y protegiendo el ecosistema.

#### **2.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se desarrolló en la UMA (Unidad para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre) La Solución Somos Todos, localizada en el Municipio de Paraíso Tabasco, al Norte de la Capital del Estado, en el sureste de México. Se sitúa entre las coordenadas geográficas: Latitud Norte 18° 19' 00" y 18° 23' 00" Longitud Oeste: 93° 04' 00" y 93° 07' 00". La cobertura en bosque de manglar es de 1,730 ha. La elevación es menor a 2 m.s.n.m, el clima es de tipo Am (f) cálido-húmedo, tropical lluvioso, con marcadas lluvias en verano (mayo a octubre) e invierno (noviembre a enero). La temperatura mínima es de 25.8°C a 27.8°C y máxima de 30.5°C; la precipitación media anual es de 2 050 mm (García, 1973) (Figura1).

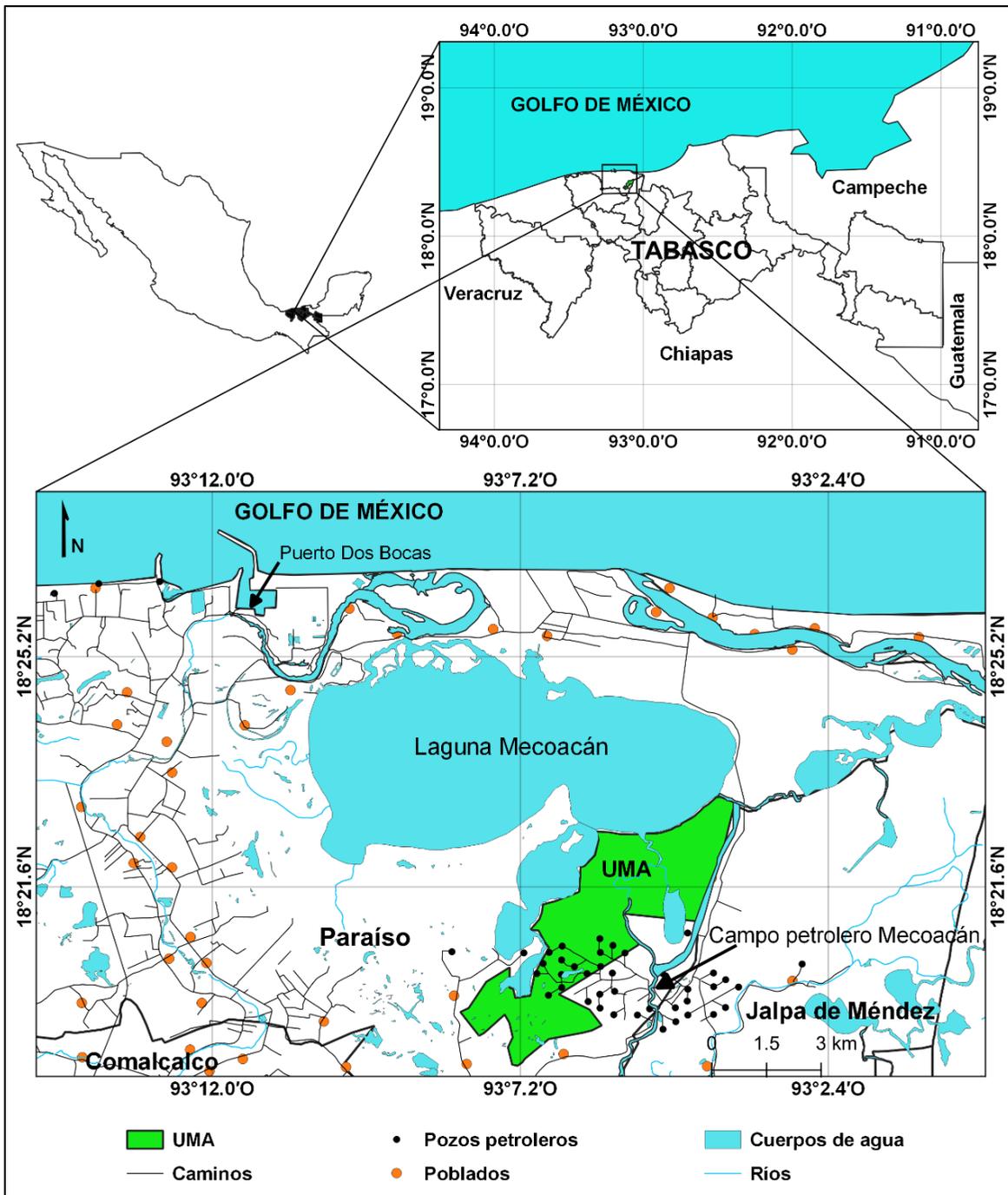


Figura 1. Ubicación geográfica de la UMA La Solución Somos Todos, Paraíso, Tabasco

El bosque de mangle de la UMA La Solución Somos Todos está compuesto por tres especies: mangle rojo, (*R. mangle*), mangle blanco (*L. racemosa*), y mangle negro (*A. germinans*) (Ejido La Solución Somos Todos, 2010). Los suelos predominantes

en el área de estudio son el Solonchak Hipersálico Gléyico (Sódico) SChsgl(so) que se ubica en el dique lagunar de la laguna Mecoacán con bajo contenido de materia orgánica (1.3 %) en el primer horizonte, Tecnosol Spólico (Húmico) TCsp(hu) localizados en los rellenos de pozos petroleros e instalaciones petroleras y el Gleysol Éútrico (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2011).

Para determinar el carbono almacenado en el bosque de mangle se cuantificó la biomasa utilizando el método indirecto que implica el uso de ecuaciones y modelos matemáticos calculados en inventarios forestales, los cuales relacionan variables dasométricas como diámetro y altura. La información para la estimación de la biomasa fue proporcionada por los socios de la UMA La Solución Somos Todos, quienes realizaron un inventario del bosque de manglar que comprendió tres sitios y ocho rodales. En cada sitio se establecieron tres parcelas donde se inventariaron 6,723 árboles de mangle a partir de un diámetro  $\geq 2.5$  cm (Figura 2).

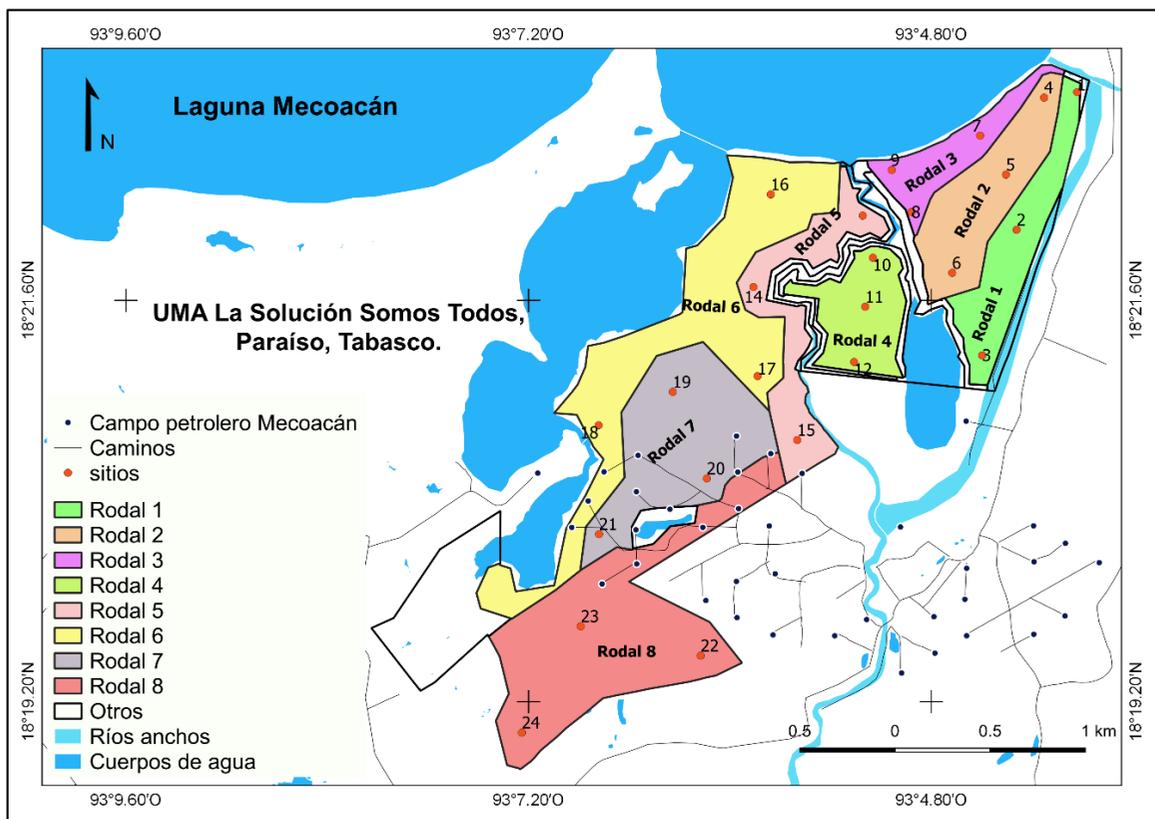


Figura 2. Rodales de manglares en la UMA La Solución Somos Todos, Paraíso Tabasco.

#### 2.4.1. Medición del diámetro a la altura del pecho (DBH)

Se consideró la variable del diámetro normal a 1.30 m del suelo con cinta diamétrica para *L. racemosa* y *A. germinans*. Para los árboles de *R. mangle*, con raíces aéreas que exceden 1.30 m del suelo, se midió el Diámetro normal del tallo a 0.30 m por encima de la raíz aérea más alta (Kauffman *et al.*, 2013).

#### 2.4.2. Estimación de la biomasa aérea

Se estimó la biomasa aérea que existe en las tres especies de mangle, a través de modelos alométricos que sirvieron para cuantificar el carbono almacenado en cada especie (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ecuaciones alométricas empleadas para la estimación de la biomasa aérea en función del diámetro (Smith y Whelan 2006):

Espece	Ecuación
<i>Rhizophora mangle</i>	$\log_{10}BA = 1.731 \cdot \log_{10} D_R - 0.112$
<i>Avicennia germinans</i>	$\log_{10}BA = 1.934 \cdot \log_{10} DBH - 0.395$
<i>Laguncularia racemosa</i>	$\log_{10}BA = 1.930 \cdot \log_{10} DBH - 0.441$

BA= Biomasa aérea para cada individuo de mangle (kg), DBH= Diámetro a la altura del pecho en árboles de *A. germinans* y *L. racemosa* (cm),  $D_R$ = Diámetro del tallo medido por encima de la raíz aérea más alta en árboles de *R. mangle* (cm),  $\log_{10}$ = logaritmo base 10.

#### 2.4.3. Estimación de carbono almacenado

La biomasa aérea obtenida de las tres especies de mangle se multiplicó por el factor de conversión de 0.464 utilizado para *R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans* por Murdiyarso *et al.* (2009) y Kauffman *et al.* (2013). Se calcularon los valores promedios de biomasa aérea ( $Mg \cdot ha^{-1}$ ) y se multiplicó por dicho factor. Posteriormente, el valor promedio de carbono calculado se multiplicó por el área total del bosque para cada especie, obteniendo así la cantidad de carbono almacenado (Alpizar, 1997). Se aplicó la ecuación:

$$C_B = B_L \times R_c \times A_T$$

Donde:

$C_B$ : Carbono estimado contenido en el bosque (Mg)

$B_L$ : Biomasa promedio del bosque ( $Mg \cdot ha^{-1}$ )

$R_c$ : Factor de conversión de 0.464

$A_T$ : Área total del bosque (ha)

#### 2.4.4. Índice de sitio

El índice de sitio se define como la altura dominante que pueden alcanzar los árboles de un rodal a una edad base de referencia y es una expresión cuantitativa de la calidad del sitio necesaria para el manejo juicioso del bosque; un alto valor del índice de sitio indica una ubicación donde un mejor crecimiento ocurre en poco tiempo (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2019). Determina la capacidad productiva de un determinado lugar para una especie en particular (Murillo-Brito *et al.* 2017). La determinación del índice de sitio se calcula en el caso de los árboles regenerados naturalmente y cuya edad se desconoce, a partir de la relación altura-diámetro, con base en la altura de un árbol de 30 cm de diámetro (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2011).

