



Universidad Veracruzana

**UNIVERSIDAD VERACRUZANA**  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

**Campus – Tuxpan**

---

---

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

**Estimación del potencial de captura de carbono (C) del  
bosque de manglar de Tumulco de Tuxpan, Veracruz,  
México**

**TESIS**

**Que para obtener el título de:  
MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS  
MARINOS Y COSTEROS**

**P R E S E N T A:**

Biól. Luis Alberto Santiago Molina

**Director:**

Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz

**Co-Director**

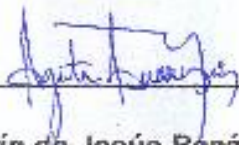
Dr. Ascención Capistrán Barradas

Tuxpan, Veracruz

Marzo de 2018

La presente tesis titulada "**Estimación del potencial de captura de carbono (C) del bosque de manglar de Tupilco de Tuxpan, Veracruz, México**" realizada por el Biólogo Luis Alberto Santiago Molina, bajo la dirección particular del Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz y con la codirección del Dr. Ascención Capistrán Barradas, ha sido aprobada y aceptada para poder llevar a cabo la solicitud de fecha de examen para obtener el grado de:

**MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS**



---

**Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz**

**DIRECTOR**



---

**Dr. Ascención Capistrán Barradas**

**CODIRECTOR**

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, México a mayo de 2017

La presente Tesis titulada "Estimación del potencial de captura de carbono (C) del bosque de manglar de Tumulco de Tuxpan, Veracruz, México" realizado por el C. Biól. Luis Alberto Santiago Molina, ha sido aprobada y aceptada para poder llevar a cabo la solicitud de fecha de examen para obtener el grado de:

**MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS**

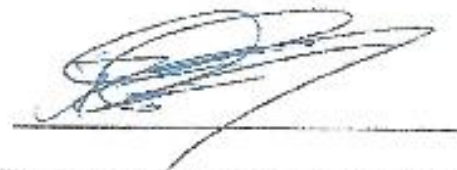
**COMISIÓN LECTORA**



**Dr. Arturo Serrano Solís**



**Dra. Lilitiana Cuervo López**



**Dr. Arturo Dominici Arosemena**

## **DEDICATORIA**

### **Mi padre celestial:**

Quien es el forjador para la culminación de gran proyecto y que siempre me ha dirigido en el camino correcto, cuidándome y apoyándome en todo momento de mi vida. ¡Gracias Dios!

### **A mis padres:**

Faustino Santiago Lopez

Rufina Molina Tomas

### **Mis hermanos:**

Jose de Jesus Santiago Molina

Faustino Santiago Molina

Juan Pablo Santiago Molina

## **AGRADECIMIENTOS**

### **Al Mtro. Agustín de Jesús Basañez Muñoz**

Por animarme a seguir con mis estudios profesionales y darme la oportunidad de seguir trabajando en la misma línea de investigación. Gracias también por sus buenos y acertados consejos que me brindó durante toda esta etapa de estudios y por su gran amistad.

### **Dr. Ascención Capistrán Barradas**

Quién con su carisma y buen sentido del humor siempre saco lo bueno de mí. Gracias por apoyarme en la realización de este proyecto con el fin de mejorar el trabajo.

### **Mi comisión lectora**

Dra. Liliana Cuervo López, Dr. Arturo Serrano Solís y al Dr. Arturo Dominici Arosemena, por dedicarle todo su esfuerzo y empeño para que este trabajo de tesis tuviese un mejor escrito, pero sobre todo gracias por su gran amistad que me brindaron durante todo este periodo de estudios.

### **Por el apoyo otorgado**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca, el cual fue un gran apoyo para estudiar la Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros y para la culminación de este trabajo de grado.

### **Y por último**

Al Mtro. Miguel Ángel Cruz Lucas, Mtro. Ozzy Sebastian Vásquez Bultrón y a los biólogos Francisco Zenil Tolentino, Ricardo Reyes, Set Donova y Dandi, quienes estuvieron apoyándome en el trabajo de campo, siempre estaré agradecido por su apoyo.

## ÍNDICE

Resumen.....	VIII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES .....	4
2.1. Importancia de los manglares frente al cambio climático .....	4
2.2. Inventario forestal .....	5
2.3. Materia orgánica y textura en suelo de bosques de manglar .....	7
2.4. Carbono en biomasa aérea y en suelo de bosques de manglar .....	9
2.5. Pérdida de los ecosistemas de manglar .....	16
III. OBJETIVOS .....	17
3.1. Objetivo general.....	17
3.2. Objetivos particulares .....	17
IV. ÁREA DE ESTUDIO .....	18
4.1. Características físicas.....	19
4.2. Principales especies de flora .....	19
V. MATERIAL Y MÉTODOS.....	20
5.1. Inventario forestal .....	22
5.2. Materia orgánica y textura del suelo.....	23
5.3. Estimación de captura de carbono .....	24
5.4. Análisis estadístico.....	26
VI. RESULTADOS.....	27
6.1. Inventario forestal .....	27
6.2. Materia orgánica y textura del suelo.....	37
6.3. Captura de carbono orgánico en biomasa aérea .....	38
6.4. Captura de carbono orgánico en suelo .....	42
VII. DISCUSIÓN .....	44
VIII. CONCLUSIÓN .....	53
IX. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL TRABAJO .....	55
X. BIBLIOGRAFÍA .....	58
XI. ANEXOS.....	75

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro. 1. Valores de densidad aparente con base a la textura para diferentes tipos de suelo.....	9
Cuadro. 2. Distribución de los cuadrantes en el bosque de manglar de Tumulco, Veracruz.....	20
Cuadro. 3. Índice de valor de importancia general para las especies de mangle en Tumulco, Tuxpan, Veracruz.....	35
Cuadro. 4. Índice de valor de importancia por punto de muestreo de las especies de mangle presentes en Tumulco, Tuxpan Veracruz.....	36
Cuadro. 5. Materia orgánica y textura del suelo de manglar por punto de muestreo.....	38
Cuadro. 6. Promedio de la biomasa total y carbono orgánico almacenado por especie de mangle para toda el área de estudio.....	39
Cuadro. 7. Promedio de la biomasa y carbono orgánico almacenado para <i>R. mangle</i> .....	39
Cuadro. 8. Promedio de la biomasa y carbono orgánico almacenado para <i>A. germinans</i> .....	40
Cuadro. 9. Promedio de la biomasa y carbono orgánico almacenado para <i>L. racemosa</i> .....	41
Cuadro. 10. Parámetros estimados para la determinación del potencial de carbono en suelo.....	42
Cuadro. 11. Parámetros para la determinación del almacenamiento de carbono en suelo por punto de muestreo.....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1. Área de estudio donde se encuentra el bosque de manglar de Tumulco, Tuxpan, Veracruz.....	18
Figura. 2. Croquis de distribución de los cuadrantes en el bosque de manglar de Tumulco, Veracruz.....	21
Figura. 3. Distribución de parcelas en cada transecto por punto de muestreo (100x100 m) .....	22
Figura. 4. Número de individuos por punto de muestreo en el manglar de Tumulco.....	27
Figura. 5. Número de individuos por especie próximos al estero de Tumulco.....	28
Figura. 6. Número de individuos por especie distantes del estero de Tumulco.....	29
Figura. 7. Altura promedio de <i>R. mangle</i> estimada por punto de muestreo.....	30
Figura. 8. DAP promedio de <i>R. mangle</i> por punto de muestreo.....	30
Figura. 9. Altura promedio de <i>A. germinans</i> estimada por punto de muestreo.....	31
Figura. 10. DAP promedio de <i>A. germinans</i> por punto de muestreo.....	31
Figura. 11. Altura promedio de <i>L. racemosa</i> estimada por punto de muestreo.....	32
Figura. 12. DAP promedio de <i>L. racemosa</i> por punto de muestreo.....	32
Figura. 13. Densidad promedio por especie y por punto de muestreo.....	33
Figura. 14. Densidad promedio por especie de acuerdo a la proximidad al estero de Tumulco.....	34
Figura. 15. Densidad promedio por especie de acuerdo al distanciamiento al estero de Tumulco.....	35



# Estimación del potencial de captura de carbono (C) del bosque de manglar de Tumulco de Tuxpan, Veracruz, México

## Resumen

Los humedales ocupan entre el 4-6 % de la superficie terrestre y desempeñan una gran diversidad de servicios ambientales, así como la importancia que juegan dentro del ciclo global del carbono. Dentro de estos ecosistemas se destacan los manglares, los cuales son uno de los mayores almacenadores de carbono a nivel mundial y forman parte de los ecosistemas más importantes en la mitigación del cambio climático. En el presente estudio se determinó la estructura y las reservas de carbono en la biomasa arbórea y en el suelo del bosque de manglar de Tumulco; haciendo uso de la metodología de Kauffman *et al.*, (2013). Se midió la altura y el diámetro a la altura del pecho de cada árbol mayor a 2.5 cm (solo para *R. mangle* 15 cm arriba de la última raíz adventicia) y se colectaron 2 muestras de suelo por transecto a 30 cm de profundidad. Se determinaron taxonómicamente las especies de *R. mangle*, *A. germinans* y *L. racemosa*. En relación al carbono almacenado en la biomasa aérea la especie de *A. germinans* capturó 28.555 Ton C/ha, seguida de *L. racemosa* con 19.508 Ton C/ha y *R. mangle* con 4.816 Ton C/ha; mientras que el carbono almacenado en el suelo del manglar de Tumulco fue de 147.41 Ton C/ha. En relación al almacenamiento de carbono en la biomasa arbórea y en el suelo del manglar de Tumulco, éstas fueron menores en comparación a las reportadas para los manglares de Sudamérica, pero similares a las reportadas en México. Por lo que el manglar de Tumulco ha demostrado la gran capacidad que tiene para retener carbono y hacer frente al cambio climático.

Palabras clave: Tumulco, manglares, estructura forestal, fijación de carbono, cambio climático.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el cambio climático a nivel mundial es hoy en día una realidad, y éste depende de muchos factores como: la radiación solar, los gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles. La concentración en la atmósfera de los gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) ha aumentado a partir de la revolución industrial y principalmente en los últimos 50 años, debido a las diversas actividades humanas, sobre todo la quema de combustibles fósiles y los cambios en el uso de suelos (IPCC, 2007).

Como parte de los esfuerzos para disminuir las concentraciones de dióxido de carbono atmosférico, algunos países firmaron el Protocolo de Kioto, comprometiéndose a establecer sus inventarios de almacenaje de carbono (Zhang *et al.*, 2007; Xiaonan *et al.*, 2008; Howe *et al.*, 2009) y la mayoría de estos países han integrado sus inventarios por región y por ecosistema (Moreno *et al.*, 2010).

El Fondo Nacional del Ambiente (FONAM), (2006) menciona que los bosques, tierras agrícolas y otros ecosistemas terrestres ofrecen un potencial de secuestro de carbono importante; además, se considera a las actividades forestales como aquellas a tomar en cuenta para el control, la reducción y/o la prevención de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (Salgado, 2004). Por ende, los bosques de la tierra tienen una enorme capacidad de absorción y

retención del CO<sub>2</sub>; y en la actualidad es ampliamente reconocido que los ecosistemas forestales pueden ayudar a reducir los impactos del cambio climático con un secuestro de carbono anual global estimado en 2 PG de carbono (1 PetaGramo = 1 Billón de toneladas métricas) (Richards y Stokes, 2003).

Los humedales ocupan solo entre el 4-6 % de la superficie terrestre (Mistch y Gosselink, 2000), pero a pesar de ello, tienen una capacidad de secuestro de carbono por unidad de área mucho mayor que otros sistemas (Bridgham *et al.*, 2006), esto se debe a la alta productividad de las plantas y a la baja descomposición de materia orgánica que ocurre en los suelos inundados (Collins y Kuehl, 2000). Los ecosistemas de manglar se desarrollan en zonas tropicales y subtropicales, principalmente alrededor de esteros, lagunas costeras, desembocadura de ríos y arroyos (CONABIO, 2009). Estos representan sólo el 0.7% de la superficie de bosques tropicales y son reconocidos como uno de los mayores almacenadores de carbono orgánico en el mundo con valores mayores a las 1,000 Ton C ha<sup>-1</sup> (Donato *et al.*, 2011). Esto es, tres veces más alta que la mayoría de los bosques terrestres con un almacenamiento menor a las 300 Ton C ha<sup>-1</sup> (IPCC, 2003).

Pese a la importancia ecológica y económica de los manglares, éstos son de los ecosistemas más amenazados del mundo por alteraciones relacionadas con actividades humanas (CONABIO, 2009). Ante esta situación, si los bosques de

manglar son perturbados, éstos son susceptibles de liberar grandes cantidades de gases de efecto invernadero (Kauffman *et al.*, 2011).