La altura dominante se usa comúnmente como indicador de la productividad del sitio y tiene la ventaja de que no se ve afectada por prácticas de manejo como la densidad y el adelgazamiento (Burkhart y Tomé, 2012). En este estudio se estimó la altura dominante con base a los tres árboles más gruesos de cada especie en cada parcela con la siguiente ecuación utilizada para el mismo propósito en manglares (Sánchez *et al.*, 2004):

$$H_d = a_0 \cdot Dbh^{a1}$$

Para calcular el índice de sitio a partir de los valores de los diámetros y el promedio de las alturas dominantes de los tres árboles más gruesos de cada especie en cada parcela, se utilizó la siguiente ecuación:

$$IS = [Ht / (a_0 \cdot Dbh^{a_1})] (a_0 \cdot 30^{a_1})$$

Ht: Altura total de un árbol (m)

Dbh: Diámetro a la altura del pecho (cm)

$a_0$  y  $a_1$ : Parámetros de ajuste correspondientes

#### 2.4.5. Índice de valor de importancia (IVI)

El Índice de valor de importancia permite conocer que especies de mangle contribuyen en la estructura del manglar. Este valor se calculó mediante la sumatoria de la densidad relativa, dominancia relativa y frecuencia relativa, de acuerdo a la fórmula utilizada por Villavicencio-Enríquez y Valdez-Hernández (2003):

$$IVI = Dr \% + Domr \% + Fr \%$$

Donde:

IVI: Índice de Valor de Importancia (%)

Dr: Densidad relativa (%)

Domr: Dominancia relativa (%)

Fr: Frecuencia relativa (%)

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{dominancia absoluta por cada especie}}{\text{dominancia absoluta de todas las especies}} \times 100$$

Donde:

$$\text{Dominancia absoluta} = \frac{\text{área basal (AB) de una especie}}{\text{área muestreada}}$$

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{densidad absoluta por cada especie}}{\text{densidad absoluta de todas las especies}} \times 100$$

Donde:

$$\text{Densidad absoluta} = \frac{\text{número de individuos de una especie}}{\text{área muestreada}}$$

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{frecuencia absoluta por cada especie}}{\text{frecuencia absoluta de todas las especies}} \times 100$$

Donde:

$$\text{Frecuencia absoluta} = \frac{\text{número de parcelas en que se presenta cada especie}}{\text{número total de parcelas muestreadas}}$$

## 2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.5.1. Distribución de diámetro-altura

En la UMA, *L. racemosa* fue la especie que presentó mayor número de árboles inventariados en los ocho rodales (4,734 árboles), el 98 % se distribuyen entre los diámetros de 2.6 a 18 cm y el 2 % entre los diámetros de 19-46 cm (Figura 3).

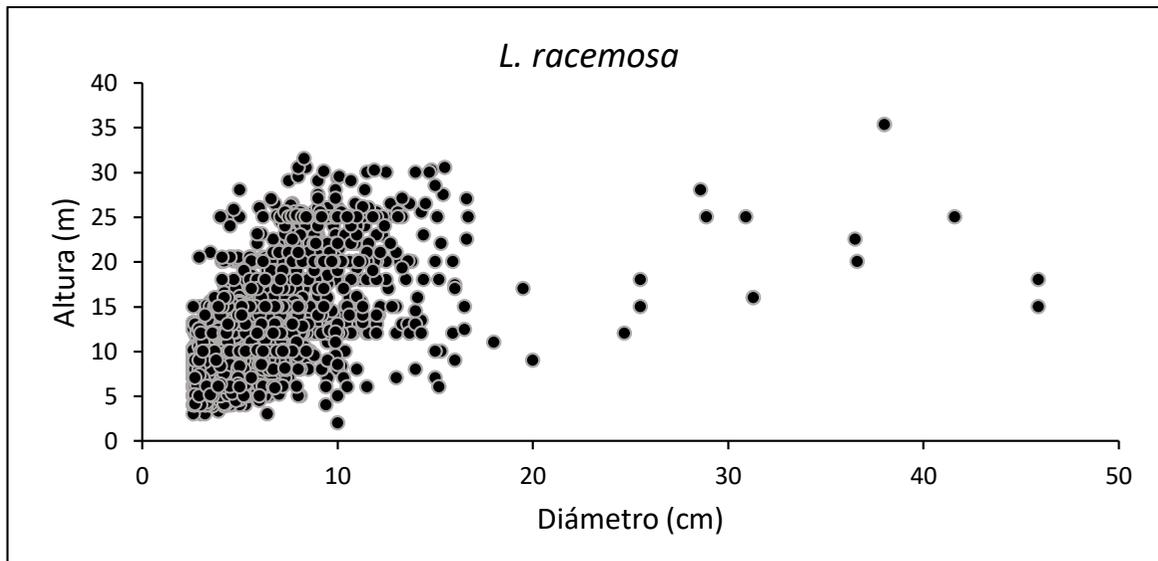


Figura 3. Distribución de altura y diámetro de los árboles de *L. racemosa*.

*R. mangle* presentó menor número de árboles inventariados en comparación con *L. racemosa* (1748 árboles), el 98.2 % se distribuyen entre los diámetros 2.6 a 25 cm y 1.8 % entre los diámetros de 26 a 78 cm (Figura 4).

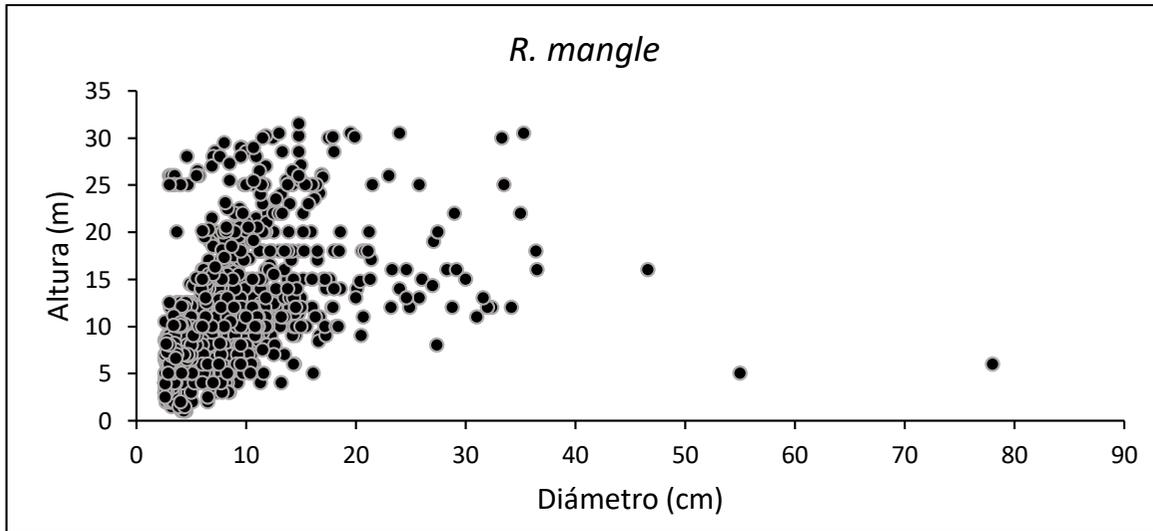


Figura 4. Distribución de altura y diámetro de los árboles de *R. mangle*.

*A. germinans* es la especie que presentó el menor número de árboles inventariados en los ocho rodales (241 árboles), el 81 % se distribuyen entre los diámetros de 2.6 a 30 cm, sin embargo, el 19 % están distribuidos entre los diámetros de 31 a 114 cm (Figura 5).

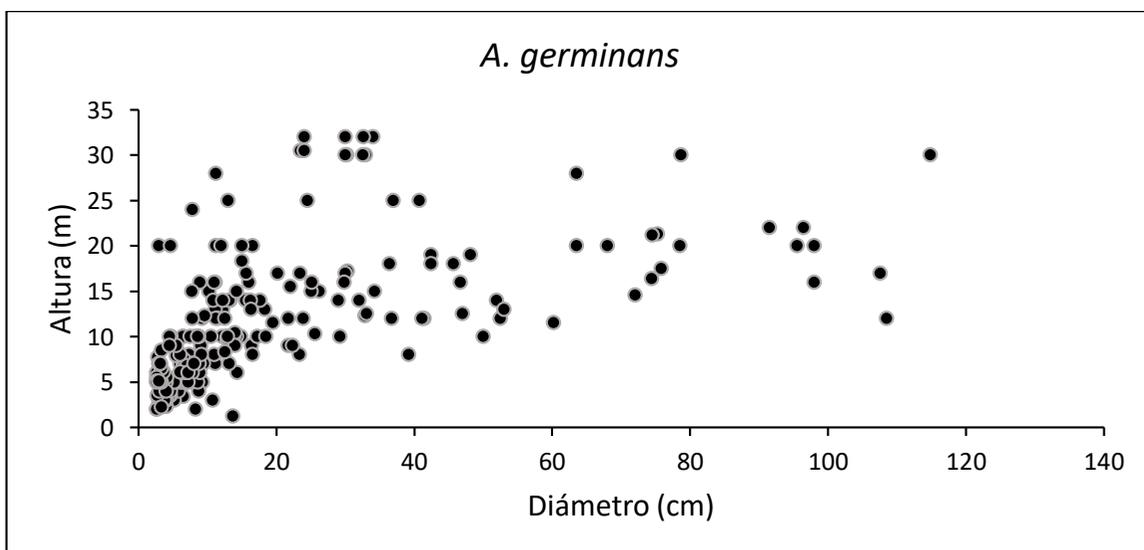


Figura 5. Distribución de altura y diámetro de los árboles de *A. germinans*.

### 2.5.2. Determinación del área basimétrica

El área basimétrica, es la suma de la sección de los troncos de los árboles a la altura de pecho, referido a una hectárea de superficie, indica las características dasométricas de las especies de mangle (Pérez-González *et al.*, 2012). De las tres especies determinadas en el inventario forestal, la especie que obtuvo mayor área basimétrica promedio fue *A. germinans* con 17.14 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>, seguido de *L. racemosa* con 10.42 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup> y *R. mangle* con 7.27 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>.

*Avicennia germinans* es la especie que obtuvo el área basimétrica de mayor valor en seis de los ocho rodales (2,3,4,5,6,7), presentó mayor diámetro que *R. mangle* y *L. racemosa* (Cuadro 2).

Cuadro 2. Área basimétrica para las tres especies de mangle en los ocho rodales evaluados.

Rodal	Área Basimétrica (m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> )			Total
	<i>R. mangle</i>	<i>A. germinans</i>	<i>L. racemosa</i>	
1	0.7	7.1	20.5	28.3
2	6.7	19.3	16.4	42.3
3	7.0	27.6	0.8	35.5
4	9.5	26.6	10.2	46.4
5	19.7	19.0	5.0	43.8
6	10.7	23.7	4.5	39.9
7	2.7	13.4	6.2	22.3
8	1.2	0.4	19.5	21.1
<b>UMA</b>	<b>7.8</b>	<b>17.1</b>	<b>10.4</b>	<b>34.8</b>

### 2.5.3. Biomasa aérea (BA) en los ocho rodales

La especie *A. germinans* en el rodal 3 presentó mayor biomasa aérea promedio (108 Mg·ha<sup>-1</sup>) y mayor densidad con 1,077 árboles·ha<sup>-1</sup> y diámetros >60 cm (Figura 6). En el rodal 8 se observó la menor biomasa aérea promedio (2 Mg·ha<sup>-1</sup>) debido a la presencia de diámetros <20 cm; por otro lado, el rodal 2 presentó la menor

densidad de árboles ( $44 \text{ árboles}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y el rodal 6 ( $66.6 \text{ árboles}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), mayormente con diámetros  $>60 \text{ cm}$ , siendo la razón de las considerables cantidades de biomasa aérea ( $75 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  en el rodal 2 y  $93 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  en el 6).