Cabe mencionar que, a pesar que el servicio ambiental de los ecosistemas de manglar como reserva de carbono es sumamente importante por su beneficio local, regional y mundial, es uno de los servicios menos estudiado (Kauffman *et al.*, 2011) y aún menos, el potencial que representan por tipo fisonómico y su relación con la proximidad al cuerpo de agua con el que se relacionan. Razón por la cual, la presente investigación tiene por objetivo determinar la cantidad de Carbono (C) almacenado en el bosque de manglar localizado en la comunidad de Cerro de Tumilco, municipio de Tuxpan, Veracruz, y valorar su potencial con relación a su proximidad al estero de Tumilco, esperando que la hipótesis planteada se compruebe: *encontrando una mayor cantidad de carbono almacenado en los sitios de muestreo más cercanos al cuerpo de agua.*

## II. ANTECEDENTES

### 2.1. Importancia de los manglares frente al cambio climático

A causa del aumento que se está dando actualmente en la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, se han implementado diferentes estrategias para capturar el carbono y así reducir la concentración del mismo a través de procesos bióticos y abióticos. Dentro del primer grupo estratégico comprende la fijación de CO<sub>2</sub> como biomasa sobre la superficie terrestre y el segundo son muy limitados debido a que su influencia es muy precisa sobre los complejos industriales y no intervienen con la eliminación directa de CO<sub>2</sub> que circula en la atmósfera (Kimble *et al.*, 2002).

Los ecosistemas de manglares prestan un servicio ambiental al planeta con respecto a los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI), debido a que a partir de un proceso complejo absorben el CO<sub>2</sub> mediante la fotosíntesis, fijando el carbono en su biomasa vegetal (tronco, ramas, raíces, hojas y sedimentos), liberando el oxígeno a través de un ciclo natural, donde también se benefician organismos detritívoros que digieren los carbohidratos presentes en las hojas caídas (De la Peña *et al.*, 2010).

De acuerdo a Donato *et al.*, (2011) los bosques de manglar forman parte del carbono azul y pueden almacenar cantidades excepcionalmente altas de carbono, ya que estudios en la región del Indo-Pacífico demuestran que estos ecosistemas

almacenan mayores concentraciones de carbono ( $\sim 1,000 \text{ ton C ha}^{-1}$ ), en comparación con los bosques boreales ( $\sim 350 \text{ ton C ha}^{-1}$ ), bosques templados ( $\sim 349 \text{ ton C ha}^{-1}$ ) y bosques tropicales ( $\sim 230 \text{ ton C ha}^{-1}$ ). En la Península de Yucatán, México los manglares de tipo petén y chaparro son los que más carbono orgánico (CO) almacenan (1,050 y 635 Ton C ha, respectivamente) lo cual demuestra que los humedales costeros, especialmente los manglares, son excelentes almacenadores de CO (Adame *et al.*, 2013).

## **2.2. Inventario forestal**

Es común encontrar diferentes tipos y estructuras dentro del bosque de manglar, por lo cual se recomienda establecer puntos de muestreo de forma tal que se incluya un gradiente desde la costa hasta los límites terrestres. Cambios pequeños en la elevación topográfica pueden resultar en variaciones importantes en la frecuencia de la inundación de la marea, lo cual resulta en variaciones en la composición del bosque, la biomasa de los árboles, la profundidad del suelo y, por lo tanto, en las reservas de carbono las cuales pueden ser divididos en cinco componentes: 1) vegetación aérea; 2) biomasa subterránea; 3) madera muerta; 4) hojarasca; y 5) suelo (Kauffman y Donato, 2012).

Internacionalmente, la determinación de la estructura de bosque de manglar se lleva a cabo por métodos que difieren entre sí. En Cuba, la estructura de los bosques de manglar varía en función de las condiciones de inundación, salinidad, sustrato y

composición florística de la vegetación, las cuales presentaron variaciones en cuanto a la altura de dosel, el área basal y la densidad de árboles, en parcelas de 10 x 10m (Menéndez *et al.*, 2006). Los manglares presentan una gran variedad de estructuras, que son el resultado de la topografía, el sustrato, la latitud y la hidrología; estos han sido clasificados con base a su densidad, área basal y altura. Dentro de ésta clasificación común, se caracteriza: 1) manglares de franja; 2) manglares ribereños; 3) manglares de cuenca; y 4) manglares chaparros (Lugo y Snedaker, 1974; Flores-Verdugo *et al.*, 1992).

En los manglares de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México, se reconocieron cuatro tipos de vegetación de acuerdo a la clasificación de Murray *et al.*, (2003) para los diferentes sitios de muestreo: A) manglar alto (14 m altura y 10 cm de DAP), B) manglar mediano (11 m altura y 4 cm), C) manglar chaparro (1.5 m altura y 2 cm) y D) marismas. La densidad para los manglares altos fue de 7,000 arb ha<sup>-1</sup> de *R. mangle* y *L. racemosa*, mientras que los manglares medianos presentaron 9,000~11,000 arb ha<sup>-1</sup> de *R. mangle* y los manglares chaparros fue de 47,000 arb ha<sup>-1</sup> de *R. mangle* y *A. germinans* (Adame *et al.*, 2013).

Con relación al bosque de manglar que se encuentra en la comunidad Cerro de Tumilco, Veracruz, Basáñez *et al.*, (2006) reporta valores promedios de alturas y diámetros para las diferentes especies de mangle, la cual la especie de *R. mangle* presentaron valores de 6.13 m y DAP de 7.09 cm, para *A. germinans* se tuvieron

promedios de altura de 8.13 m y 17.64 cm de DAP y por último para los individuos de *L. racemosa* se reportan promedios de 6.33 m de altura y 12.75 cm de DAP.

### **2.3. Materia orgánica y textura en suelo de bosques de manglar**

Se conoce como Materia Orgánica del Suelo (MOS) a un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo (Rosell, 1999). Además, incluye una fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos (Aguilera, 2000). El Carbono Orgánico del suelo (COS) es el principal elemento que forma parte de la MOS, por esto es común que ambos términos se confundan o se hable indistintamente de uno u otro. Al respecto cabe señalar que los métodos analíticos determinan el Carbono Orgánico, (calcinación húmeda –Método de Walkley-Black- o seca –horno de inducción a altas temperaturas-) y que la Materia Orgánica se estima a partir del COS multiplicado por factores empíricos como el de van Benmelen equivalente 1.724 (Jackson, 1964).

Los flujos que más comúnmente se distinguen en los ecosistemas de manglar son la caída y descomposición de hojarasca, exportación/importación de carbono orgánico particulado y disuelto por efecto de la hidrología (fuente de agua, hidroperíodo, dirección y velocidad de flujos de agua) (Herrera-Silveira *et al.*, 2016). Es por eso que muchos manglares tienen suelos ricos en materia orgánica con



grandes cantidades de carbono. Una gran proporción de la reserva de carbono se encuentra en el subsuelo, ya que los manglares poseen suelos ricos en materia orgánica. Es por ello que, si los suelos de los manglares son perturbados, son susceptibles de liberar grandes cantidades de gases de efecto invernadero (Kauffman *et al.*, 2013).

En el estudio realizado en dos sitios a la orilla del área natural protegida “Laguna de Términos”, en el suroeste de la península de Yucatán, México, los contenidos de materia orgánica en suelos de manglar para el estero-Pargo fluctuaron entre 4.84 y 33.95 % y entre 7.66 y 27.12 % para Bahamitas, los valores más altos fueron encontrados durante las estaciones de nortes y de secas de 0 a 30 cm de profundidad en el suelo (Moreno *et al.*, 2010).

Los suelos orgánicos pueden actuar como fuentes o sumideros de dióxido de carbono atmosférico dependiendo de las prácticas de uso de suelo, el clima, la textura y la topografía (Zinn *et al.*, 2005; Lal, 2005). Los suelos de textura fina, bien estructurados y con altos contenidos de materia orgánica presentan valores más bajos de densidad aparente que los suelos de textura gruesa, poco estructurados y con bajos contenidos de materia orgánica (Rubio, 2010). Algunos valores de referencia de la densidad Aparente con relación a la Textura, fueron establecidos por Schargel y Delgado (1990) y Porta *et al.*, (1999).

Cuadro. 1. Valores de densidad aparente con base a la textura para diferentes tipos de suelo.

<b>Schargel y Delgado (1990)</b>		<b>Porta et al., (1999)</b>	
Textura	Densidad Aparente	Textura	Densidad Aparente Crítica
Fina (arcillosos)	1.00 – 1.30 Mg m <sup>3</sup>	Franco arcillosa	1.55 Mg m <sup>3</sup>
Media (francos)	1.30 – 1.50 Mg m <sup>3</sup>	Franco limosa	1.65 Mg m <sup>3</sup>
Gruesa (arenosos)	1.50 – 1.70 Mg m <sup>3</sup>	Franco arenosa fina	1.80 Mg m <sup>3</sup>
		Arenosa franca fina	1.85 Mg m <sup>3</sup>

La descomposición microbial es más rápida en presencia de oxígeno, el cual actúa como receptor de electrones durante la oxidación aeróbica de compuestos orgánicos, pero el oxígeno disminuye cuando los poros están llenos de agua, entonces funcionan los organismos facultativos y la descomposición se vuelve más lenta acumulándose grandes cantidades de materia orgánica (Brady y Weil, 1999).

#### **2.4. Carbono en biomasa aérea y en suelo de bosques de manglar**

La biomasa forestal se define como el peso (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo. Normalmente es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde o seco. La determinación adecuada de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite establecer los montos de carbono y otros elementos químicos existentes. Información de especial importancia en la actualidad, debido a la necesidad de conocer el carbono capturado por los bosques naturales y plantaciones, como un medio para mitigar el cambio climático generado por el consumo de combustibles fósiles (Schlegel *et al.*, 2000).

La biomasa aérea es el criterio de estratificación más apropiado, debido a que el stock de carbono depende en gran parte de ésta. La biomasa arbórea se estima en funciones de regresión de biomasa que se han ajustado para algunos bosques y especies. Una vez que se obtiene la biomasa en toneladas, se multiplica por el contenido de carbono ponderado por especie o tipo de bosque. Es común utilizar un factor de 0.5 ya que la literatura indica que, en promedio, la materia vegetal contiene un 50% de carbono (Schlegel *et al.*, 2001). Por ejemplo, en Palau y Yap, Micronesia se registró una concentración de carbono de los árboles de 46.3% en *Brugueira gymnorrhiza*, 45.9% para *Rhizophora apiculata* y de 47.1% en *Sonneratia alba*, lo cual indica que la concentración de carbono en la materia vegetal suele ser ligeramente inferior al 50% (Kauffman *et al.*, 2011).

Existen varias publicaciones que reportan ecuaciones alométricas para determinar la biomasa de los manglares (por ejemplo, Saenger, 2002; Chave *et al.*, 2005; Smith y Whelan, 2006; Komiyama *et al.*, 2008; Kauffman y Cole, 2010). Como las ecuaciones son específicas para cada especie de mangle, antes de decidir cuáles utilizar hay que considerar la región geográfica, el clima y las especies del área de estudio. Idealmente, hay que elegir ecuaciones desarrolladas en la región del área de estudio. La densidad, morfología y relaciones altura-diámetro de la madera varían de forma considerable en diferentes sitios; esto puede afectar la precisión de las ecuaciones (Kauffman *et al.*, 2013).

La biomasa o cantidad en materia acumulada en un ecosistema de manglar puede ser de tan solo 8 Mg ha<sup>-1</sup> en manglares tipo matorral, o alcanzar valores mayores a los 500 Mg ha<sup>-1</sup> en bosques ribereños o de franja (Kauffman y Cole, 2010; Kauffman *et al.*, 2011).

Un estudio realizado en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an estimó la biomasa total arriba del suelo. Se registraron los valores más altos de biomasa aérea en Isla Pitaya con 176.2 Ton C/ha<sup>-1</sup> y Cayo Culebra con 144.9 Ton ha<sup>-1</sup>, mientras que los valores más bajos se encontraron en La Raya con 7.1 Ton C/ ha<sup>-1</sup>, seguida de El Playón con 5.3 Ton C/ ha<sup>-1</sup> y Xamach con 3.0 ton ha<sup>-1</sup> (Adame *et al.*, 2013).

Los inventarios y emisiones de gases de efecto invernadero por lo general se reportan en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>); debido a que el dióxido de carbono es el gas de efecto invernadero más común derivado del carbono y con menores contribuciones de metano (CH<sub>4</sub>) (Kauffman *et al.*, 2013). Los suelos inundados, como los humedales favorecen la producción de metano (CH<sub>4</sub>), el cual es considerado un gas de efecto invernadero, con un potencial de calentamiento global 21 veces mayor al del CO<sub>2</sub> (Hernández, 2010). Esto se debe a que en los suelos de los humedales se llevan a cabo procesos anaerobios como la metanogénesis, cuyo producto final es el metano (Tauchnitz *et al.*, 2007).

Por otra parte, el carbono (C) en el suelo del bosque de manglar un componente importante y su medición es indispensable; puede contribuir aproximadamente 50-70% y a veces hasta el 90% de la reserva total del carbono almacenado que en los otros componentes del bosque (biomasa aérea, hojarasca, raíces y madera muerta). En los manglares, la vegetación no arbórea y la hojarasca suelen tener poca importancia y frecuentemente pueden excluirse del análisis. Los árboles siempre deben ser incluidos ya que son relativamente fáciles de muestrear, su biomasa puede calcularse de manera eficiente con ecuaciones alométricas y son fuertemente afectados por el cambio de uso del suelo (Malhi *et al.*, 2009; Kauffman y Donato 2012).

En los suelos orgánicos de manglares, los promedios de descomposición de material orgánico suelen ser más bajos por las condiciones anaerobias, por lo tanto, el potencial de almacenamiento de carbono en el suelo puede ser más alto que en sistemas de agua dulce (Izaurrealde *et al.*, 2001). Los componentes de carbono más vulnerables son la biomasa aérea y el suelo en los primeros 30 cm de profundidad. Sin embargo, en los suelos orgánicos de los humedales, todo el componente del subsuelo puede ser susceptible a la pérdida debido a las marejadas por tormentas tropicales y a la descomposición acelerada como resultado de cambios de uso del suelo. (Kauffman *et al.*, 2013).

En el caso del suelo, éste también representa un papel importante en el ciclo del carbono (C) de la tierra porque en él se encuentra la principal reserva del ecosistema terrestre. Se ha estimado que el carbono orgánico (CO) en suelos del mundo es de 1 500 pico gramos (pg), cerca de 2.1 veces más que en la atmósfera y cerca de 2.7 veces más que la reserva biótica que comprende a las plantas de la tierra (Neill *et al.*, 1998). Esto significa que existe aproximadamente tres veces más carbono en los suelos que en la vegetación; más aún, se ha encontrado que el mayor promedio de carbono terrestre ocurre en los suelos orgánicos (Histosoles, 133.7 kg m<sup>-2</sup>); esto se debe a los valores bajos de pH, estado nutrimental y condiciones anaeróbicas que contribuyen a la acumulación del carbono (Tarnocai, 1998).

El componente subterráneo es por lo general el más importante en los manglares y su medición es indispensable para determinar las dinámicas a largo plazo del cambio climático y el manejo del uso de suelo. Sin embargo, a pesar de su importancia, el suelo es el componente menos estudiado en los manglares. Esto probablemente se deba a la dificultad de obtener estimaciones adecuadas y al reciente reconocimiento de la importancia de los manglares como reservas de carbono a nivel global. Para medir de forma adecuada las reservas de carbono en el suelo, deben considerarse tres parámetros: 1) densidad del suelo, 2) profundidad de la muestra y 3) porcentaje de carbono orgánico (Kauffman *et al.*, 2013).

- 1) La densidad de volumen o densidad aparente se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, tal cual se encuentra

en su emplazamiento natural, incluyendo el espacio poroso (Pinot, 2000). Para medir la densidad aparente se retira del campo una muestra de suelo de volumen conocido y se seca en el horno a 105 °C, hasta que alcanza un peso constante. La densidad aparente se calcula dividiendo el peso seco del suelo por el volumen que ocupaba en el campo. Dependiendo del uso que vayan a tener los datos de densidad aparente del suelo cabe distinguir dos medidas de densidad aparente: la densidad aparente global y la densidad aparente de la tierra fina (fracción del suelo con tamaño de partícula inferior a 2 mm). La densidad aparente de la tierra fina tiene una gran importancia desde el punto de vista del manejo y ecología del suelo, así como para referir a volúmenes de suelo los datos de laboratorio y realizar evaluaciones relativas a los ciclos biogeoquímicos de los elementos. (Rubio, 2010).

La densidad aparente es afectada por las partículas sólidas y por el espacio poroso (Barry, 1999), el cual a su vez está determinado principalmente por la materia orgánica del suelo (MO) (Stine, 2002). A medida que aumenta la MO y el espacio poroso, disminuye la densidad aparente y viceversa (Salamanca y Sadeghian, 2005). A su vez, una evaluación precisa de los stocks de carbono almacenados en el suelo requiere considerar el valor de este parámetro. A nivel de ecosistema el análisis de los flujos de agua y nutrientes se hace normalmente sobre la base de superficies y volúmenes (Flint y Childs, 1984; Muller y Hamilton, 1992).

- 2) Es muy importante decidir a qué profundidad deberán colectarse las muestras. Idealmente, se debe de considerar toda la profundidad del suelo hasta la roca madre o arena de coral. Por lo general, los manglares tienen suelos orgánicos ricos en carbono que miden desde 0,50 metros hasta más de 3 metros. Varias estimaciones en bosques terrestres limitan sus muestreos a los primeros 30 cm, ya que la mayoría del carbono se encuentra a esta profundidad y es esta capa la más vulnerable a cambios de uso del suelo. Para comparar con otros ecosistemas, el perfil del suelo deberá ser muestreado por lo menos en los primeros 30 cm y deberán incluirse muestras representativas de la profundidad entre 30 y 100 cm (Kauffman *et al.*, 2013).
- 3) El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69.8 % del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001). El C orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental (Jackson, 1964). En condiciones naturales, el C orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de C del suelo en forma de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Swift, 2001 y Aguilera, 2000), erosión y lixiviación. Los suelos contienen más C que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera (Swift, 2001). El carbono en los suelos puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica (Jackson, 1964). La cantidad total de C orgánico almacenada en los suelos ha sido estimada



por diversos métodos (Post *et al.*, 1982 y Swift, 2001) y su valor es cercano a 1.500 Pg a 1 m de profundidad (Schlesinger, 1990; Gifford, 1994; Swift, 2001 y FAO, 2001).

## **2.5. Pérdida de los ecosistemas de manglar**

Los bosques de manglar son unos de los ecosistemas más amenazados del mundo, y estos a su vez se encuentran continuamente afectados por la contaminación y la deforestación (Alongi, 2002). La deforestación de los manglares se ha incrementado de manera exponencial en las últimas décadas, a nivel mundial se ha perdido aproximadamente el 23 % en los últimos 20 años (FAO, 2007). De ésta pérdida, México se encuentra entre los diez países con mayores tasas de deforestación con una estimación de 10,000 ha de manglares al año por consecuencia del desarrollo turístico (CONABIO, 2008).

La deforestación y el cambio de uso del suelo en la actualidad representan el 8-20% de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de actividades humanas, sólo superada por combustión de combustibles fósiles (Donato *et al.*, 2011). Estimaciones conservadoras, en África Central se liberan mil doscientas noventa y nueve toneladas de dióxido de carbono por cada hectárea de manglar virgen que se haya talado (PNUMA, 2013).

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

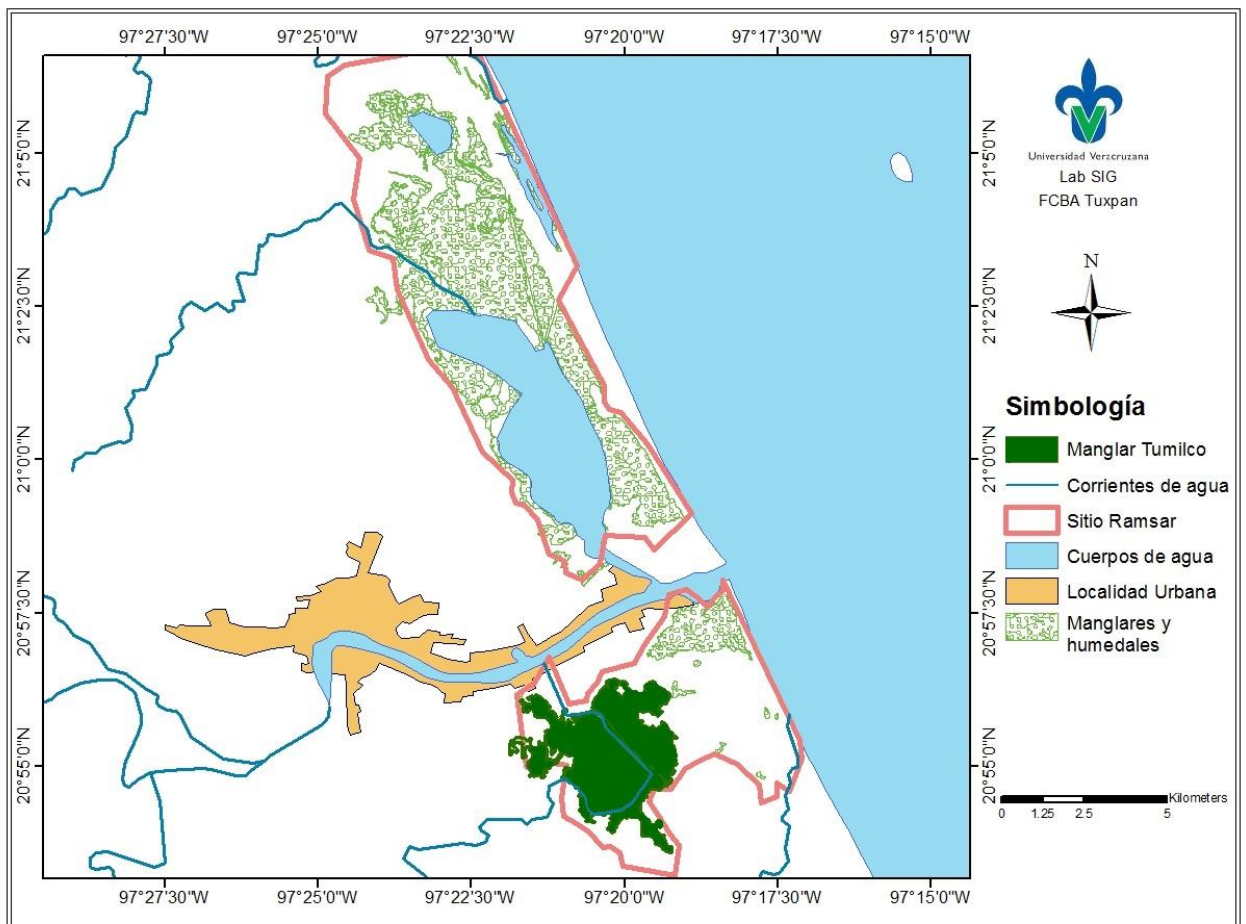
- Determinar la estructura y reservas de carbono (C) almacenado en el bosque del manglar de Tumulco, Tuxpan, Veracruz.

#### **3.2. Objetivos particulares**

- Realizar un inventario forestal del bosque de manglar.
- Establecer el contenido de materia orgánica y textura del suelo del bosque de manglar.
- Estimar el carbono orgánico almacenado en la biomasa arbórea y suelo del bosque de manglar.

## IV. ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo se llevó a cabo en el bosque de manglar del Ejido Cerro de Tumilco que forma parte del sitio Ramsar No. 1602 “Manglares y Humedales de Tuxpan”. En el ejido Cerro de Tumilco se encuentran más de 200 hectáreas de manglar (Basañez *et al.*, 2006), con una ubicación geográfica de latitud Norte 20°54' a 20°56' y longitud Oeste 97°21' a 97°18' (Fig. 1).



**Figura.1.** Área de estudio donde se encuentra el bosque de manglar de Tumilco, Tuxpan, Veracruz.

#### 4.1. Características físicas

El Sistema descrito está situado en el clima Am (f) cálido húmedo, con una temperatura media anual de 22 °C, siendo el mes más frío con 18 ° C en promedio. La precipitación del mes más seco es menor a 60 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal de mayor de 10.2 % del total anual (Lara-Domínguez, 2009). La estación seca va de noviembre a mayo encontrándose el mes más seco en enero y la lluviosa de junio a octubre siendo julio el mes más lluvioso. Los suelos presentes el estero de Tumilco se encuentran el Vertisol (Vp), Gleysol (Ge y Gv), pero en las elevaciones hacia el sureste, donde se asienta el Ejido Cerro de Tumilco, se observan los suelos, Regosol (Rc) y Vertisol (Vp) (INEGI, 2001).

#### 4.2. Principales especies de flora

Los principales tipos de vegetación encontrados en el sistema estuarino "Estero de Tumilco" son las siguientes; *R. mangle* (mangle rojo), *L. racemosa* (mangle blanco), *A. germinans* (mangle negro), *Conocarpus erectus* (mangle falso), *Typha latifolia* (tular) y *Quercus oleoides* (encino tropical). También se encuentran especies asociadas que corresponden a la selva mediana subperennifolia como *Acacia cornígera* (cornezuelo), *Bromelia pinguin* (piñuela), *Bursera simaruba* (chaká), *Coccoloba barbadensis* (tepalcahuite), *Psidium guajava* (guayaba), *Jacquinia macrocarpa* (limoncillo), *Viscum álbum* (muérdago), *Solanum sp*, *Miconia argétea* (capulincillo), *Guazuma ulmifolia* (guasima) y *Zamia sp* (INEGI, 2001).