En el rodal 3, la especie *L. racemosa* presentó menor densidad de arbolado en los tres sitios ( $300 \text{ árboles}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), por lo tanto, menor biomasa aérea promedio ( $3 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), ya que este rodal ocupa la orilla de la laguna donde principalmente se desarrolla la especie *R. mangle*. Los rodales que presentaron mayor biomasa aérea fueron el rodal 1 ( $80 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) con densidad de  $14,477 \text{ árboles}\cdot\text{ha}^{-1}$ , seguido del rodal 8 ( $78 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) con  $17,790 \text{ árboles}\cdot\text{ha}^{-1}$  y el rodal 2 ( $65 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) con  $12,311 \text{ árboles}\cdot\text{ha}^{-1}$ , en manglar de tipo ribereño, localizados en zonas de transición de la planicie baja de inundación lagunar y la planicie fluviodeltaica sin sales, presentando baja salinidad debido a su posición alejada de la laguna costera (Domínguez-Domínguez et al., 2011) favoreciendo los aportes de nutrientes y alta productividad, según lo reportado por Herrera-Silveira et al., (2018).

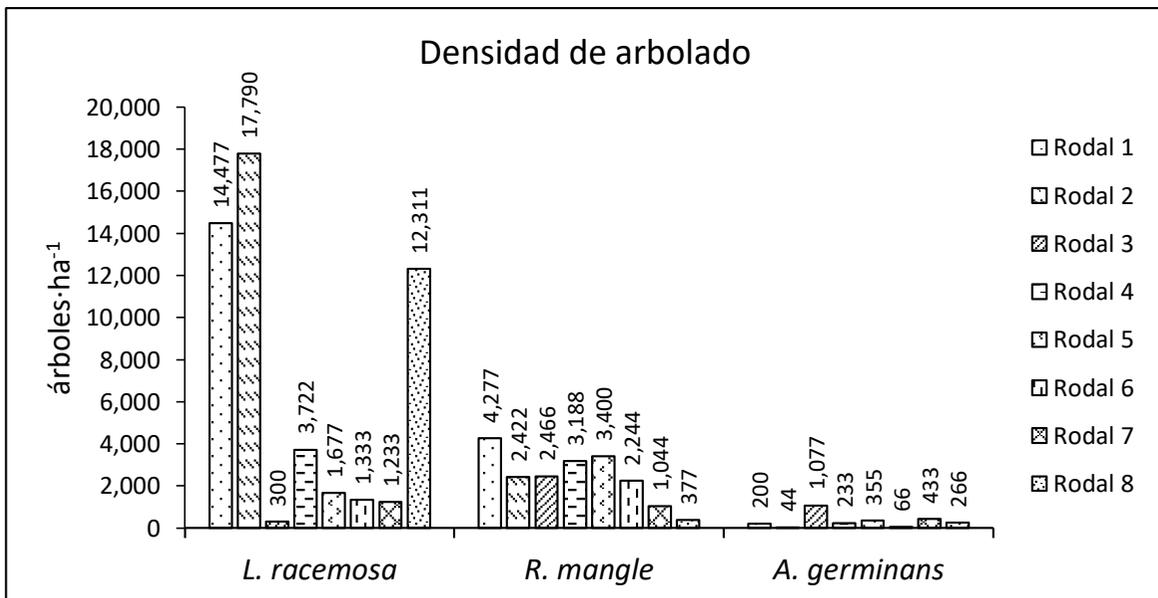


Figura 6. Densidad de arbolado por especie en los 8 rodales.

Aunque la densidad de *A. germinans* es menor que las demás especies, presentó mayor biomasa aérea promedio ( $67 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en los ocho rodales, debido a la existencia de árboles con diámetros mayores, seguido de *L. racemosa* con  $40.87$

Mg·ha<sup>-1</sup>. Esta especie presentó mayor densidad de arbolado, con una importante población de árboles inferiores a 20 cm de diámetro, por lo tanto, presentó menor biomasa aérea en comparación con *A. germinans*. La especie *R. mangle* presentó menor biomasa aérea (34.25 Mg·ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 3), en manglar de tipo franja que se distribuye a lo largo del borde de la laguna Mecoacán en la planicie baja de inundación lagunar con relieve ligeramente convexo (Domínguez-Domínguez et al., 2011) expuestos al efecto de inundación con agua salada que se introduce del mar y por lo tanto, el aporte de nutrientes es más bajo en comparación con las demás especies que se encuentran tierra adentro (Herrera-Silveira et al., 2018).

En comparación con los resultados reportados por *Bautista-Olivas et al., (2018)* en el estero El Sargento en la Bahía de Tóbari en Sonora, se registraron estimaciones de biomasa aérea promedio en *L. racemosa* de 81.5 Mg·ha<sup>-1</sup> con densidad de 2,650 árboles·ha<sup>-1</sup> y DBH 8.3 ± 1.3 cm; en *A. germinans* de 26.6 Mg·ha<sup>-1</sup>; y en *R. mangle* de 0.038 Mg·ha<sup>-1</sup> mediante las mismas ecuaciones de Smith & Whelan (2006). La diferencia en los valores de *R. mangle* con respecto al presente estudio se justifica por las marcadas condiciones ambientales áridas con temperatura media anual >22°C típicas de las ecorregiones, también la densidad de 256 árboles·ha<sup>-1</sup> es muy pequeña en el estero El Sargento en dicha especie, el tipo de manglar es chaparro <2-3 metros de altura, como consecuencia de la dominancia en 47 % de suelo Regosol con baja capacidad de retención de humedad y 26 % de Solonchak con alta de salinidad (Herrera-Silveira et al., 2018).

Cuadro 3. Biomasa aérea promedio para las tres especies de mangle en los ocho rodales.

Rodal	Biomasa aérea (Mg·ha <sup>-1</sup> )			Total
	<i>R. mangle</i>	<i>A. germinans</i>	<i>L. racemosa</i>	
1	4	28	80	112
2	34	75	65	173
3	36	108	3	148
4	47	103	39	188

5	79	74	20	173
6	53	93	18	163
7	15	53	24	92
8	6	2	78	86
<b>Promedio</b>	<b>34.25</b>	<b>67</b>	<b>40.87</b>	<b>141.87</b>

$Mg \cdot ha^{-1}$  = Megagramos por hectárea.

#### 2.5.4. Estimación de carbono almacenado

La especie que presentó mayor contenido de carbono en promedio en la biomasa aérea fue *A. germinans* con  $31.08 MgC \cdot ha^{-1}$ , siendo un comportamiento esperado, dicha especie tuvo menor densidad en los 8 rodales, sin embargo, sus diámetros fueron superiores a *L. racemosa* almacenando ( $18.97 MgC \cdot ha^{-1}$ ) y *R. mangle* ( $15.89 MgC \cdot ha^{-1}$ ) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Carbono almacenado promedio para las tres especies de mangle en los ocho rodales.

Rodal	Carbono almacenado ( $MgC \cdot ha^{-1}$ )			Total
	<i>R. mangle</i>	<i>A. germinans</i>	<i>L. racemosa</i>	
1	1.9	12.9	37.1	51.9
2	15.8	34.8	30.2	80.7
3	16.7	50.1	1.4	68.2
4	21.8	47.8	18.0	87.7
5	36.6	34.3	9.3	80.3
6	24.6	43.2	8.4	76.0
7	6.9	24.6	11.1	42.7
8	2.8	0.9	36.2	39.9
<b>Promedio</b>	<b>15.9</b>	<b>31.0</b>	<b>18.9</b>	<b>65.9</b>

$MgC \cdot ha^{-1}$  = Megagramos de carbono por hectárea

Con base en los resultados obtenidos la especie de mangle que almacena la mayor cantidad de carbono en la UMA fue *A. germinans* con 47.14 % por ha, seguida de *L. racemosa* con 28.76 % y *R. mangle* con 24.07 %. Teniendo en cuenta que la

UMA presenta 1,730 ha de manglar, se estimó que la biomasa aérea total (BAT) fue de 245,314 Mg equivalente a 113,826 MgC.

Algunos estudios de manglar han comprobado que la biomasa aérea puede oscilar entre 100 y 200 Mg·ha<sup>-1</sup> (Lacher, 1977), rango en el cual se encuentra el valor estimado en el presente estudio (141.8 Mg·ha<sup>-1</sup>). Sin embargo, se han reportado valores altos de biomasa aérea de 421 Mg·ha<sup>-1</sup> para los bosques altos de la Reserva de la Biósfera, La Encrucijada, Chiapas, México (Adame *et al.*, 2015) donde se encuentran manglares ribereños y de franja que reciben aportes de agua dulce y nutrientes, manteniendo su alta productividad en densidad de arbolado y diámetros >30 cm. Valores un poco inferiores al anterior, se han reportado en Tailandia (298.5 Mg·ha<sup>-1</sup>) y en la Guyana Francesa (180-315 Mg·ha<sup>-1</sup>). Sin embargo, también se han obtenido valores bajos de 5.3 Mg·ha<sup>-1</sup> para los bosques enanos de la Península de Yucatán en México (Adame *et al.*, 2013) <3 m de altura con pobre aporte de nutrientes y salinidad.

De manera análoga a lo que sucede con la biomasa aérea se han reportado contenidos de carbono de 215 MgC·ha<sup>-1</sup> para los bosques altos de la Reserva de la Biósfera, La Encrucijada, Chiapas (Adame *et al.*, 2015), y valores bajos de 2.5 MgC·ha<sup>-1</sup> para los bosques enanos de la Península de Yucatán (Adame *et al.*, 2013). Kauffman *et al.* (2014b) coinciden con lo anterior, indicando que los árboles menores de 3 m almacenan 10 MgC·ha<sup>-1</sup> y mayores de 10 m almacenan hasta 161 MgC·ha<sup>-1</sup>.

En los manglares de la Bahía de Cispatá Colombia se registraron biomasa aérea de 129.69 Mg·ha<sup>-1</sup> y carbono almacenado de 64.85 MgC·ha<sup>-1</sup>, valores similares a los estimados en la UMA La Solución Somos Todos (BA= 141.8 Mg·ha<sup>-1</sup> y C= 65.9 MgC·ha<sup>-1</sup>). Las aproximaciones se atribuyen a que *L. racemosa* es una especie dominante en ambos sitios de estudio, influyendo en el desarrollo de la biomasa aérea (Cuadro 5).

Los manglares tienen alto impacto potencial en el flujo global de carbono, ya que presentan la mayor tasa de almacenamiento (Dittmar *et al.*, 2006), en comparación con otros ecosistemas forestales.

Cuadro 5. Biomasa aérea y carbono promedio reportados para diferentes bosques.

Sitio	Tipo de bosque	Especie dominante	BA Mg·ha <sup>-1</sup>	Carbono MgC·ha <sup>-1</sup>	Fuente
La Solución Somos Todos. Tabasco, México	Manglar alto (>5m)	<i>Lr</i>	141.8	65.9	Presente estudio
Bahía de Cispatá, Colombia	Manglar alto (>5m)	<i>Lr</i>	129.6	64.8	Yepes <i>et al.</i> , 2015
Tailandia (Sur de Ranong)	Bosque primario	<i>Rhizophora spp</i>	298.5		Spalding <i>et al.</i> , 2011
Guyana Francesa	Manglar adulto	<i>Ag, Lr y Rm</i>	180-315		Spalding <i>et al.</i> , 2011
El Sargento, Sonora.	Manglar alto (<5m)	<i>Ag y Lr</i>	108.1	54.1	Bautista-Olivas <i>et al.</i> , 2018
Cuyutlán, Colima	Manglar alto (>5m)		-	84.8-101.7	Herrera-Silveira <i>et al.</i> , 2016
Laguna Agua Brava, Nayarit	Manglar alto (>5m)		-	162.4	Herrera-Silveira <i>et al.</i> , 2016
Sian Ka'an, Yucatán	Manglar alto (>5m)	<i>Lr</i>	176.2	84.6	Adame <i>et al.</i> , 2013
Sian Ka'an, Yucatán	Manglar enano (<1.5m)	<i>Rm</i>	5.3	2.5	Adame <i>et al.</i> , 2013
Reserva de la Biósfera, La Encrucijada, Chiapas.	Manglar alto (>5m)	<i>Ag, Lr y Rm</i>	421	215	Adame <i>et al.</i> , 2015
Bosques del Sur de Nuevo León.	Pino-encino	<i>Pinus teocote</i>	93.9	45.2	Aguirre & Jiménez, 2011

BA= biomasa aérea, *Lr*= *Laguncularia racemosa*, *Ag*= *Avicennia germinans*, *Rm*= *Rhizophora mangle*.

### 2.5.5. Determinación de los índices de sitio en el manglar de la Laguna Mecoacán La Solución Somos Todos.

En la determinación de la calidad del sitio en los manglares de la UMA La Solución Somos Todos se encontraron alturas dominantes importantes por tener las especies de mangle buena capacidad productiva en los sitios inventariados. Se definieron las clases de acuerdo a los índices de sitio tipo de los de los manglares de Tabasco.

Los índices de sitio determinados se compararon con las definiciones de índice de sitio de los manglares de Tabasco (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2011): para la especie *L. racemosa* se clasificaron en clase media-baja los rodales 1 (13.8 m), 2 (12.2 m), 7 (12 m) y 8 (13.7 m); media en los rodales 5 (16 m) y 6 (18 m); media-alta en los rodales 3 (18.8 m) y 4 (18.9 m).

Los índices de sitio para la especie *R. mangle* se clasificaron en clase baja los rodales 3 (11.5 m), 5 (12.1m) y 6 (11.3 m); media-baja los rodales 2 (14.4 m), 4 (14.3 m) y 8 (12.9); media el rodal 1 (14.8 m); media-alta el rodal 7 (17 m) (Figura 7). Para la especie *A. germinans* se clasificaron en clase media-baja en los 8 rodales (Cuadro 6).

Cuadro 6. Definición de los índices de sitio tipo de los manglares de Tabasco.

<b>Rodal</b>	<b><i>R. mangle</i></b>		<b><i>A. germinans</i></b>		<b><i>L. racemosa</i></b>	
	<b>IS (m)</b>	<b>Clases</b>	<b>IS (m)</b>	<b>Clases</b>	<b>IS (m)</b>	<b>Clases</b>
1	14.8	media	10.1	media-baja	13.8	media-baja
2	14.4	media-baja	13.8	media-baja	12.2	media-baja
3	11.5	Baja	10.2	media-baja	18.8	media-alta
4	14.3	media-baja	12.4	media-baja	18.9	media-alta
5	12.1	Baja	10.2	media-baja	16.0	Media
6	11.3	Baja	10.9	media-baja	18.0	Media
7	17.0	media-alta	10.9	media-baja	12.0	media-baja
8	12.9	media-baja	13.1	media-baja	13.7	media-baja

IS= Índice de Sitio

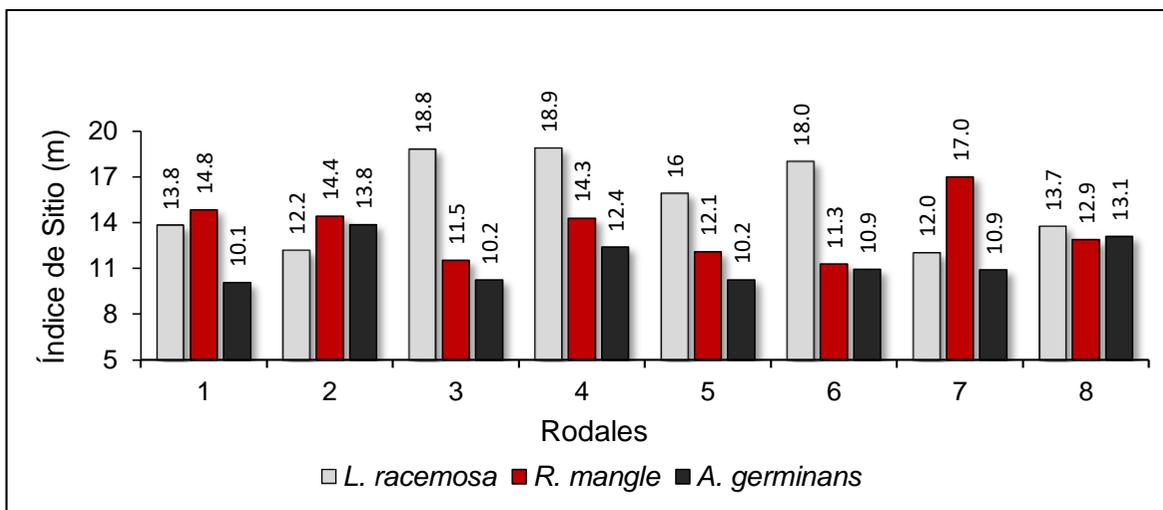


Figura 7. Índice de sitio para las tres especies de mangle evaluadas en los ocho rodales de la UMA La Solución Somos Todos.

El rodal siete presentó mayor índice de sitio en la especie *R. mangle*, sin embargo, el contenido de carbono es bajo en comparación con los demás rodales, ya que coincide con las superficies ocupadas por pozos petroleros donde las terracerías construidas sirven de acceso para talar y extraer madera, ocasionando la degradación de pequeñas áreas de manglar (García *et al.*, 2006), incluso la industria petrolera ha contribuido en la modificación del suelo original del manglar cambiándolo a suelo Tecnosol Spólico (Húmico), presentando relieve antrópico que varía de plano a ligeramente convexo, con elevación de 1 a 3 m, por lo tanto, están libres o poco expuestos a las inundaciones, el material de relleno proviene de dunas costeras, cordones de playa o bancos de préstamos de las terrazas con contenidos altos a bajos en materia orgánica (38 a 2 %); estas condiciones de relieve permiten el aprovechamiento de huertos familiares, cultivos anuales y viviendas (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2011; Zavala y García, 2011).

#### 2.5.6. Determinación de índice de valor de importancia (IVI) en el manglar de la UMA La Solución Somos Todos.

La especie con alto índice de valor de importancia fue *L. racemosa*, dominante en los rodales 1, 2 y 8. Esta especie presentó la mayor densidad por área inventariada y mayor dominancia en los ocho rodales, seguido de *R. mangle* que presentó menor

dominancia en el rodal 8. *A. germinans* presentó en el rodal 3 la mayor dominancia en comparación de los demás rodales donde se encuentra esta especie (Tabla 7).

Cuadro 7. Índice de valor de importancia (IVI) para las tres especies de mangle en los ocho rodales.

Especie	Rodal	Dens. Abs. (Ind/ha <sup>-1</sup> )	Dens. Rel. (%)	Dom. Abs. (m <sup>2</sup> /ha <sup>-1</sup> )	Dom. rel. (%)	Frec. abs.	Frec. rel. (%)	IVI
<i>Lr</i>	1	14,478	76.4	77.1	71.7	1.0	37.5	185.6
	2	17,544	87.7	54.9	76.8	1.0	42.9	207.3
	3	300	7.8	1.4	2.0	0.7	25.0	34.9
	4	3,722	52.1	22.3	26.3	1.0	33.3	111.7
	5	1,678	30.9	10.0	11.3	1.0	37.5	79.6
	6	1,333	36.6	7.0	18.6	0.7	25.0	80.1
	7	1,233	45.5	6.3	31.4	0.7	25.0	101.9
	8	12,311	95.0	35.5	93.5	1.0	42.9	231.3
<i>Ag</i>	1	200	1.0	13.2	12.3	0.7	25.0	38.3
	2	44	0.2	5.1	7.2	0.3	14.3	21.7
	3	1,078	28.0	49.4	74.9	1.0	37.5	140.4
	4	233	3.3	38.1	45.0	1.0	33.3	81.6
	5	356	6.5	56.0	62.9	0.7	25.0	94.4
	6	67	1.8	12.3	32.4	1.0	37.5	71.7
	7	433	16.0	10.0	50.5	1.0	37.5	104.0
	8	267	2.0	0.5	1.4	1.0	42.9	46.3
<i>Rm</i>	1	4,278	22.6	17.2	16.0	1.0	37.5	76.1
	2	2,422	12.1	11.4	16.0	1.0	42.9	71.0
	3	2,467	64.2	15.3	23.1	1.0	37.5	124.8
	4	3,189	44.6	24.3	28.7	1.0	33.3	106.7
	5	3,400	62.6	23.0	25.9	1.0	37.5	126.0
	6	2,244	61.6	18.5	49.0	1.0	37.5	148.1
	7	1,044	38.5	3.6	18.2	1.0	37.5	94.2
	8	378	2.9	2.0	5.2	0.3	14.3	22.4

*Lr*= *Laguncularia racemosa*, *Ag*= *Avicennia germinans*, *Rm*= *Rhizophora mangle*, Dens. Abs. = Densidad absoluta (Ind. /ha<sup>-1</sup>), Dens. rel. =Densidad relativa (%), Dom. Abs. = Dominancia absoluta (m<sup>2</sup>/ha<sup>-1</sup>), Dom. rel. = Dominancia relativa (%), Frec. Abs. = Frecuencia absoluta, Frec. rel. = Frecuencia relativa (%), IVI= Índice de valor de importancia.

La especie *L. racemosa* presentó mayor índice de valor de importancia en los rodales 1 (185.6), 2 (207.3), 7 (101.9) y 8 (231.3); en *A. germinans* el mayor índice se presentó en los rodales 3 (140.3) y 7 (104); *R. mangle* presentó el mayor índice

en los rodales 3 (124.8), 5 (126) y 6 (148.1) mostrando la jerarquía de la dominancia en los ocho rodales de las tres especies.

Por lo tanto, la especie con mayor índice de valor de importancia en los ocho rodales de la UMA fue *L. racemosa* (IVI = 43 %), seguido de *R. mangle* (IVI = 32 %) y por último *A. germinans* (IVI = 25 %). Los porcentajes coinciden con lo reportado por Zaldívar *et al.*, (2004) donde indica que la especie *L. racemosa* presenta mayor dominancia en la zona terrestre, pero disminuye hacia el borde de la laguna Mecoaacán donde *R. mangle* es dominante. El índice de valor de importancia puede ser utilizado en planes de manejo como indicador de la importancia ecológica, debido a la influencia de las especies más frecuentes y dominantes en los procesos básicos de equilibrio de la flora y mantenimiento de la fauna, propiciando abrigo y alimentación (Sawczuk *et al.*, 2014). También alerta al respecto de procesos de empobrecimiento, cuando se identifican cambios en el número de especies, en la distribución de la abundancia o dominancia (Schilling *et al.*, 2012).

## 2.6. CONCLUSIONES

En la UMA La Solución Somos Todos, *A. germinans* almacena mayor cantidad de carbono (47.18 %) que *L. racemosa* (28.9 %) y *R. mangle* (23.9 %), esto está directamente relacionado con la biomasa que presenta, es la especie con diámetros de hasta 114 cm a la altura del pecho y área basimétrica promedio de  $17.1 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , siendo la medida de densidad con mayor importancia en dos rodales (3 y 4), coincidiendo con la mayor densidad de árboles,  $27.6 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  en el rodal 3 y  $26.6 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  en el 4.