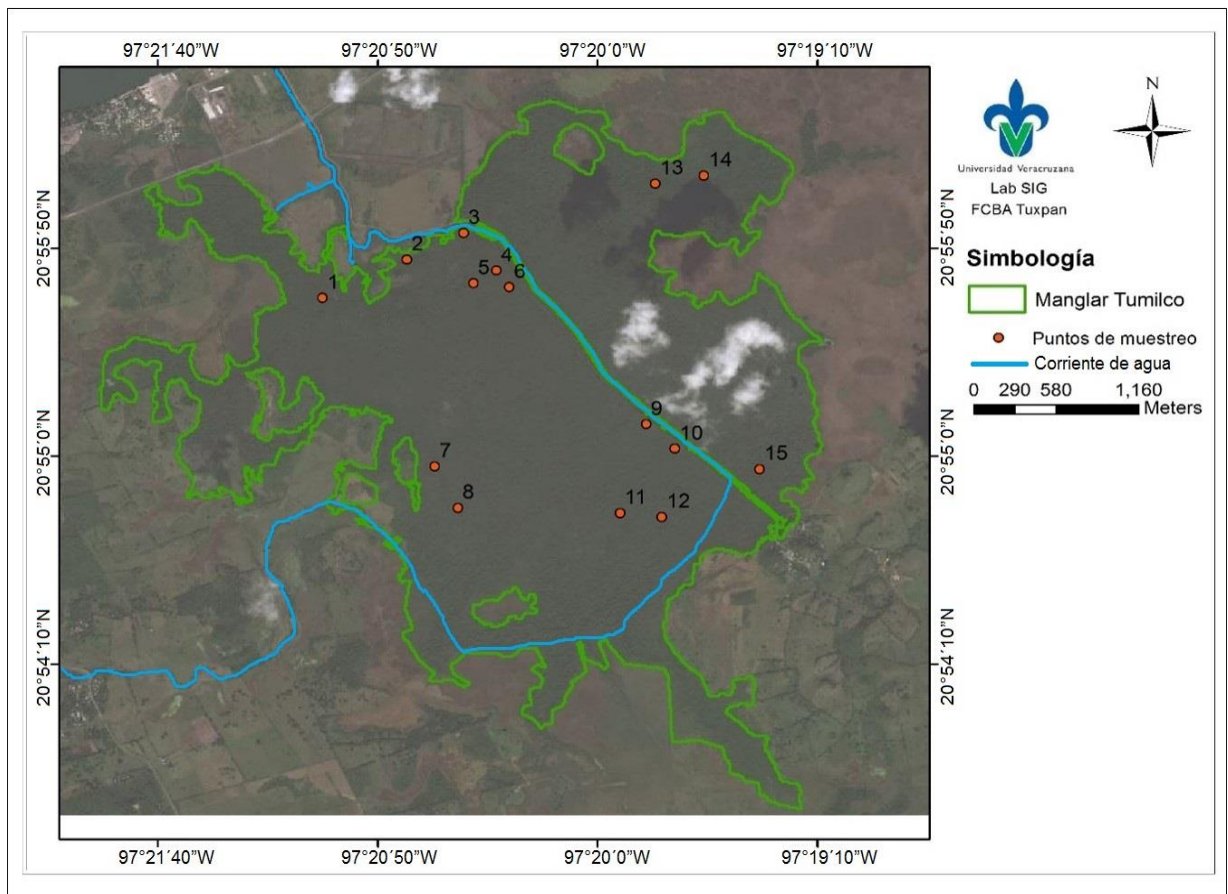
## V. MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización del presente trabajo de investigación, se utilizó el protocolo en estudios de estructura y biomasa de manglares en el Indo-Pacífico (Indonesia y Micronesia) empleada por Murdiyarso *et al.*, (2009) y Donato *et al.*, (2011); Manrow-Villalobos y Vilchez-Alvarado, (2012) aplicada para América, en Costa Rica y Kauffman *et al.*, (2013) en México (Área Natural Protegida la Encrucijada). Para la comprobación de la hipótesis planteada, se realizó una modificación que consistió en establecer 15 cuadrantes de 100 x 100 m distribuidos al azar en el bosque de manglar de Tumulco, contando así con una distribución que abarcara todo el manglar (con cuadrantes próximos y distantes al estero de Tumulco); cada cuadrante fue georreferenciado en su punto central (Ver Anexo 1), quedando distribuidos de la siguiente forma (Cuadro 2 y Fig. 2):

Cuadro 2. Distribución de los cuadrantes en el Bosque de manglar de Tumulco, Veracruz.

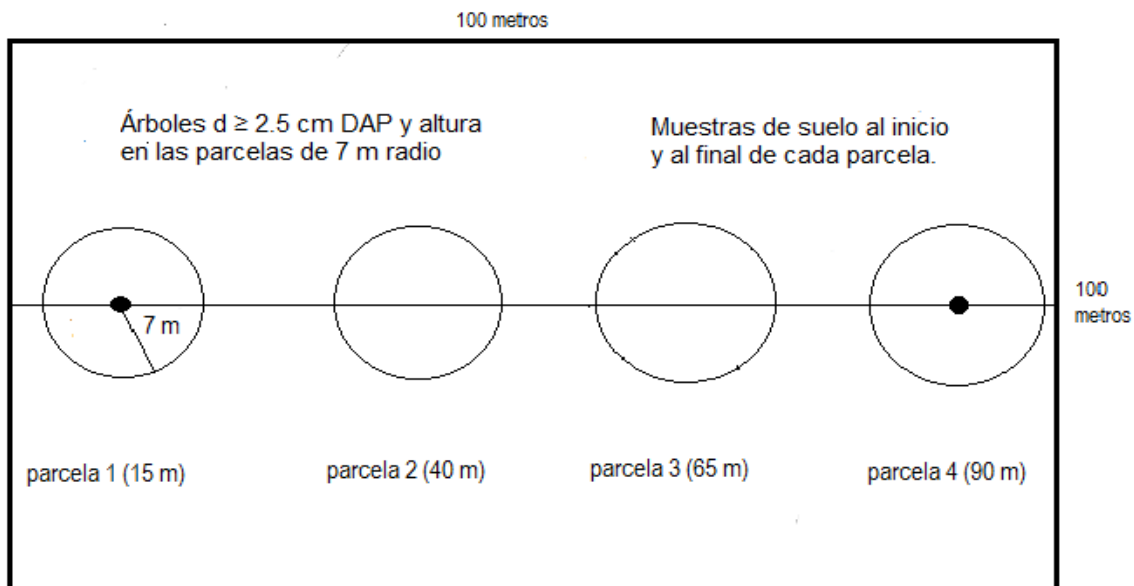
<b>Distribución</b>	<b>Cuadrantes</b>
Próximos ( $\leq 100\text{m}$ ) al cuerpo de Agua (estero de Tumulco)	3, 4, 6, 9, 10 y 15
Alejados ( $> 100\text{ m}$ ) al cuerpo de agua (estero de Tumulco)	1, 2, 5, 7, 8, 11, 12, 13 y 14

\*la medida de 100 m se debe al largo del cuadrante (100 x 100 m)



**Figura. 2.** Croquis de distribución de los cuadrantes en el bosque de manglar de Tumulco, Veracruz.

En cada cuadrante se realizó un transecto de 100 m, en los cuales se colocaron 4 parcelas circulares de 7 m de radio. El punto central de cada parcela se ubicó sobre el transecto. Se estableció la primera parcela a los 15 m; las siguientes parcelas a cada 25 m (40, 65 y 90 m) (Fig. 3).



**Figura. 3.** Distribución de parcelas en cada transecto por punto de muestreo (100x100m).

## 5.1. Inventario forestal

### 5.1.1. Composición de especies

En cada parcela, se determinó la composición de especies de mangle utilizando la Guía de Campo para la identificación de los manglares en México propuesta por Agraz-Hernández *et al.*, (2006) (Ver Anexo 2).

### 5.1.2. Estructura forestal

En cada una de las cuatro parcelas por transecto, se estimó la altura de los árboles de mangle utilizando un clinómetro marca SUUNTO y el diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos los árboles con un diámetro igual o mayor de 2.5 cm mediante una cinta métrica. Para el caso de *Rhizophora mangle*, su diámetro se midió 15 cm arriba de su última raíz aérea (Fig. 3).

Con los datos obtenidos de altura y diámetro a la altura del pecho se obtuvo el área basal de las especies, además, se calcularon la densidad, frecuencia y dominancia presente en cada transecto. Con los datos anteriores se determinó el Índice de Valor de Importancia (IVI) de manera general y por especie.

## **5.2. Materia orgánica y textura del suelo**

Se colectaron dos muestras de suelo por cada punto de muestreo, uno al inicio y el otro al final de cada transecto (Fig. 3), teniendo un total de 30 muestras. Estas muestras de suelo se tomaron en las parcelas 1 y 4 a una profundidad de 0 a 30 cm utilizando un barreno. Después de la extracción, cada muestra se colocó en bolsas de plástico, se etiquetaron, se sellaron y transportaron al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias donde se secaron y posteriormente se realizó el análisis de Walkley y Black (NOM-021-RECNAT-2000) para determinar el porcentaje de materia orgánica de las muestras (Ver Anexo 3).

A su vez, la clase textural se determinó mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos (porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en la fracción del suelo) (Ver Anexo 5). Posteriormente con los porcentajes obtenidos se procedió a determinar la clase textural mediante el triángulo de Texturas (NOM-021-RECNAT-2000) (Ver Anexo 4).



### 5.3. Estimación de captura de carbono

#### 5.3.1. Biomasa aérea (Toneladas de carbono por hectárea)

Para medir la biomasa aérea, correspondiente a los árboles vivos en pie, se utilizó el método alométrico, un método no destructivo que permite estimar parte o la biomasa total de un árbol por medio de ecuaciones alométricas ajustadas para distintas especies o generos. Para el presente trabajo, se utilizó la ecuación desarrollada por Komiyama *et al.*, (2005) para las especies de mangle, la cual considera como variables independientes la densidad de la madera por especie y el diámetro del árbol. La ecuación se desarrolló de la siguiente manera:

$$BT = 0.251 p \cdot D^{2.46}$$

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

$\rho$  = densidad de la madera por especie: *Rhizophora mangle*: 0.80 (Richter y Dallwitz, 2000), *Laguncularia racemosa*: 0.762 y *Avicennia germinans* 0.759 (MARENA, 1994).

D = Diámetro (árboles con DAP  $\geq$  2.5 cm) a 1.30 m del suelo o 15 cm arriba de la raíz más alta en *Rhizophora mangle* (Kauffman *et al.*, 2013).

La cuantificación de la captura (reserva) de carbono, utiliza la estimación de Biomasa Total (BT) de los árboles por especie de mangle. Una vez que se obtuvo la biomasa total en megagramos (1 Mg = 1 ton), ésta se multiplicó por un factor de conversión de 0,464 g C por 1 g de biomasa, para obtener el contenido de carbono, conversión utilizada por Murdiyarsa *et al.*, (2009), Donato *et al.*, (2011) y Kauffman *et al.*, (2011).

### 5.3.2. Suelo (Megagramos – toneladas – de Carbono por hectárea)

Para estimar el potencial de captura de carbono en el suelo fue necesario, en primera instancia: la determinación de la Densidad Aparente (DA) con el método de probeta (Ver anexo 5), mediante la siguiente formula:

$$DA = 50 / \text{Volumen de la muestra}$$

Posteriormente se obtuvo el Peso del Suelo con la siguiente ecuación:

$$\text{Peso del suelo (ton ha}^{-1}\text{)} = (\text{profundidad del suelo muestreado}) \times (\text{densidad aparente})$$

Una vez obtenido el Peso del suelo, se determinó el porcentaje de carbono orgánico [%CO] con el método de Walkley y Black (Ver anexo 3), que representa el contenido de carbono orgánico del suelo, expresado en porcentaje (NOM-021-RECNAT-2000).

A continuación, a partir del Peso seco del suelo en ton ha<sup>-1</sup> y el contenido de carbono orgánico [% CO] se estimó la cantidad de almacenamiento de captura de carbono en el suelo del bosque de manglar (Ton C ha<sup>-1</sup>) utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Ton C ha}^{-1} = [\text{peso del suelo}] [\% \text{ CO}]$$

#### **5.4. Análisis estadístico**

Se ejecutó la prueba de Shapiro-Wilks sobre los promedios de las variables diámetro y altura, así como de la biomasa total y carbono aéreo por especie y carbono en suelo para comprobar la normalidad de las distribuciones. Para analizar el comportamiento del manglar de acuerdo al gradiente de distanciamiento con respecto al borde del estero, se realizó la prueba estadística t-Student entre los puntos de muestreo cercanos al manglar y aquellos más alejados.

Se efectuó un Análisis de Varianza de una Vía (ANOVA) para las diferentes variables (biomasa total y carbono por especie con relación a los transectos, así como al carbono del suelo por transecto). Por último, se aplicó la prueba estadística de Tukey para comprobar si existían diferencias significativas en las variables analizadas (especie y transecto), y se consideró un nivel de confiabilidad de 95% ( $\alpha = 0.05$ ). Todos los cálculos fueron realizados con el software Statistica 7 y SPSS.

## VI. RESULTADOS

### 6.1. Inventario forestal

#### 6.1.1. Composición de especies

Se determinó tres especies de mangle en el área de muestreo de Tumilco, las cuales son: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco).

#### 6.1.1.2. Abundancia y frecuencia

El número de individuos encontrados en el muestreo fue de 507 ejemplares para la especie de *Rhizophora mangle*, 504 de *Laguncularia racemosa* y 279 árboles de *Avicennia germinans*, sumando un total de 1,290 individuos. En la Figura 4 se observa que en los puntos 3, 7, 8, 9, 10, 11, 13 y 14 se presentaron las tres especies de mangle, los otros puntos se encuentran compuestos por dos especies, excepto en el punto 12 que sólo se determinó una especie (*L. racemosa*).