Los rodales 3 y 4 presentaron mayor índice de sitio para *L. racemosa* siendo la especie con mayor capacidad productiva en esos dos rodales. El rodal siete tuvo mayor índice de sitio para *R. mangle*, sin embargo, por el cambio de uso suelo en zonas donde se encuentran pozos petroleros el carbono almacenado disminuyó un 8 % en comparación a los demás rodales.

*L. racemosa* fue la especie con mayor índice de valor de importancia en la UMA con 43 % debido a la frecuencia y dominancia de la especie en los ocho rodales.

Por lo tanto, la UMA juega un papel esencial en la conservación de las especies de mangle para el almacenamiento de carbono, ya que, al proteger a las especies, se obtiene un mejor desarrollo en la estructura de los árboles y a su vez un importante servicio ecosistémico.

### **AGRADECIMIENTOS:**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado durante mis estudios de Maestría en Ciencias, para culminar con este trabajo de investigación. Al Colegio de Postgraduados Campus Tabasco por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios. A los socios de la UMA La Solución Somos Todos por facilitarme los datos del inventario forestal del manglar.

### **2.7. REFERENCIAS**

- Adame, M. F., Kauffman, J. B., Medina, I., Gamboa, J. N., Torres, O., Caamal, J. P., Reza, M., & Herrera-Silveira, J. A. 2013. Carbon stocks of tropical coastal wetlands within the karstic landscape of the Mexican Caribbean. *PLoS One*, 8(2), e56569. doi:10.1371/journal.pone.0056569.
- Adame, M. F., Santini, N. S., Tovilla, C., Vázquez-Lule, A., Castro, L., & Guevara, M. 2015. Carbon stocks and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. *Biogeosciences*, 12, 3805–3818. doi: 10.5194/bg-12-3805-2015.
- Adger, W. N. y Tompkins, E. L. 2005. Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environ. Change* 15: 77-86.
- Aguirre-Calderón, O. A., y Jiménez-Pérez, J. 2011. Evaluación del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2:(6).
- Alpizar, W. 1997. *Caso para explicar los pormenores en la cuantificación de carbono en proyectos forestales, utilizando para ello las normas IPCC y la SGS. Oficina Costarricense de Implementación Conjunta (OCIC). Versión*

en mimeógrafo. Departamento de Investigación Forestal Aplicada. Sin numeración de páginas.

Bautista-Olivas, A. L., Mendoza-Cariño, M., Rodríguez, J. C., Colado-Amador, C. E., Robles-Zazueta, C. A., & Meling-López, A. E. 2018. Above-ground biomass and carbon sequestration in mangroves in the arid area of the northwest of Mexico: Bahía del Tóbari and Estero El Sargento, Sonora. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24(3), 387-403.

Benítez-Pardo, D., Flores-Verdugo, F., y Valdéz-Hernández, J. I. 2002. Reproducción vegetativa de dos especies arbóreas en un manglar de la costa norte del Pacífico mexicano. *Madera y Bosques* 8:57-71.

Burkhardt, H. E., y Tomé, M. 2012. Modeling forest trees and stands. Estados Unidos: Facultad de Recursos Naturales y Medio Ambiente y University, Blacksburg.

De la Peña A., Rojas, C. A., y De la Peña, M. 2010. Valoración económica del manglar por el almacenamiento de carbono, Ciénega Grande de Santa Marta. *Clío América*, 4(7): 133-150.

Dittmar, T., Hertkorn, N., Kattner, G., y Lara, R. J. 2006. Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans. *Global Biogeochemical Cycles*, 20(1), GB1012. doi: 10.1029/2005GB002570.

Domínguez-Domínguez M., J. Zavala-Cruz, P. Martínez-Zurimendi. 2011. Manejo forestal sustentable de los manglares de Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México. 137 p.

Domínguez-Domínguez M., Zavala-Cruz J., Rincón-Ramírez J. A., Martínez-Zurimendi P. 2019. Management strategies for the conservation, restoration

and utilization of mangroves in southeastern Mexico. *Wetlands*.  
<https://doi.org/10.1007/s13157-019-01136-z>.

Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., y Kanninen, M. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geosci.*, 4: 293-297. doi: 10.1038/ngeo1123.

Ejido La Solución Somos Todos, 2010. Plan de Manejo y registro de Unidad para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento sustentable de la Vida Silvestre (UMA): La Solución Somos Todos. Paraíso, Tabasco.

García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: Condiciones climáticas de la república mexicana. UNAM 98 pp.

García-López E., Zavala-Cruz, J., y Palma-López, D. J. 2006. Caracterización de las comunidades vegetales en un área afectada por derrames de hidrocarburos. *Terra Latinoamericana*, 24:17-26.

Herold, M., Román-Cuesta, R. M., Mollicone, D., Hirata, Y., Van Laake, P., Asner, G. P., Souza, C., Skutsch, M., Avitabile, V., & MacDicken, K. 2011. Options for monitoring and estimating historical carbon emissions from forest degradation in the context of REDD+. *Carbon Balance Manage.* 24 (6): 1-13. doi:10.1186/1750-0680-6-13.

Herrera-Silveira, J., A., Camacho-Rico, A., Pech-Poot, E., Pech-Cárdenas, M., Ramírez-Ramírez, J., y Teutli-Hernández, C. 2016. Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México. *Terra Latinoamericana*, 34: 61-72.

Herrera-Silveira J. A., Camacho-Rico, A., Caamal-Sosa, J., Cinco-Castro, S., Morales-Ojeda, S. M., Ramírez-Ramírez, J., Zenteno-Díaz, K., Pech-Poot, E. Y., Pech-Cárdenas, M., Carrillo-Baeza, L. B., Erosa-Angulo, J. E., Pérez-Martínez, O., y Teutli-Hernández, C. 2018. Base de datos de almacenes de

carbono en los manglares de México. *Elementos para políticas públicas* 2(1): 33-34.

Kauffman J. B., Donato D. C., y Adame, M. F. 2013. Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Documento de Trabajo 117. Bogor, Indonesia: CIFOR.

Kauffman, B., Hernández-Trejo, H., Jesús-García, M. C., Heider, C., Contreras-Sánchez, W. M. 2014a. Cálculo de las reservas de carbono en los ecosistemas de marismas y manglares de Pantanos de Centla, México. Comisión para la Cooperación Ambiental, América del Norte. 3 pp.

Kauffman, J. B., Heider, C., Norfolk, J., & Payton, F. 2014b. Carbon stocks of intact mangroves and carbon emissions arising from their conversion in the Dominican Republic. *Ecological Applications*, 24 (3): 518– 527. doi: 10.1890/13-0640.1.

Kelly, P. M., & Adger, W. N. 2000. Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Clim. Change*, 47 (4): 325-352.

Komiyama, A., Pongpan, S., & Kato, S. 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*. 21: 471–477.

Larcher, W. 1977. *Ecofisiología vegetal*. España: Omega.

Manrow V., M y Vilchez A., B. 2012. Estructura, composición florística, biomasa y carbon arriba del suelo en los manglares Laguna de Gandoca y Estero Moín, Limón, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(23): 1-18.

- Munasinghe, M., y Lutz, E. 1993. Environmental economics and valuation in development decisionmaking. World bank environment working paper No. 51, World Bank, Washington, D.C.
- Murdiyarsa, D., Donato, D., Kauffman, J. B., Kurnianto, S., Stidham, M., Kanninen, M. 2009. Carbon storage in mangrove and peatland ecosystems. A preliminary account from plots in Indonesia. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Murillo-Brito, Y., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Lagunes-Espinoza, L. del C., y Aldrete, A. 2017. Índice de sitio en plantaciones de *Cedrela odorata* en el trópico húmedo de México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*, 49(1): 15-31.
- Pérez-González, G., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., y Etchevers-Barra, J. 2012. Caracterización dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México. *Madera y Bosques*, 18(1): 7-24. doi: 10.21829/myb.2012.181511.
- Sachs J. 2010. Ataques a la ciencia del clima. Ciudad de México. Negocios.
- Sánchez-Páez, H., Ulloa-Delgado, G., A., y Tavera-Escobar, H., A. 2004. Manejo integral de los manglares por comunidades locales Caribe de Colombia. Proyecto Pd 60/01 Rev. 1 (F). Bogotá, Colombia. 335 p.
- Sanjurjo R., E. y Welsh C., S. 2005. Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. *Gaceta ecológica*, 74: 55-68.
- Sawczuk, A. R., Figueiredo, F. A., Nogueira, D. A., Farinha, W. L., y Floriani S. T. 2014. Alterações na estrutura horizontal, no período de 2002-2008, em floresta Ombrófila Mista no Centro-Sul do Estado do Paraná. *Ciência Florestal*. 24(1): 149-160.

- SEMARNAT. 2014. Versión de Difusión del Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC 2014-2018) [en línea]. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Consultado. Disponible en: [http://www.cenapred.unam.mx/es/documentosWeb/Avisos/cambio\\_climatico.pdf](http://www.cenapred.unam.mx/es/documentosWeb/Avisos/cambio_climatico.pdf).
- Schilling, A. C., Ferreira-Batista, J. L., y zarate-Do C. H. 2012. Ausência de estabilização da curva de acumulação de espécies em florestas tropicais. *Ciência Florestal*, 22(1): 101-111.
- Smith, T. J., & Whelan, K. R. T. 2006 Development of allometric relations for three mangrove species in South Florida for use in the Greater Everglades ecosystem restoration. *Wetlands Ecology and Management*, 14(5): 409–419.
- Spalding, M., Kainuma, M., y Collins, L. 2011. Atlas mundial de los manglares. OIMT, ISME. 320 p.
- Torres T., R. D., Ramirez S., A., y Najib F., F. 2013. Informe técnico del proceso de medición de carbono en 33 parcelas de manglar del sistema lagunar de Alvarado, Veracruz. Los Manglares de Veracruz: Potencial de captura de Carbono. Pronatura Veracruz A.C. Xalapa, Veracruz, México. 119 p.
- Troxler, T. G., Barr, J. G., Fuentes, J. D., Engel, V., Anderson, G., Sanchez, C. C., Lagomasino, D., Price, R. M., & Davis, S. E. 2015. Component-specific dynamics of riverine mangrove CO<sub>2</sub> efflux in the Florida coastal Everglades. *Agric. For. Meteorol.* 213: 273-282. doi: 10.1016/j.agrformet.2014.12.012.
- Valderrama-Landeros, L. H., Rodríguez-Zúñiga, M. T., Troche-Souza, C., Velázquez-Salazar, S., Villeda-Chávez, E., Alcántara-Maya, J. A., Vázquez-Balderas, B., Cruz-López, M. I., y Ressler, R. 2017. Manglares de México: actualización y exploración de los datos del sistema de monitoreo

1970/1980–2015. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. CONABIO, Editado en México. Ciudad de México. 128 p.

Villavicencio-Enríquez, L., y Valdez-Hernández, J. I. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia*, 37(4): 413–423.

Yepes, A., Zapata, M., Bolívar, J., Monsalve, A., Espinosa, S. M., Sierra C., P. C., y Sierra, A. 2016. Ecuaciones alométricas de biomasa aérea para la estimación de los contenidos de carbono en manglares del Caribe Colombiano. Universidad de Costa Rica. *Biología tropical*, 64(2): 913-926.

Zaldívar J., A., Herrera S., J., Coronado M., C., y Alonzo P., D. 2004. Estructura y productividad de los manglares en la reserva de biósfera Ría Celestún, Yucatán, México. *Madera y Bosques*, Número especial 2: 25–35.

Zavala-Cruz, J., y García-López, E. 2011. Suelos y vegetación de la cuenca del río Tonalá, Tabasco. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas. 206 p.