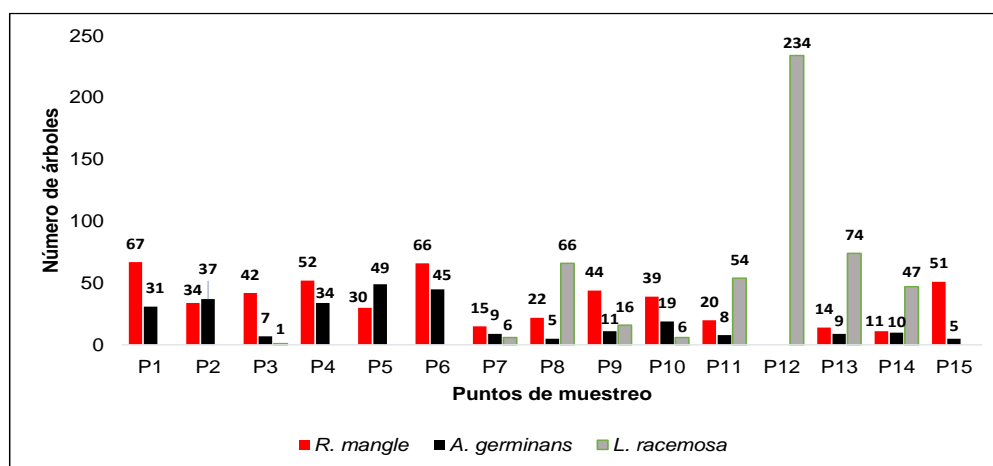
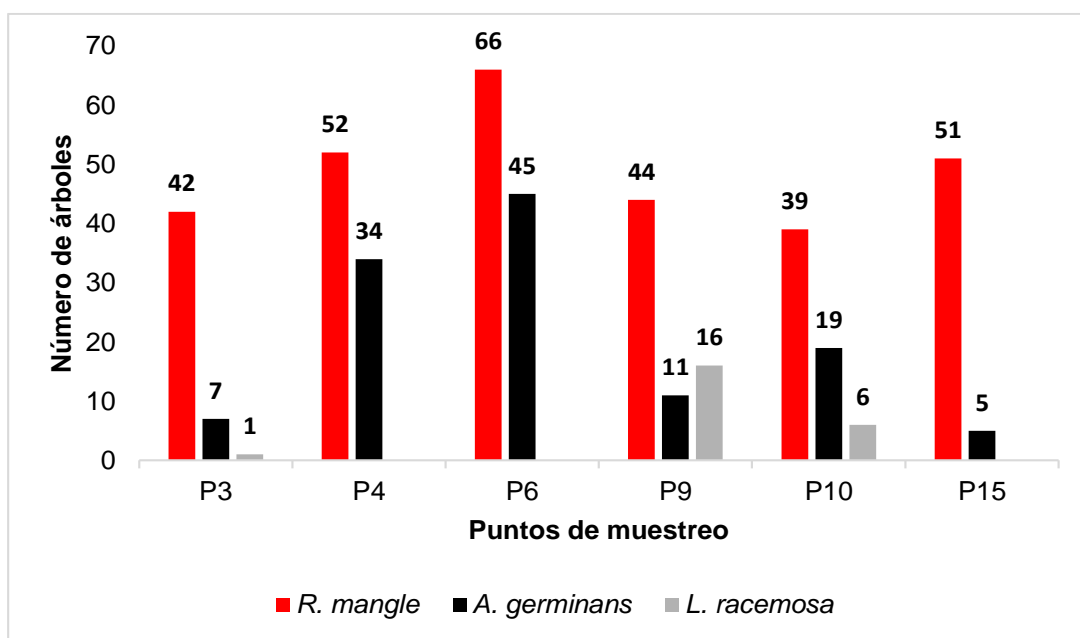


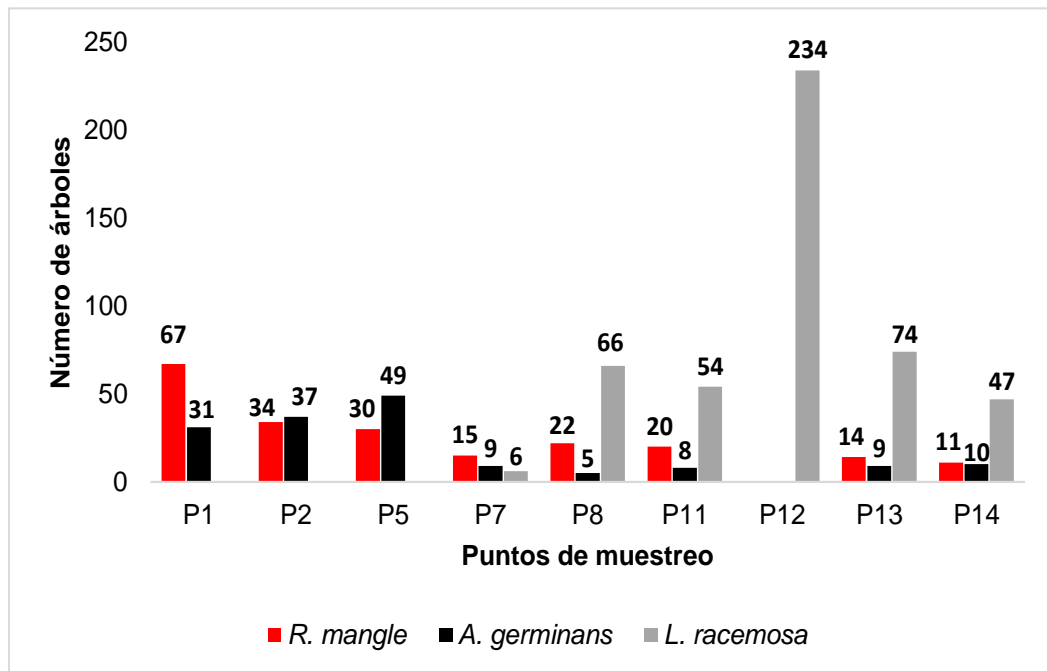
Figura. 4. Número de individuos por punto de muestreo en el manglar de Tumilco.

En la Figura 5 se muestran los puntos de muestreo próximos ( $\leq 100$  m) al estero de Tumilco, encontrando un mayor número de individuos para la especie de *R. mangle* con un total de 294 individuos.; mientras que el menor número de árboles registrados fue de 23 individuos, para *L. racemosa*.



**Figura. 5.** Número de individuos por especie próximos al estero de Tumilco.

Respecto al gradiente de distanciamiento (> 100 m) del estero, la especie de *L. racemosa* presentó el mayor número de árboles con 481; mientras que *A. germinans* fue la especie con el menor número de individuos con 158 (Fig. 6).



**Figura. 6.** Número de individuos por especie distantes del estero de Tumilco.

## 6.1.2. Estructura Forestal

### 6.1.2.1. Alturas y diámetros a la altura del pecho (DAP) por especie

La altura mayor para la especie de *R. mangle*, se reporta en el punto 7 (10.4 m) y la mínima en el punto 1 (5.3 m) (Fig. 7). El diámetro a la altura del pecho (DAP) máximo para *R. mangle* fue de 14 cm (punto 7) y el mínimo de 3.6 cm (punto 8) (Fig. 8).

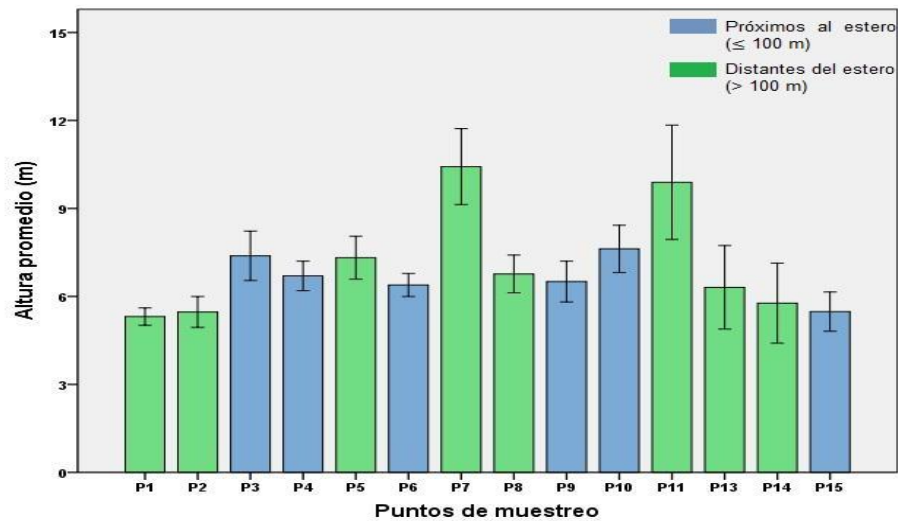


Figura. 7. Altura promedio de *R. mangle* estimada por punto de muestreo.

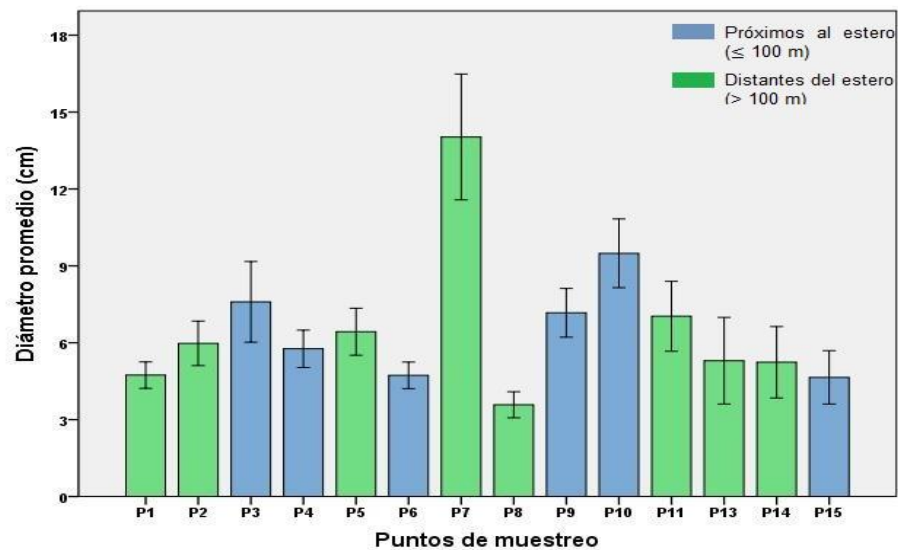
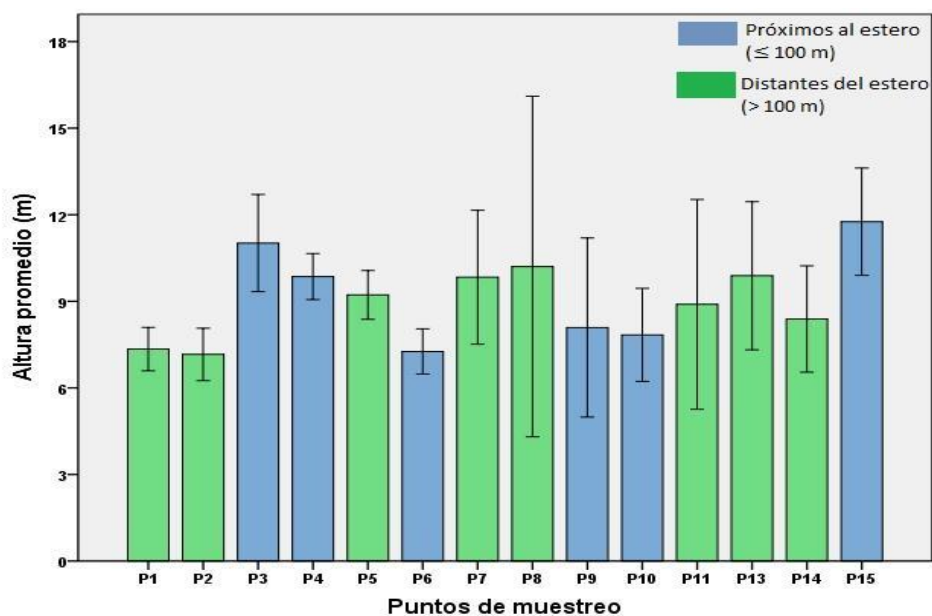
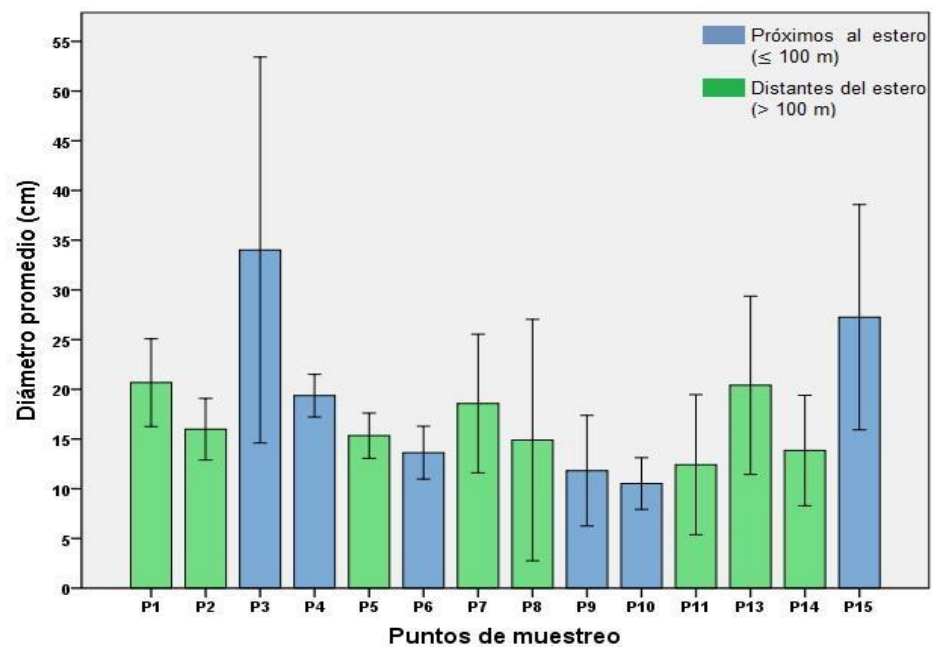


Figura. 8. DAP promedio de *R. mangle* por punto de muestreo.

*A. germinans* presentó una altura máxima de 11.8 m (punto 15) y la mínima de 7 m (punto 1, 2 y 6) (Fig. 9). Con respecto al DAP, el mayor grosor fue de 34 cm (punto 3) y el mínimo de 10.5 cm (punto 10) (Fig. 10).



**Figura. 9.** Altura promedio de *A. germinans* estimada por punto de muestreo.



**Figura. 10.** DAP promedio de *A. germinans* por punto de muestreo.



La mayor altura promedio para *L. racemosa* se registró en el punto 11 (11.9 m), y la menor en el punto 12 (6.9 m) (Fig. 11). En cuanto al diámetro el valor más alto fue de 36.3 cm (punto 3) y el más bajo de 5.4 cm en el punto 12 (Fig. 12).

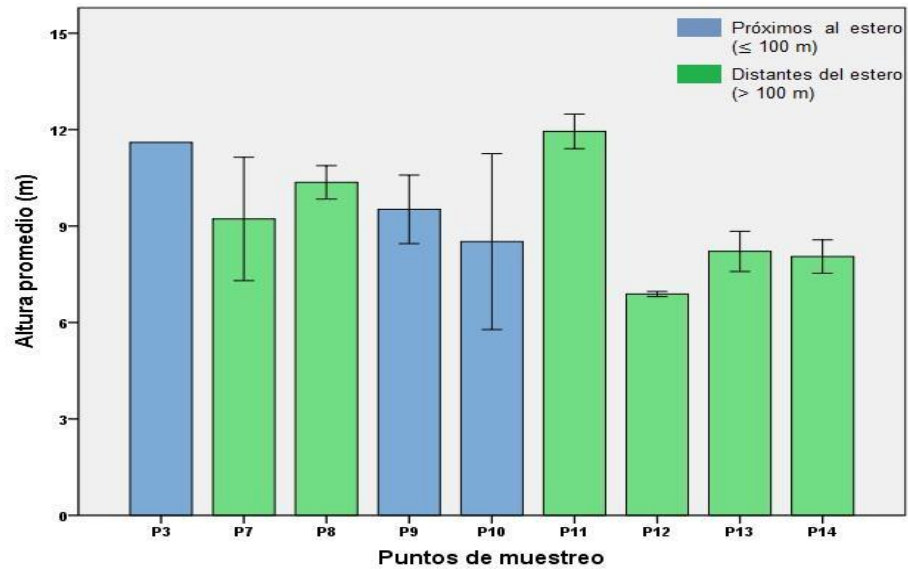


Figura. 11. Altura promedio de *L. racemosa* estimada por punto de muestreo.

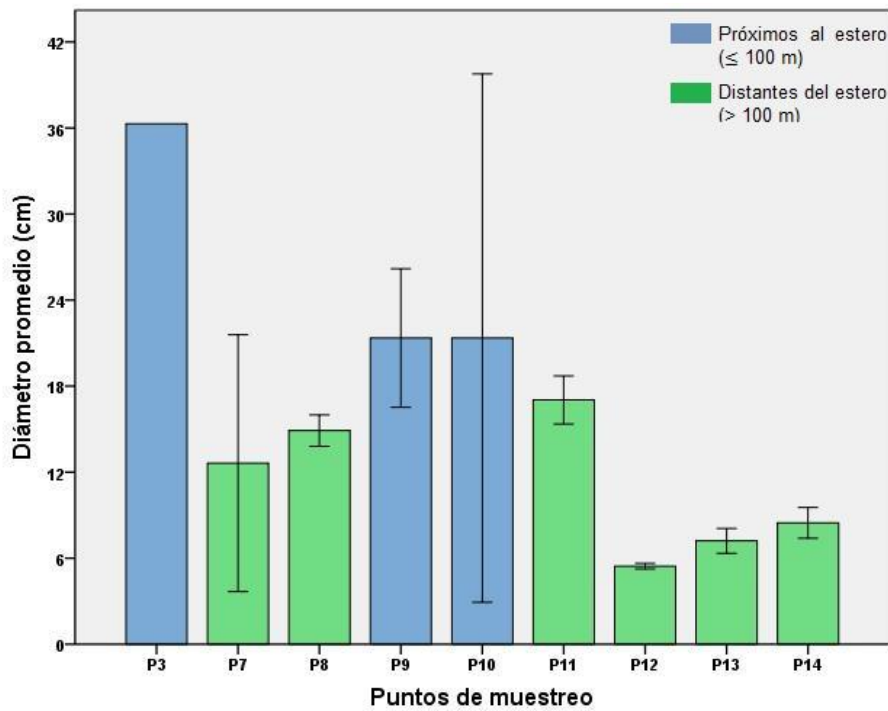
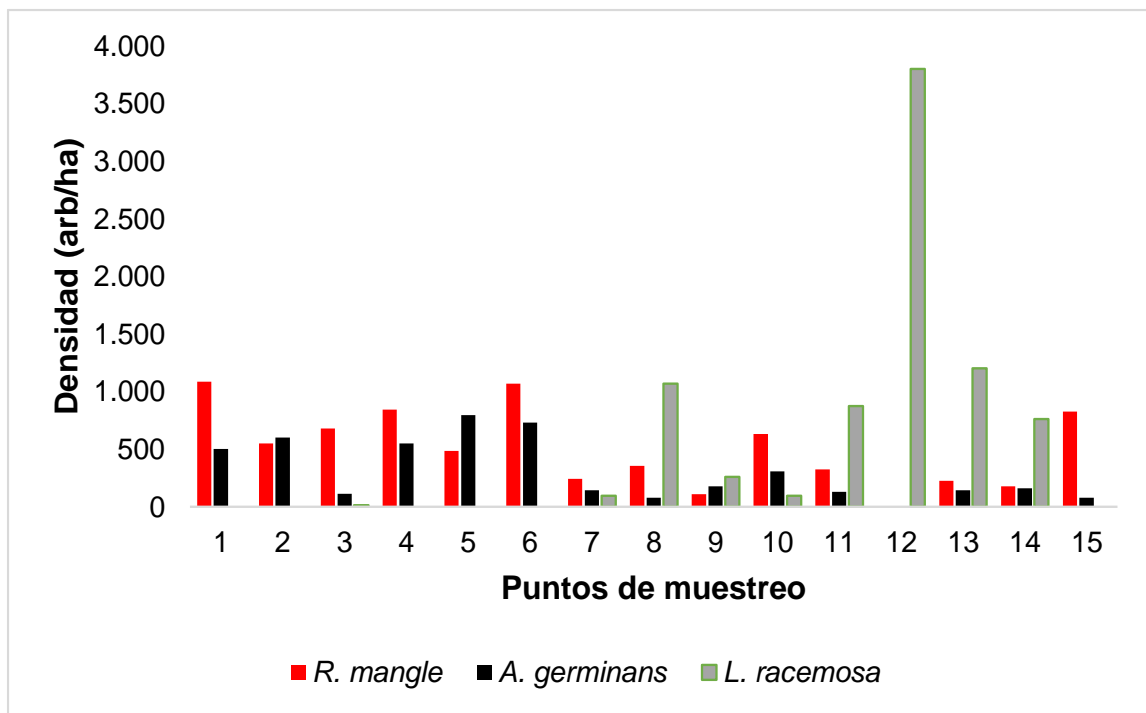


Figura. 12. DAP promedio de *L. racemosa* por punto de muestreo.

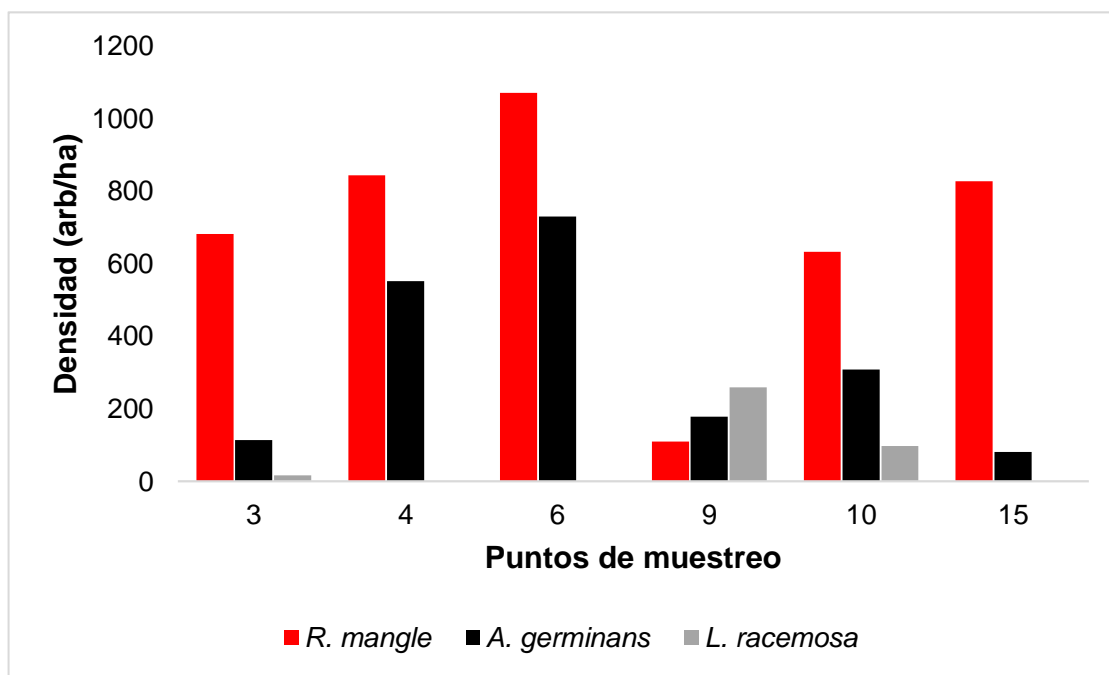
### 6.1.2.2. Densidad de las especies

La densidad máxima para *R. mangle* se registró en el punto 1 con 1,088 ind/ha, mientras que el valor mínimo se presentó en el punto 9 con 110 ind/ha. Para la especie de *A. germinans* la densidad más alta fue de 795.8 ind/ha en el punto 5 y la menor en el punto 15 con 81.2 ind/ha. En el caso de *L. racemosa* tuvo una densidad mayor en el punto 12 con 3,800.4 ind/ha y el valor mínimo de 16.24 ind/ha presente en el punto 3 (Fig. 13).



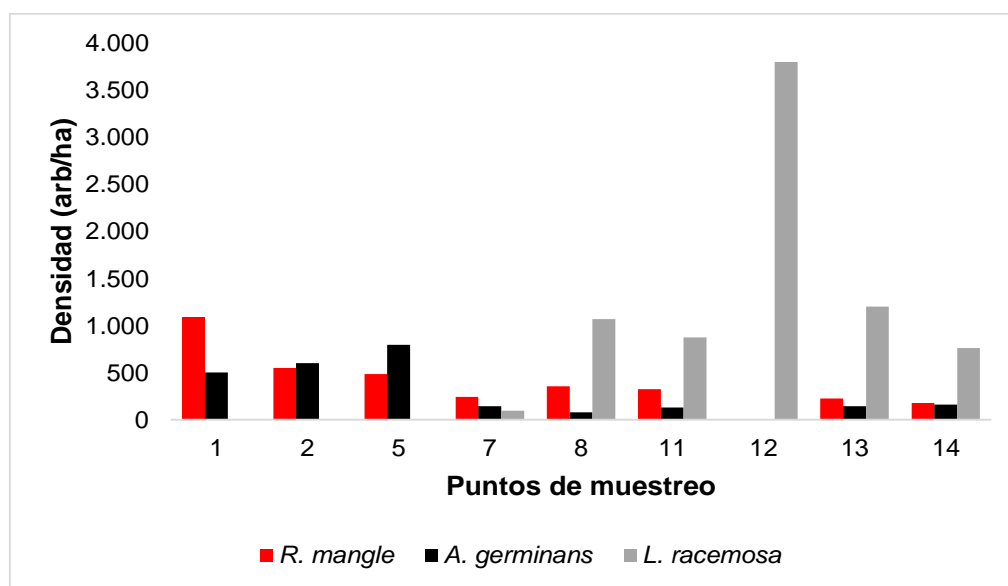
**Figura. 13.** Densidad promedio por especie y por punto de muestreo.