## CAPITULO III.

### 3. VALORACIÓN ECONÓMICA DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA DE LOS MANGLARES DE LA UMA LA SOLUCIÓN SOMOS TODOS, EN EL SURESTE DE MÉXICO.

Marín-Cruz, Gustavo<sup>1</sup>, Domínguez-Domínguez, Marivel<sup>2</sup>, Vázquez-Navarrete, César J.<sup>2</sup>, Martínez-Zurimendi, Pablo<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Programa docente de Posgrado en Producción Agroalimentaria en el Trópico. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Área de Ambiente. Periférico Carlos A. Molina s/n, Carretera Cárdenas-Huimanguillo Km 3.5, H. Cárdenas, Tabasco.

<sup>3</sup>El Colegio de la Frontera Sur. Km. 15.5 carr. Villahermosa-Reforma. 86280, R. Guineo, 2ª secc, Villahermosa, Tabasco, México.

#### 3.1. RESUMEN

Los manglares son ecosistemas muy importantes y productivos en sus diferentes servicios ecosistémicos, conocidos por su excelente capacidad de almacenar carbono en su biomasa aérea. En ese sentido, el objetivo de este trabajo es estimar la valoración económica de las tres especies de manglar (*Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, y *Avicennia germinans*) de la Unidad para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMA) La Solución Somos Todos, Paraíso, Tabasco. Para efectuar la valoración se empleó la cuantía del carbono almacenado en las tres especies y se le asignó el precio promedio de los créditos de carbono de Latinoamérica negociados en los mercados voluntarios de carbono (3.8 USD·MgCO<sub>2e</sub>) con un factor de conversión de (1 MgC = 3.67 MgCO<sub>2</sub>), es decir, 13.93 USD·MgC<sup>-1</sup> por su equivalente de carbono. Posteriormente, se determinó el valor monetario multiplicando las existencias de carbono presente en el ecosistema, por la superficie ocupada, por el precio de mercado. La especie con mayor valor económico fue *A. germinans* con 3,454.6 USD·ha<sup>-1</sup> ya que contiene mayor carbono almacenado en su biomasa aérea, seguido de *L. racemosa* con 2,120.1 USD·ha<sup>-1</sup> y *R. mangle* 1,771.9 USD·ha<sup>-1</sup>. El valor de la extensión total de la cobertura de manglar de la UMA fue de 12,709,600 USD equivalente a MX 243,439,678. Tomando en cuenta que el manglar almacena

en promedio  $5 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ , el valor monetario que podría recibir la UMA sería de  $69.65 \text{ USD}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  que equivalen a  $1,333.80 \text{ MX ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ , siempre y cuando el precio se conserve.

**Key words:** *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, Servicio ecosistémico, valor económico.

### 3.2. ABSTRACT

Mangroves are very important and productive ecosystems in their different ecosystem services, known for their excellent contribution to store carbon in their aerial biomass. In that senses, the objective of this work is to estimate the economic value of the three mangrove species (*Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, and *Avicennia germinans*) of the Unit for the Conservation, Management and Sustainable Use of Wildlife (UMA) La Solución Somos Todos, Paraíso, Tabasco. To carry out the valuation, the amount of carbon stored in the three species was used and the average price of the carbon credits of Latin America negotiated in the voluntary carbon markets was used ( $3.8\text{USD}\cdot\text{MgCO}_{2e}$ ) with a conversion factor of ( $1 \text{ MgC} = 3.67 \text{ MgCO}_2$ ), that is,  $13.93\text{USD}\cdot\text{MgC}^{-1}$  per carbon equivalent. Subsequently, the monetary value was determined by multiplying the carbon stocks present in the ecosystem, by the area occupied, by the market price. The species with the highest economic value was *A. germinans* with  $3,454.6 \text{ USD}\cdot\text{ha}^{-1}$  since it contains more carbon stored in its aerial biomass, followed by *L. racemosa* with  $2,120.1 \text{ USD}\cdot\text{ha}^{-1}$  and *R. mangle*  $1,771.9 \text{ USD}\cdot\text{ha}^{-1}$ . The value of the total extension of the mangrove coverage of the UMA was  $12,709,600 \text{ USD}$ . equivalent to  $\text{MX}243,439,678$ . Taking into account that the mangrove stores on mean  $5 \text{ MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ , the monetary value that the UMA could receive would be  $69.65 \text{ USD}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$  equivalent to  $1,333.80\text{MX ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ , as long as the price is retained.

**Key words:** *A. germinans*, economic value, ecosystem service, *L. racemosa*, *R. mangle*.

### 3.3. INTRODUCCIÓN

Los manglares son humedales costeros que ocupan un lugar privilegiado por su riqueza natural y los servicios ambientales que prestan, su importante desempeño ecológico ha sido reconocido internacionalmente, dicha importancia radica en su papel para la estabilización y protección de las costas, proporcionando hábitat y alimento a numerosas especies de peces, crustáceos y moluscos, así como a zonas de anidación de aves costeras (CONABIO 2008; Domínguez-Domínguez y Martínez-Zurimendi, 2019).

México abarca 1.7 % del territorio terrestre en el planeta y posee 10 % de la biodiversidad conocida (SEMARNAT, 2014). Para el 2015 México contaba con una extensión de manglar de 775,555 ha distribuido en toda su costa (Valderrama-Landero *et al.*, 2017). Sin embargo, en 25 años se han perdido 81,711 ha por causa de la degradación y sobreexplotación del ecosistema afectando su estructura y función (Mena, 2012; Valderrama *et al.*, 2014).

Se ha demostrado que los manglares brindan Servicios ecosistémicos (SE) de gran importancia para la sociedad. Entre los componentes del valor económico total que se ha calculado para diversos manglares se encuentra el filtrado de aguas residuales, la protección contra tormentas, los servicios recreativos, la protección de biodiversidad, y entre los más relevantes se encuentra el almacenamiento de carbono (Sanjurjo-Rivera y Welsh-Casas, 2005; Pandelton *et al.*, 2013). Con el paso del tiempo, el aporte de los servicios ecosistémicos a las economías de las naciones se ha considerado de mayor relevancia, por lo que se han desarrollado métodos para traducir en términos económicos la importancia de estos bienes y servicios que ofrece el ecosistema de manglar (Luisetti *et al.* 2013).

Los retos ambientales que actualmente enfrenta la sociedad hacen un llamado a nuevos enfoques de análisis, que incluyan la dimensión humana cuando se estudia el ambiente natural (TEEB, 2010). En el caso de la valoración económica, integrar aspectos sociales que se llevan a cabo alrededor del ecosistema que permite incorporar los elementos que, usualmente, se ubican fuera de la lógica del mercado.

La valoración de los servicios ecosistémicos resulta una poderosa herramienta para evaluar los ecosistemas desde un enfoque económico que permite conocer el estado actual y determinar la situación óptima para la toma de decisiones (Vázquez-Navarrete *et al.*, 2011).

En mira de lo importante que son los servicios ecosistémicos, en el protocolo de Kyoto establecieron los mecanismos de mercado para incentivar las transacciones de CO<sub>2</sub>, por parte de aquellos países que son responsables de las mayores emisiones por su gran industrialización, con el fin de reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI). Los cambios favorables a nivel legislativo en beneficio al ecosistema de manglar, han servido para que la gente tenga la oportunidad de conservar y aprovechar los manglares como lo marca la Ley General de Vida Silvestre (SEMARNAT, 2018), para la obtención de un ingreso económico y sustento de sus familias.

Los mercados determinan el precio del carbono en función de la futura oferta y demanda de créditos de carbono. Por lo tanto, idealmente, esta estimación representa lo que los inversores están dispuestos a pagar por capturar y almacenar una tonelada de carbono (Yee, 2010).

El precio del carbono debería reflejar el costo marginal de emitir una unidad adicional de gas de efecto invernadero, pues una entidad o país que quiera reducir emisiones, sólo lo hará hasta el punto en que el costo marginal de reducir una unidad adicional, empiece a ser mayor que el precio que debe pagar por seguirla emitiendo. Sin embargo, el problema alrededor de la determinación de este precio es ¿cómo hacerlo?, pues teóricamente debe ser equivalente al valor presente del daño económico generado por emitir una unidad adicional de GEI (Bowen, 2011).

Considerando lo mencionado anteriormente, en Europa el precio promedio de los Certificados de Reducción de Emisiones comercializados en la Fase II (2008-2012) del European Union Emissions Trading Scheme fue de €11.3·MgCO<sub>2e</sub>. Sin embargo, desde finales del año 2011 el precio de dichos certificados empezó a caer hasta llegar a €1·MgCO<sub>2e</sub>, principalmente por causa de la crisis económica que ha

experimentado Europa desde finales del 2008 y el incremento en la oferta de las Emission Reduction Units que son créditos sustituidos de los certificados de reducción de emisiones (CDM Policy Dialogue, 2012).

En Costa Rica, se llevó a cabo la valoración económica de servicios ecosistémicos brindados por el manglar de Golfo de Nicoya, de 13,450 ha y presentando un almacenamiento de carbono de 3,523.2 MgC·ha<sup>-1</sup>, con valor de referencia por el mercado voluntario de carbono de 4.9 USD/MgCO<sub>2e</sub> y para créditos de proyectos de reducción de las emisiones por deforestación y degradación forestal (REDD+) de 4.2 USD·MgCO<sub>2e</sub>. Obteniendo un valor económico de 17,263.7 USD·ha<sup>-1</sup> y un valor total de las existencias de carbono en el manglar de 232.20 millones USD para el mercado voluntario de carbono; y para la referencia REDD+ 14,797.4 USD·ha<sup>-1</sup>, y un valor total de las existencias de carbono en el manglar de 199.01 millones USD (Arguedas, 2015).

Los créditos de carbono de Latinoamérica negociados en los mercados voluntarios de carbono para el 2016 fueron 3.8 USD·MgCO<sub>2e</sub> con un factor de conversión de (1 MgC = 3.67 MgCO<sub>2e</sub>), es decir, 13.93 USD·MgC por su equivalente de carbono (Hamrick y Gallant, 2017), valores utilizados en la investigación de servicios de los ecosistemas de manglares en Galápagos, donde presenta valor económico de carbono almacenado subterráneo de 2,940 USD·ha<sup>-1</sup> a 22,838 USD·ha<sup>-1</sup> y más de 10,800,000 USD en toda la extensión del manglar (Tanner *et al.*, 2019).

En ese sentido, se han desarrollado estudios sobre valoración económica de carbono almacenado en ecosistemas de manglar en algunos países, sin embargo, la Unidad para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMA) La Solución Somos Todos, en el sureste de México no cuenta con esa información que beneficiaría al ejido aportando beneficios económicos y ecológicos.

Por las razones anteriores, en el presente estudio se planteó el objetivo de valorar económicamente el almacenamiento de carbono como servicio ecosistémico para cada especie y para el total de la extensión de manglar de la UMA La Solución

Somos Todos, y de esa manera contribuir en la generación de información que permita visibilizar los beneficios que la sociedad obtiene de la naturaleza en términos monetarios, los cuales, usualmente, representan cifras significativas que ayudan a argumentar a favor de esfuerzos de conservación.

### **3.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se desarrolló en la UMA La Solución Somos Todos localizada en el Municipio de Paraíso Tabasco, al Norte de la Capital del Estado. Se sitúa entre las coordenadas geográficas: Latitud Norte 18° 19' 00" y 18° 23' 00" Longitud Oeste: 93° 04' 00" y 93° 07' 00". La cobertura del bosque de manglar es de 1,730 ha, con elevación menor a 2 m.s.n.m, clima de tipo Am (f) cálido-húmedo, tropical lluvioso, con marcadas lluvias en verano (mayo a octubre) e invierno (noviembre a enero). La temperatura mínima es de 25.8°C a 27.8°C y máxima de 30.5°C; precipitación media anual es de 2050 mm (García, 1973) (Figura1).