Las densidades promedio más altas en los puntos próximos ( $\leq 100$  m) al estero de Tumilco se registraron en el punto 6 para la especie de *R. mangle* (1,072 arb/ha) y *A. germinans* (731 ind/ha); mientras que la densidad más baja fue para *L. racemosa* (16.24 arb/ha) presente en el punto 3 (Fig. 14).



**Figura. 14.** Densidad promedio por especie de acuerdo a la proximidad al estero de Tumilco.

En la Figura 15 se muestran los puntos distantes (>100 m) al estero de Tumilco, así también los valores promedios de densidad, siendo el punto 12 donde se registró el valor más alto para la especie de *L. racemosa* (3,800 arb/ha) representando un bosque monoespecífico. Los valores mínimos se registraron en el punto 7 (*L. racemosa* 97.44 arb/ha) y 8 (*A. germinans* 81.2 arb/ha).



**Figura. 15.** Densidad promedio por especie de acuerdo al distanciamiento al estero de Tumilco.

### 6.1.2.3. Índice de valor de importancia

El índice de valor de importancia (IVI) de manera general muestra que la especie de *A. germinans* es la más importante con un valor de 111 %, mientras que *R. mangle* tiende a ser la menos representativa con un IVI de 92.46 % (Cuadro 3).

**Cuadro. 3.** Índice de valor de importancia general para las especies de mangle en Tumilco, Tuxpan, Veracruz.

Especie	Dens. Relativa	Frec. Relativa	Dom. Relativa	IVI
<i>Rhizophora mangle</i>	39.3	39.84	13.32	92.46
<i>Avicennia germinans</i>	21.63	36.1	53.3	111
<i>Laguncularia racemosa</i>	39.07	24.06	33.38	96.51
Total	100	100	100	300

El índice de valor de importancia por punto de muestreo para las tres especies de mangle muestra que hay diferencias, por lo que la especie de *L. racemosa* fue las más representativa en seis puntos de muestreo (8, 9, 11, 12, 13 y 14), seguida de *A. germinans* en cinco puntos (1, 2, 4, 5 y 6) y por último la especie de *R. mangle* con cuatro puntos (3, 7, 10 y 15) considerando toda el área de estudio (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Índice de valor de importancia por punto de muestreo de las especies de mangle presentes en Tumulco, Tuxpan Veracruz.

Punto	Especie	Dens. Relativa	Frec. Relativa	Dom. Relativa	IVI	Total
1	<i>Rm</i>	68,38	50	9,3	127,68	300
1	<i>Ag</i>	31,62	50	90,7	172,32	
2	<i>Rm</i>	47,8	50	10,08	107,88	300
2	<i>Ag</i>	52,2	50	89,92	192,12	
3	<i>Rm</i>	84	44,44	22,25	150,69	300
3	<i>Ag</i>	14	44,44	68,9	127,34	
3	<i>Lr</i>	2	11,12	8,85	22	
4	<i>Rm</i>	60,46	50	12,92	123,38	300
4	<i>Ag</i>	39,54	50	87,08	176,62	
5	<i>Rm</i>	37,98	50	8,85	96,83	300
5	<i>Ag</i>	62,02	50	91,15	203,17	
6	<i>Rm</i>	59,4	50	13,06	122,46	300
6	<i>Ag</i>	40,55	50	86,99	177,54	
7	<i>Rm</i>	50	36,36	38,83	125,19	300
7	<i>Ag</i>	30	27,27	45,26	102,53	
7	<i>Lr</i>	20	36,36	15,9	72	
8	<i>Rm</i>	23,65	40	1,74	65,39	300
8	<i>Ag</i>	5,37	20	8,41	33,78	
8	<i>Lr</i>	71	40	89,84	201	
9	<i>Rm</i>	20,06	49,81	3,65	73,52	300
9	<i>Ag</i>	32,6	0,37	19,88	52,85	
9	<i>Lr</i>	47	49,81	76,45	174	
10	<i>Rm</i>	60,9	49,81	37,63	148,34	300
10	<i>Ag</i>	29,7	49,81	23,75	103,26	
10	<i>Lr</i>	9	0,38	38,62	48	
11	<i>Rm</i>	24,39	36,36	5,6	66,35	300
11	<i>Ag</i>	9,75	27,27	8,42	45,44	
11	<i>Lr</i>	65,85	36,36	85,97	188	
12	<i>Lr</i>	100	100	100	300	300
13	<i>Rm</i>	14,44	30	4,94	49,38	300
13	<i>Ag</i>	9,27	30	47,38	86,65	
13	<i>Lr</i>	76,28	40	47,67	164	
14	<i>Rm</i>	16,17	22,22	5,07	43,46	300
14	<i>Ag</i>	14,7	33,33	36,23	84,26	
14	<i>Lr</i>	69,11	44,44	58,68	172	
15	<i>Rm</i>	91,07	57,14	30,7	178,91	300
15	<i>Ag</i>	8,92	42,85	69,32	121,09	

## **6.2. Materia orgánica y textura del suelo**

### **6.2.1. Materia orgánica**

En el Cuadro 5, se muestra la concentración de materia orgánica, registrando las más elevadas en los puntos 3, 6 (parcela 90 m), 7 y 11 (parcela 15 y 90 m) con valores que fluctuaron entre 8.51 % a 11.79 %; mientras que las concentraciones menores de materia orgánica se obtuvieron en los puntos 8, 10 (parcela 15 y 90 m), 12 (parcela 15 m), 14 y 15 (parcela 90 m) con resultados de 2.15 % a 4.98 %.

### **6.2.2. Textura del suelo**

De acuerdo a los valores que se presentan en el Cuadro 5, se determinó que en la mayoría de los puntos, la textura del suelo del manglar en Tumilco, tiende a ser arcilla, excepto en los puntos 3 (parcela 90 m) y 7 (parcela 15 y 90 m) donde se presentó arcilla limosa, en el punto 9 (parcela 90 m) fue franco arcilloso; el punto 10 (parcela 15 y 90 m) y punto 15 (parcela 15 m) textura franco y en el punto 15 (parcela 90 m) se determinó arcilloso limoso.

**Cuadro. 5.** Materia orgánica y textura del suelo de manglar por punto de muestreo.

Punto	Parcelas	% Materia orgánica	Textura
1	15 m	7.654	Arcilla
	90 m	7.051	Arcilla
2	15 m	6.896	Arcilla
	90 m	7.085	Arcilla
3	15 m	6.878	Arcilla
	90 m	8.844	Arcilla limoso
4	15 m	6.43	Arcilla
	90 m	7.775	Arcilla
5	15 m	7.826	Arcilla
	90 m	5.551	Arcilla
6	15 m	7.482	Arcilla
	90 m	8.516	Arcilla
7	15 m	9.171	Arcilla limoso
	90 m	9.826	Arcilla limoso
8	15 m	2.292	Arcilla
	90 m	2.948	Arcilla
9	15 m	6.723	Arcilla
	90 m	7.413	Franco arcilloso
10	15 m	4.792	Franco
	90 m	4.034	Franco
11	15 m	11.792	Arcilla
	90 m	9.171	Arcilla
12	15 m	4.982	Arcilla
	90 m	6.913	Arcilla
13	15 m	5.831	Arcilla
	90 m	6.793	Arcilla
14	15 m	6.793	Arcilla
	90 m	2.151	Arcilla
15	15 m	7.812	Franco
	90 m	4.699	Arcilloso limoso

### 6.3. Captura de carbono orgánico en biomasa aérea

Una comparación de manera general entre las especies estudiadas, muestra que *A. germinans* fue la especie con mayor biomasa total estimada con 61.541 Ton/ha; así mismo, fue la especie con una mayor capacidad de almacenamiento de carbono con un valor de 28.555 Ton C/ ha. Por otra parte se reporta para *R. mangle* la menor

biomasa total de las especies estudiadas y una capacidad de captura de carbono con valores de 10.380 Ton/ha y 4.816 Ton C/ha respectivamente (Cuadro 6).

**Cuadro. 6.** Promedio de la biomasa total y carbono orgánico almacenado por especie de mangle para toda el área de estudio.

Especie	Biomasa Total Ton/ha	Carbono orgánico Ton C/ha
<i>R. mangle</i>	10.380	4.816
<i>A. germinans</i>	61.541	28.555
<i>L. racemosa</i>	42.044	19.508
Total	113.965	52.880

### 6.3.1. Captura de carbono en biomasa arbórea por especie y punto de muestreo

Para la especie de *R. mangle* la mayor biomasa y almacenamiento de carbono se estimó en el punto de muestreo 7 con valores de 32.43 Ton/ha y 15.05 Ton C/ha respectivamente; mientras que en el punto 8 se registró la menor biomasa con 1.65 Ton/ha y el carbono almacenado de 0.77 Ton C/ha (Cuadro 7).

**Cuadro. 7.** Promedio de la biomasa y carbono orgánico almacenado para *R. mangle*.

Punto	Especie	Biomasa total Ton/ha	Carbono orgánico Ton C/ha
1	<i>R. mangle</i>	10.04	4.66
2	<i>R. mangle</i>	9.03	4.19
3	<i>R. mangle</i>	20.07	9.31
4	<i>R. mangle</i>	12.59	5.84
5	<i>R. mangle</i>	9.52	4.42
6	<i>R. mangle</i>	9.84	4.57
7	<i>R. mangle</i>	32.43	15.05
8	<i>R. mangle</i>	1.65	0.77
9	<i>R. mangle</i>	18.26	8.47
10	<i>R. mangle</i>	32.25	14.96
11	<i>R. mangle</i>	7.92	3.67
13	<i>R. mangle</i>	2.76	1.28
14	<i>R. mangle</i>	2.11	0.98
15	<i>R. mangle</i>	7.29	3.38



*A. germinans* presentó una alta biomasa de 165.06 Ton/ha y un almacenamiento de carbono de 76.59 Ton C/ha (punto 1). El valor mínimo de biomasa y carbono almacenado fue de 11.89 Mg/ha y 5.52 Ton C/ha cada uno (punto 8), (Cuadro 8).

**Cuadro. 8.** Promedio de la biomasa y carbono orgánico almacenado para *A. germinans*.

Punto	Especie	Biomasa total Ton/ha	Carbono orgánico Ton C/ha
1	<i>A. germinans</i>	165.06	76.59
2	<i>A. germinans</i>	104.76	48.61
3	<i>A. germinans</i>	126.90	58.88
4	<i>A. germinans</i>	154.10	71.50
5	<i>A. germinans</i>	125.07	58.03
6	<i>A. germinans</i>	85.87	39.84
7	<i>A. germinans</i>	36.81	17.08
8	<i>A. germinans</i>	11.89	5.52
9	<i>A. germinans</i>	19.77	9.17
10	<i>A. germinans</i>	19.21	8.91
11	<i>A. germinans</i>	12.15	5.64
13	<i>A. germinans</i>	46.43	21.55
14	<i>A. germinans</i>	19.87	9.22
15	<i>A. germinans</i>	52.53	24.37

En el punto 11 se presentó una mayor biomasa y almacenamiento de carbono orgánico para la especie de *L. racemosa* de 179.37 Ton/ha y 83.23 Ton C/ha; por otra parte, en el punto 7 se registró la menor de biomasa y carbono almacenado con valores de 9.54 Ton/ha y 4.43 Ton C/ha respectivamente (Cuadro 9).

**Cuadro. 9.** Promedio de la biomasa y carbono orgánico almacenado para *L. racemosa*.

Punto	Especie	Biomasa total Ton/ha	Carbono orgánico Ton C/ha
3	<i>L. racemosa</i>	21.35	9.90
7	<i>L. racemosa</i>	9.54	4.43
8	<i>L. racemosa</i>	157.72	73.18
9	<i>L. racemosa</i>	92.62	42.97
10	<i>L. racemosa</i>	46.31	21.49
11	<i>L. racemosa</i>	179.37	83.23
12	<i>L. racemosa</i>	47.10	21.85
13	<i>L. racemosa</i>	29.64	13.75
14	<i>L. racemosa</i>	27.95	12.97

Con base a la prueba de t-Student la captura de carbono orgánico en la biomasa arbórea entre puntos cercanos ( $\leq 100$  m) al estero y puntos alejados ( $> 100$  m) se comprobó que no existen diferencias significativas de almacenamiento de carbono con respecto al gradiente de distanciamiento al estero, al reportar un valor de  $p=0.9049$ .