El bosque de mangle de la UMA está compuesto por tres especies: mangle rojo, (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), y mangle negro (*Avicennia germinans*) (Ejido La Solución Somos Todos, 2010).

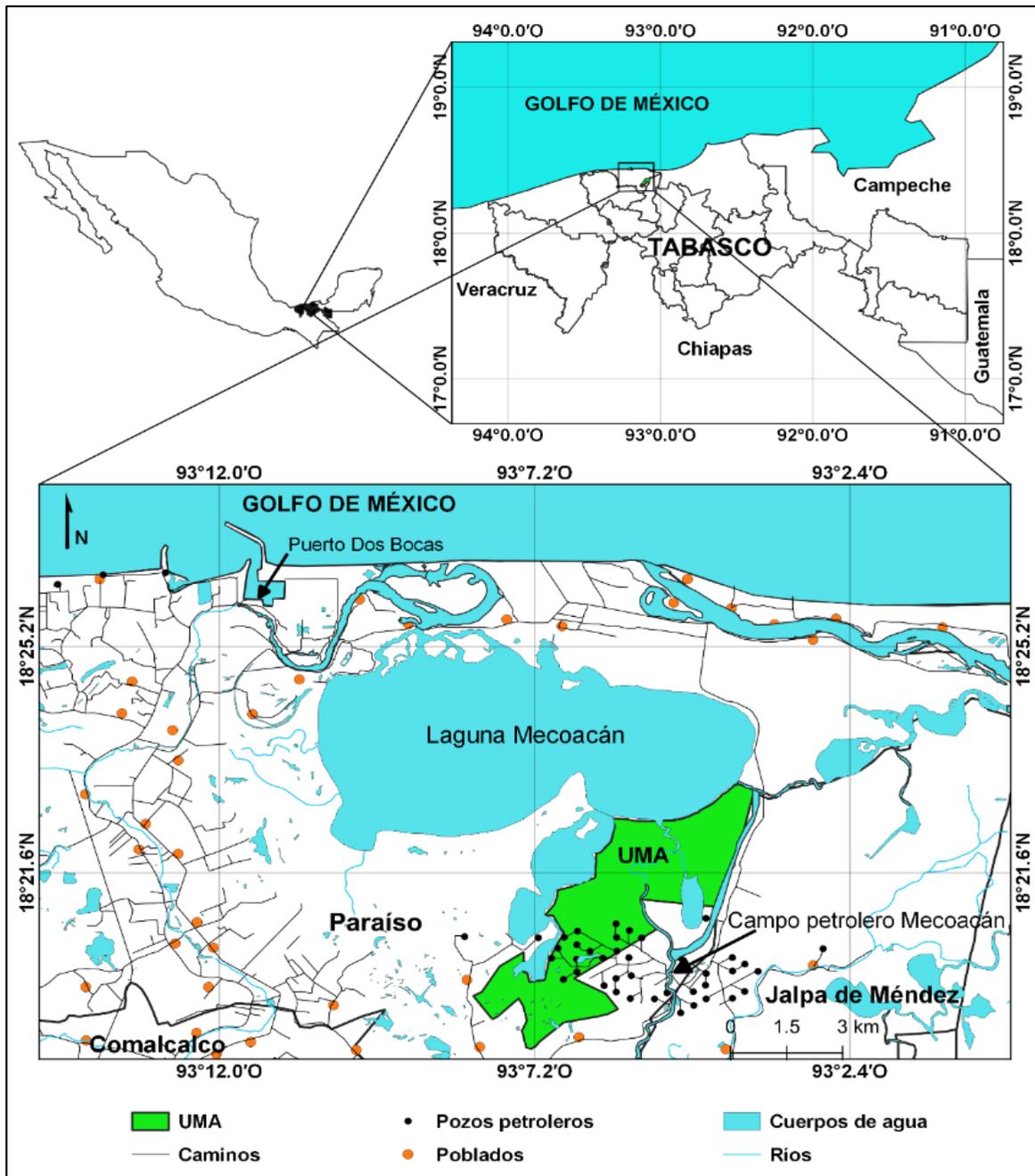


Figura 1 Ubicación geográfica de la UMA La Solución Somos Todos

### 3.4.1. Estimación del valor económico del carbono almacenado en manglares de la UMA La Solución Somos Todos.

Para esta estimación se utilizaron los valores ya calculados en el capítulo anterior de carbono almacenado en las especies *L. racemosa* (152.2 MgC·ha<sup>-1</sup>), *A. germinans* (248 MgC·ha<sup>-1</sup>) y *R. mangle* (127.2 MgC·ha<sup>-1</sup>). Se utilizó el precio promedio de los créditos de carbono de Latinoamérica negociados en los mercados voluntarios de carbono presentados en dólares americanos (USD). Para el 2016 fueron USD 3.8 USD·MgCO<sub>2e</sub> con un factor de conversión de (1 MgC = 3.67 MgCO<sub>2</sub>), es decir, 13.93/MgC por su equivalente de carbono (Hamrick y Gallant, 2017).

Para calcular el valor económico total del carbono almacenado en los manglares de la UMA se multiplicaron las existencias de carbono presente en el ecosistema, por la superficie ocupada, por el precio de mercado (Murray *et al.*, 2010), utilizando la siguiente ecuación (Vázquez-Navarrete *et al.*, 2011):

$$V_c = R_c \cdot S_{uc} \cdot P_{rc}$$

Donde:

V<sub>c</sub>: Es el económico del carbono almacenado

R<sub>c</sub>: Cantidad de carbono presente en el ecosistema de manglar (MgC·ha<sup>-1</sup>)

S<sub>uc</sub>: Superficie con el servicio ecosistémico (ha)

P<sub>rc</sub>: Precio por cantidad de carbono (USD·MgC<sup>-1</sup>)

### 3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los manglares tienen la capacidad de almacenar cantidades significativas de carbono, lo que les permite jugar un rol importante en la mitigación del cambio climático (Alongi, 2002). Los créditos de carbono solo pueden ser negociados si se almacenan actualmente, es decir, las emisiones que se sigan almacenando a partir

de la línea base (Yee, 2010) y verificar que la acumulación se mantenga o mejore (Forest Trend *et al.*, 2010).

### **3.5.1. Determinación del valor económico carbono almacenado en la UMA La Solución Somos Todos.**

La especie que mayor valor económico presentó 3,454.6 USD·ha<sup>-1</sup>, es *A. germinans*, seguido de *L. racemosa* con 2,120.1 USD·ha<sup>-1</sup> y *R. mangle* 1,771.9 USD·ha<sup>-1</sup> (Cuadro 1). Por lo tanto, el carbono almacenado fue de 527 MgC·ha<sup>-1</sup> lo que equivale a un precio de las compensaciones de carbono de América Latina negociadas en mercados voluntarios de 7,346.6 USD·ha<sup>-1</sup> y el valor de la extensión total de la cobertura de manglar asciende hasta 12,709,6 USD lo que equivale a MX 243,439,678 en moneda nacional. considerando la conversión del dólar de (1USD= MX19.15) (Cuadro 2), en ese sentido, se calculó con un enfoque basado en el mercado, que utiliza medidas fiscales desarrolladas para crear incentivos económicos para reducir las emisiones de carbono (Laffoley y Grimsditch, 2009). Por consiguiente, esta estimación representa lo que los inversores están dispuestos a pagar por almacenar una tonelada de carbono (Yee, 2010).

Estos recursos podrían utilizarse en el manejo y conservación de las áreas de manglar, ya que usualmente se carece de medios económicos para brindar un adecuado monitoreo (Duque *et al.*, 2014). Como consecuencia del pago por almacenamiento de carbono se beneficiaría el Ejido La Solución Somos Todos que depende de los recursos del manglar y así mismo se invertiría en acciones para el resguardo de los recursos naturales con vigilancia, seguimiento de las labores de conservación y restauración del ecosistema.

**Cuadro 1.** Valoración económica de carbono almacenado para cada especie

<b>Especie</b>	<b>Precio</b> (USD·MgCO <sub>2e</sub> )	<b>Carbono almacenado</b> (MgC·ha <sup>-1</sup> )	<b>Valor económico</b> (USD·ha <sup>-1</sup> )
<i>A. germinans</i>	13.93	248	3,454.6
<i>L. racemosa</i>	13.93	152.2	2,120.1
<i>R. mangle</i>	13.93	127.2	1,771.9

**Cuadro 2.** Valoración económica de carbono almacenado en la UMA.

<b>Precio</b> (USD/MgCO <sub>2e</sub> )	<b>Carbono almacenado</b> (MgC·ha <sup>-1</sup> )	<b>Superficie de manglar</b> (ha)	<b>Valor económico</b> (USD·ha <sup>-1</sup> )	<b>Valor total</b> (millones USD)
13.93	527.4	1,730	7,346.6	12,709,600

Se reporta que los manglares tienen el potencial para almacenar anualmente entre 3 y 6 MgC·ha<sup>-1</sup> (Maldonado *et al.*, 2014). En ese sentido, tomando una tasa de almacenamiento anual de 5 MgC·ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> como lo indican Murray *et al.* (2011) y Siikamäki *et al.* (2012), la UMA La Solución Somos Todos estaría recibiendo 69.65 USD·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup> utilizando el precio conservador de 13.39 USD·MgC<sup>-1</sup> equivalente a 1,333.80 MX ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>.

Es importante resaltar que en este estudio se obtuvo el carbono almacenado en la parte aérea del arbolado (fuste, ramas, follaje), sin embargo, también hay reportes de contenido total de carbono en suelo Histosol para dos sitios representativos de mangle (*R. mangle* y *L. racemosa*) en el oeste de Tabasco, el sitio 1 (471.9 Mg·ha<sup>-1</sup>) y el sitio 2 (822 Mg·ha<sup>-1</sup>) (Moreno-Cáliz *et al.*, 2002), tomando como referencia estos valores, se estima que La UMA La Solución Somos Todos podría recibir entre

6,318.7 USD·ha<sup>-1</sup> y 11,006.6 USD·ha<sup>-1</sup>, equivalente a 121,003 MX·ha<sup>-1</sup> y 210,776 MX·ha<sup>-1</sup>.

Los resultados indican que a medida que el servicio ecosistémico aumenta, el valor presente de los beneficios también lo hace. Zarate-Barrera *et al.* (2014) indican que, para el caso del almacenamiento de carbono por manglares, el beneficio máximo ya se habría alcanzado con el 10 % de protección.

De acuerdo con Zarate-Barrera *et al.* (2014), estos resultados son alentadores y dan luces acerca de los incentivos económicos que se podrían generar en cuanto a la protección y conservación de los ecosistemas costeros por parte de los hacedores de políticas medio ambientales. Adicionalmente a lo anterior, De la Peña *et al.*, (2010) indica que el almacenamiento por hectárea en el bosque es una muestra clara de que existe una potencialidad que debería ser incorporada a la toma de decisiones de uso de este ecosistema.

### **3.6. CONCLUSIONES**

La especie que mayor valor económico presenta en almacenamiento de carbono en la parte aérea como servicio ecosistémico es *A. germinans* con 47 % por encima de *L. racemosa* (28.9 %) y *R. mangle* (24.1 %) en la UMA La Solución Somos Todos.

El valor monetario de la UMA en dólares·ha<sup>-1</sup> de acuerdo al precio de las compensaciones de carbono de América Latina negociadas en mercados voluntarios es de 7,346.6 USD·ha<sup>-1</sup> y el valor de la superficie total de la cobertura de manglar asciende hasta 12,709,600. Por lo tanto, el ejercicio de la valoración sugiere que la extensión de manglar protegida es fundamental, ya que brindan un servicio ecosistémico que no solo protege la diversidad, sino que tiene efectos positivos sobre el bienestar de las regiones. Los incentivos económicos que se podrían generar servirían para la protección y conservación del ecosistema de manglar y para el beneficio de las comunidades.

Considerando la incertidumbre actual respecto a la alta volatilidad y bajo nivel de los precios del carbono, los resultados que se presentan en este documento no sólo son una herramienta valiosa para resaltar el papel que estos ecosistemas juegan en la mitigación del cambio climático, sino también para mostrar que la conservación y protección de los manglares puede ser atractiva en términos económicos.

Los problemas que en los últimos años han tenido que enfrentar los países para cumplir el Protocolo de Kyoto debido a la crisis financiera internacional y a la incapacidad de los compromisos de los países firmantes para reducir emisiones de manera efectiva, han generado desconfianza en este mercado. De esta forma, los resultados obtenidos a través del ejercicio de valoración propuesto en este documento podrían variar en alguna medida al considerar dichos elementos.

#### **AGRADECIMIENTOS:**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado durante mis estudios de Maestría en Ciencias, y así poder culminar con este trabajo de investigación. Al Colegio de Postgraduados Campus Tabasco por darme la oportunidad de culminar mi formación académica en un posgrado de calidad.

#### **3.7. REFERENCIAS**

Alongi, D. 2002. Present state and future of the world's mangrove forest. *Environmental Conservation* 29 (3): 331-349. Consultado: 3 nov. 2014. Disponible:<http://faculty.washington.edu/timbillo/Readings%20and%20documents/CO2%20and%20Forests%20readings/mangroves%20CO2.pdf>

Arguedas M., M. 2015. Valoración económica de servicios ecosistémicos brindados por el manglar del Golfo de Nicoya, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Tesis. Turrialba, Costa Rica, pp. 58-80.

Bowen, A. 2011. The case for carbon pricing. Policy Brief: Climate Change and the Environment & Centre for Climate Change Economics and Policy.

CONABIO, 2008. Manglares de México. 33 p. Consultado en: <http://www.conabio.gob.mx/conocimientos/manglares/doctos/manglares>.  
Fecha de consulta: 4 de febrero de 2019.

CDM Policy Dialogue, 2012. Climate Change, Carbon Markets and the CDM: A Call to Action. Luxemburgo.

De la Peña, A., Rojas, C. A., De la Peña, M. 2010. Valoración económica del manglar por almacenamiento de carbono, Ciénaga Grande de Santa Marta. *Clío América*, 4(7): 133 -150.

Domínguez-Domínguez, M., Zavala-Cruz, J., Rincón-Ramírez J., A., y Martínez-Zurimendi, P. 2019. Management strategies for the conservation, restoration and utilization of mangroves in southeastern Mexico. *Society of Wetland Scientist*. <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01136-z>.

Duque, G., Gómez, M., Fernández, V., Moura, P. 2014. The economic evaluation of carbon storage and sequestration as ecosystem services of mangroves: a case study from southeastern Brazil. *International Journal of Biodiversity Science*, 11: (1) 29-35.

Ejido La Solución Somos Todos. 2010. Plan de Manejo y registro de la Unidad para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento sustentable de la Vida Silvestre (UMA): La Solución Somos Todos. Paraíso, Tabasco.

Forest Trends, Grupo Katoomba, PNUMA. 2010. Pago por servicios ambientales: Primeros pasos en ecosistemas marinos y costeros. Versión 1.0. 2010. Consultado en: <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/imported/marine-getting-started-spanish-10-1025-web-small-pdf.pdf>

- Hamrick K., Gallant M. 2017. Unlocking potential: State of the voluntary carbon markets 2017. Consultado en: [https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2017/07/doc\\_5591.pdf](https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2017/07/doc_5591.pdf) Fecha de consulta: 3 de marzo de 2019.
- Laffoley D., Grimsditch G. D. 2009. The management of natural coastal carbon sinks. Iucn.
- Luisetti, T., Jackson, E., L., Turner, R., K. 2013. Valuing the European coastal blue carbon storage benefit. Marine Pollution Bulletin. 71 (2013): 101-106. Consultado: 20 oct. 2014. Disponible: <file:///C:/Users/admin/Downloads/MPB5645-libre.pdf>.
- Maldonado J., y Zárata T. 2014. Valuing blue carbon: carbon sequestration benefits provided by the Marine Protected Areas in Colombia. PLoS ONE (10): e0126627. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126627>.
- Mena, M. 2012. Análisis retrospectivo de la cobertura en los manglares Estero Morales y Cocoroca, en el Golfo de Nicoya, Puntarenas, Costa Rica. Tesis Lic. en Ciencias geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio. Heredia, Costa Rica. Universidad Nacional.
- Murray, B., Jenkins, A., Sifleet, S., Pendleton, L., Baldera, A. 2010. Payments for blue carbon: potential for protecting threatened coastal habitats. Nicholas Institute. Duke University. Consultado: 20 jul. 2014. Disponible: <http://nicholasinstitute.duke.edu/sites/default/files/publications/blue-carbon-report-paper.pdf>
- Murray, B., Pendleton, L., Jenkins, A., Sifleet, S. 2011. Green payments for blue carbon economic incentives for protecting threatened coastal habitats. Nicholas Institute Report 52 p. Disponible: <http://nicholasinstitute.duke.edu/sites/default/files/publications/blue-arbon-reportpaper.pdf>

Pendleton, L., Donato, D., Murray, B., Crooks, S., Jenkins, A., Siffler, S., Craft, C., Fourqurean, J., Kauffman, B., Marbá, N., Megonigal, P., Pidgeon, E., Herr, D., Gordon, D., Baldera, A. 2013. Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. Consultado: 10 dic. 2013. Disponible: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0043542>.

Sanjurjo-Rivera E., & Welsh-Casas S. 2005. Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. *Gaceta Ecológica*. 74, 55-68.

SEMARNAT. 2014. Versión de Difusión del Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC 2014-2018) [en línea]. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Consultado. Disponible en: [http://www.cenapred.unam.mx/es/documentosWeb/Avisos/cambio\\_climatico.pdf](http://www.cenapred.unam.mx/es/documentosWeb/Avisos/cambio_climatico.pdf)

SEMARNAT. 2018. Ley general de vida silvestre 2000. Última reforma publicada DOF 19-01-2018 [en línea]. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Siikamäki, J., Sanchirico, J., Jardine, S., McLaughlin, D., Morris, D. 2012. Blue carbon: global options for reducing emissions from degradation and development of coastal ecosystems. Consultado: 20 oct. 2014. Disponible: [http://www.rff.org/RFF/Documents/RFF-Rpt-2012-BlueCarbon\\_final\\_web.pdf](http://www.rff.org/RFF/Documents/RFF-Rpt-2012-BlueCarbon_final_web.pdf)

Tanner, M., K., Moity, N., Acosta, M. T., Marin-Jarrí, J., R., Aburto-Oropeza, O., y Salinas-de-León, P. 2019. Mangroves in the Galapagos: Ecosystem services and their valuation. *Ecological Economics*. (160): 12-24.

TEEB, 2010. The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations, edited by Pushpam Kumar, London and Washington D.C., Earthscan.

- Valderrama, L., Troche, C., Rodríguez, M., T., Márquez, D., Vázquez, B., Velázquez, S., Vázquez, A., Cruz, M., I., y Ressler, R. 2014. Evaluation of mangrove cover changes in Mexico during the 1970-2005 period. *Wetlands*, 34: 747-758.
- Valderrama-Landeros, L. H., Rodríguez-Zúñiga, M. T., Troche-Souza, C., Velázquez-Salazar, S., Villeda-Chávez, E., Alcántara-Maya, J. A., Vázquez-Balderas, B., Cruz-López, M. I., y Ressler, R. 2017. Manglares de México: actualización y exploración de los datos del sistema de monitoreo 1970/1980–2015. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. 128 pp.
- Vázquez-Navarrete, C. J., Mata-Zayas, E. E., Palma-López, D. J., Márquez-Couturier, G., López-Castañeda, A. 2011. Valoración económica de los bienes y servicios ambientales en zonas con influencia petrolera en Tabasco, Secretaría de recursos Naturales y Protección Ambiental. Villahermosa, Tabasco, México. 100 p.
- Yee, S. M. 2010. REDD and BLUE carbon: Carbon payments for mangrove conservation. *Cent. Mar. Biodivers. Conserv.*, UC San Diego, San Diego, CA, pp. 57.
- Zarate-Barrera, T. G., Higinio-Maldonado, J. 2014. El valor económico del blue carbon en Colombia: Beneficios de la captura y almacenamiento de carbono provistos por las Áreas Marinas Protegidas. Documentos CEDE.

## CAPITULO IV.

### 4. CONCLUSIONES GENERALES

Los manglares de la Unidad para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMA), La solución Somos Todos tienen la capacidad de brindar servicios ecosistémicos que benefician al ejido. De las tres especies evaluadas *A. germinans* es la que presentó menor densidad de árboles por hectárea, sin embargo, se obtuvieron mayores resultados de área basimétrica, biomasa aérea y por carbono almacenado, debido a que el 81 % de los árboles cuentan con diámetros importantes a la altura del pecho de 2.6 a 30 cm y el 19 % son árboles longevos de 31 hasta 114 cm, indicando la importancia de esta especie en cada rodal.

De los ocho rodales *L. racemosa* presentó la mayor densidad de árboles por hectárea en los rodales uno, dos y ocho, reflejándose en el área basimétrica y biomasa aérea en estos tres rodales. Sin embargo, siendo la especie con mayor densidad y dominancia, el contenido de carbono es menor que *A. germinans*, debido a que el 98 % de los árboles de *L. racemosa* están distribuidos entre 2.6 y 18 cm de diámetro normal, lo que origina un menor aporte de biomasa aérea y contenido de carbono.

La especie *R. mangle* es la que presentó menor área basimétrica en los ocho rodales, tomando en cuenta que el 98.2 % de los diámetros se distribuyen entre los 2.6 y 25 cm, similar a *L. racemosa*. Al ser un manglar de tipo franja que se distribuye a lo largo del dique lagunar en la planicie baja de inundación, expuestos al efecto de inundación con agua salada, a los embates de huracanes y tormentas, así como el bajo aporte de nutrientes, la especie ha reflejado una menor biomasa aérea y contenido de carbono.

El evaluar el índice de sitio de los ocho rodales, permitió definir las clases para la UMA La Solución Somos Todos, así como las condiciones de cada rodal para las tres especies de manglar. En ese sentido, *L. racemosa* es la especie que presentó una clase media-alta en el rodal 3 y 4, sin embargo, no se encuentra relación de

estas clases de calidad con la densidad de arbolado ni en el contenido de carbono. *A. germinans* presentó una clase media-baja para los ocho rodales, teniendo relación con la densidad de árboles, ya que los árboles más esbeltos son indicativos de una mayor calidad de estación.

El índice de valor de importancia puede ser utilizado como indicador de la importancia ecológica y el manejo de los ecosistemas de manglar debido a las especies dominantes, ya que brindan un equilibrio básico de la flora, protección y alimento a la fauna. En los ocho rodales la especie con mayor índice de valor de importancia fue *L. racemosa*, se obtuvieron valores mayores en los rodales uno, dos y ocho donde existe una fuerte relación con la densidad de árboles y la dominancia, disminuyendo en los rodales tres y seis distribuidos hacia el borde de la laguna Mecoacán donde *R. mangle* es dominante.

Los manglares son ecosistemas que juegan un papel importante en cuanto a la mitigación del cambio climático. La conservación y protección de los manglares puede ser atractiva en términos de valor económico, ya que para la UMA el valor monetario por almacenamiento de carbono fue de USD 12,709,600 equivalente a MX243,439,678 una cantidad importante para coadyuvar en la restauración, conservación o mantenimiento del ecosistema. En ese mismo sentido, tomando como referencia los 5 MgC·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>, la UMA podría recibir anualmente por almacenamiento de carbono, un valor económico de 69.65 USD·ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup> equivalente a 1,333.80 MX ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>, Existe la posibilidad de estimar anualmente el carbono almacenado para aumentar la precisión en cuanto al valor económico.