Al aplicar el Análisis de Varianza (ANOVA) a los datos de almacenamiento de carbono orgánico en la biomasa arbórea con base a la especie, se encontró que no existen diferencias significativas entre la especie de *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*; sin embargo, estas dos especies y *Rhizophora mangle* si presentaron diferencias significativas dado que presentan un valor de  $p = 0.0001$ .

#### 6.4. Captura de carbono orgánico en suelo

El carbono almacenado en el suelo del manglar se obtuvo a partir de diferentes factores como: la densidad aparente, profundidad y el porcentaje de carbono orgánico. En el Cuadro 10 se muestra que el bosque de manglar de Tumilco tiene una capacidad de almacenamiento de 147.41 Ton C/ha en su suelo.

**Cuadro. 10.** Parámetros estimados para la determinación del potencial de carbono en suelo.

Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Profundidad (cm)	% CO	Ton C/ha
1.26	30	3.91	147.41

En relación al mayor almacenamiento de carbono orgánico en el suelo del manglar de Tumilco por punto de muestreo se obtuvieron valores de 237.24 Ton C/ha (punto 11) y 220.75 Ton C/ha (punto 7), ambos puntos están distantes del estero. Sin embargo, en los puntos 8 (distante del estero) y 10 (próximo al estero) se registraron los almacenamientos menores de carbono con 72.40 y 76.83 Ton C/ha respectivamente cada uno (Cuadro 11).

**Cuadro. 11.** Parámetros para la determinación del almacenamiento de carbono en suelo por punto de muestreo.

Punto	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Profundidad (cm)	%CO	Ton C/ha
1	1.23	30	4.27	157.99
2	1.21	30	4.06	148.38
3	1.43	30	4.56	195.59
4	1.26	30	4.12	156.48
5	1.22	30	3.88	141.95
6	1.16	30	4.64	161.95
7	1.33	30	5.51	220.75
8	1.58	30	1.52	72.40
9	0.97	30	4.10	119.52
10	1.0	30	2.56	76.83
11	1.3	30	6.08	237.24
12	1.15	30	3.45	118.98
13	1.43	30	3.66	157.05
14	1.41	30	2.59	109.82
15	1.14	30	3.63	123.96

Mediante la prueba de t-Student se comprobó que el potencial de almacenamiento de carbono en el suelo con relación a la proximidad ( $\leq 100$  m) con el estero y aquellos puntos de muestreo más distante ( $> 100$  m) no presentaron diferencias significativas con un valor de  $p = 0.5929$ .

Al realizar el ANOVA con base al almacenamiento de carbono en relación a los puntos de muestreo se determinó que existen diferencias significativas, al obtener un valor de  $p = 0.0034$ . El promedio de almacenamiento de carbono en relación a los puntos de muestreo, fueron diferentes siendo el punto 11 y 7 los que marcaron la diferencia con un almacenamiento de carbono mucho mayor que los demás puntos.

## VII. DISCUSIÓN

### Estructura Forestal

Los ecosistemas de manglar presentan una gran variabilidad en su estructura, lo que origina distintos tipos fisonómicos de bosques con base a su densidad, área basal y altura; una clasificación común, los caracteriza como ribereño, cuenca, sobrelavado, borde y matorral (Lugo y Snedaker, 1974 y Flores-Verdugo, 1992). Con base a los transectos realizados y a su posición dentro del polígono de muestreo, se reconocen bosques de manglares de tipo ribereño y cuenca; los cuales están caracterizados por las especies de *R. mangle*, *A. germinans* y *L. racemosa*.

Estudios realizados en los manglares del Norte de Veracruz por Basáñez *et al.*, (2006), Zenil-Tolentino, (2014) y Martínez-Hernández, (2013), también reportaron las especies de *R. mangle*, *A. germinans* y *L. racemosa*. Basáñez *et al.*, (2006) estimaron la mayor altura y DAP promedio para *A. germinans* de 8.32 m y 16.73 cm y un total de 370 árboles; Zenil-Tolentino, (2014) y Martínez-Hernández, (2013), reportaron la mayor altura para *R. mangle* con 6.34 m y 6.83 cm (315 árboles), y 5.99 m (407 árboles) respectivamente. En los manglares de Tabasco, Domínguez-Domínguez *et al.*, (2011) reportan valores con un rango de 10-17 m y 12-33 cm (*L. racemosa*), 11-15 m y 13-47 cm (*A. germinans*) y 9-16 m y 17-34 cm (*R. mangle*). En los manglares de Chiapas, Santamaría-Damián *et al.*, (2012) obtienen las mayores alturas con 25.7 y 30.9 m para *L. racemosa* y *R. mangle* respectivamente.

Con relación al párrafo anterior, en el presente trabajo, también se registraron las mismas especies de mangle, pero con un mayor número (1,290 árboles), mientras que la altura y DAP promedio fueron similares para las especies de *L. racemosa* (8.32 m y 9.30 cm), *A. germinans* (8.47 m, 16.56 cm) y *R. mangle* con (6.62 m, 6.17 cm) excepto para los trabajos de Tabasco y Chiapas donde éstos presentaron árboles con mayores alturas. Agraz-Hernández *et al.*, (2011) mencionan que los bosques de mangle que bordean los caudales de ríos, tienden a desarrollar mayor área basal y altura. Esta diferencia tan marcada de las características estructurales se le puede atribuir al método de muestreo que se utilizó en este estudio (puntos al azar abarcando puntos próximos y distantes al estero), así como también al tamaño de la muestra. Por ejemplo, en algunos de los trabajos mencionados utilizaron unidades pequeñas de parcelas y con menores sitios de muestreo.

En relación al índice de valor de importancia (IVI) en este trabajo la especie de *A. germinans* fue la más representativa, donde el bosque de manglar de Tumilco se encuentra representado como un bosque con predominio de esta especie. Esto concuerda con los trabajos de Basañez, *et al.*, (2006), Martínez-Hernández, (2013) y Zenil-Tolentino, (2014) para el norte del estado de Veracruz. Con relación a otros sitios de carácter nacional el IVI difiere con base a la especie, las cuales destacan los trabajos de Reyes-Castellanos, (2012) en Campeche; Pineda-Ovalles *et al.*, (2012) en Guerrero; Téllez-García y Valdez-Hernández, (2012) en Colima, donde la especie más representativa en los diferentes trabajos fue *L. racemosa*.

Con base al trabajo de Manrow-Villalobos y Vilchez-Alvarado, (2012) en Costa Rica, la especie más representativa fue *R. mangle* en Laguna Gandoca y *L. racemosa* para Estero Moín. López y Ezcurra, (2002), mencionan que la distribución, composición y fisonomía de las comunidades de manglar 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. Por lo que esta diferencia en el IVI podría ser explicada a la diferencia existente en cuanto a la región y la latitud, lo que hace posible que estructura y tipo fisonómico del manglar sean totalmente diferentes.

### **Materia orgánica y textura**

Los manglares son ecosistemas conocidos por sus funciones de almacenadores, transformadores y exportadores de materia orgánica (Mitsch y Gosselink, 2000). La materia orgánica (MO) para los manglares de estero-Pargo y Bahamitas, Campeche, fluctuaron entre 4.84 y 33.95 % y 7.66 y 27.12 % respectivamente; siendo los porcentajes más altos en la temporada de nortes y secas, y la textura para ambos sitios fue arenosa (Moreno, *et al.*, 2010). Para los manglares de Tabasco la MO fue de 48.3 % con vegetación representativa de *R. mangle* y de 85.7 % con vegetación de *L. racemosa* (Moreno *et al.*, 2002). Por otra parte, la MO que se registraron en la Ensenada de Tumaco, en el Pacífico colombiano fluctuaron entre 6.1 y 8.2 % en Rompido y 13 y 16 % en Asocarlet, y la textura presente fue arenosa y limosa respectivamente (Figuroa-Del y Álvarez-León, 2011).

Con base a lo anterior, la concentración de MO en el área de estudio de este trabajo fueron inferiores a los reportados por Moreno *et al.*, (2002); Moreno *et al.*, (2010) y Figueroa-Del y Álvarez-León, (2011). Esta diferencia puede deberse al hidroperíodo (periodo de inundación), sitios cercanos a cuerpos de agua (lagunas, ríos, mar), temporadas, tipo fisonómico y la zona geográfica, la cual influyen en la concentración de MO en el suelo del manglar. Por ejemplo, en los manglares de Tabasco se encuentran distribuidos en la parte posterior del cordón litoral, bordeando las lagunas que se extienden paralelas a la costa y que tienen conexión con el mar, cuya presencia está condicionada a las situaciones de inundación (Moreno, 2002) y por lo tanto mantienen condiciones anóxicas y altos contenidos de materia orgánica.

Referente a la textura del suelo en el bosque de manglar de Tumilco la que predominó en el área fue la clase textural de arcilla, estos resultados difieren con los trabajos de Moreno *et al.*, (2010) y Figueroa-Del y Álvarez-León (2011). Por lo que se puede inferir que la textura en los manglares puede estar relacionada con la proximidad a los cuerpos de agua (Lagunas, ríos, estero y el mar), así como las características del suelo autóctono de cada región. Rubio, (2010) menciona que la textura del suelo funciona como reguladores en la preservación y retención de materia orgánica y que los suelos de textura fina y bien estructurados presentan altos contenidos de materia orgánica que los suelos de textura gruesa y poco estructurados.



## **Carbono en biomasa aérea**

El almacenamiento de carbono aéreo (ACA) en nuestro estudio fue de 28.555 Ton C/ha para *A. germinans*, seguida de *L. racemosa* con 19.508 Ton C/ha y *R. mangle* con 4.816 Ton C/ha. En comparación con los manglares mexicanos se pueden mencionar los reportados en el sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, donde el ACA fue superior fluctuando entre  $215.27 \pm 13.67$  Ton C/ha (Torres *et al.*, 2013). En la Reserva de Sian Ka'an, Yucatán, los valores fueron superiores con 176.2 Ton C/ha y 114.2 Ton C/ha para el manglar alto y mediano respectivamente, pero inferior para el manglar enano con 5.3 y 3.0 Ton C/ha (Adame *et al.*, 2013). Así mismo, Gutiérrez-Mendoza y Herrera-Silveira, (2015) reportaron valores inferiores con 8.01 Ton C/ha para el manglar enano en la Península de Yucatán. Por lo que estas diferencias en los valores de biomasa aérea están relacionadas con factores ecológicos que limitan el desarrollo de los manglares (Fromard *et al.*, 1998).

El ACA para los manglares de otros países fueron superiores, de las cuales se pueden mencionar el trabajo de Manrow-Villalobos y Vilchez-Alvarado, (2012) en Costa Rica, con un ACA en Laguna Gandoca para *R. mangle* y *L. racemosa* de 122.59 y 30.66 Ton C/ha cada uno; para estero Moín de 22.67, 59.65 y 29.83 Ton C/ha para *R. mangle*, *A. germinans* y *L. racemosa* respectivamente. Para el Caribe colombiano, el ACA para *A. germinans* y *R. mangle* fue de 34.3 y 22.8 Ton C/ha, con excepción de *L. racemosa* el cual fue inferior con 8.1 Ton C/ha (De la Peña *et al.*, 2010). En Cispatá, Colombia, el ACA fue de 64.85 Ton C/ha para un bosque

representativo de *R. mangle* (Yepes *et al.*, 2015). De igual forma en el bosque de manglar de Palau y Yap, Micronesia, la biomasa aérea fueron superiores con 225 y 363 Ton/ha respectivamente (Kauffman *et al.*, 2011).

Esta inferioridad en los resultados obtenidos en el presente trabajo se debe principalmente a que los manglares de Sudamérica, así como los de Oceanía o los que se encuentran cerca del ecuador en consecuencia se encuentra más desarrollados y mejor estructurados. Debido a que están influidos por la intensa actividad convectiva dentro de la zona de convergencia intertropical, lo que genera precipitaciones anuales superiores de 2,000 mm, y regímenes variables de mareas (Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez, 1999).

Sin embargo, Adame *et al.*, (2013) mencionan que las grandes variaciones en el contenido de carbono de los manglares se deben a las diferencias estructurales y florísticas. Donato *et al.*, (2011) indican que las mayores cantidades de carbono han sido reportadas para los manglares del Indo-Pacífico, las cuales presentan gran variación en composición y altura, incluyendo bosques con alturas de 4 m, hasta zonas con mangles superiores a 15 m. Alongi, (2009) y Castañeda-Moya *et al.*, (2013) mencionan que los bosques de manglar están limitados globalmente por la temperatura, precipitación, oleaje, caudales de los ríos, aportes de sedimento y disponibilidad de nutrientes, las cuales determinan en gran medida su extensión y biomasa a escalas regional y local.

Se puede inferir que estas grandes diferencias de almacenamiento de carbono en la biomasa aérea en los manglares del estero de Tumulco se debe a que se encuentran alejados del flujo hídrico del río Tuxpan y mucho más de los oleajes del Golfo de México, y por lo tanto los sedimentos y nutrientes son menores. Así mismo los manglares de la Laguna de Alvarado, Veracruz fueron superiores por tener mayor afluencia de nutrientes aportados por la misma Laguna como también de las mareas del Golfo de México y por consecuente están mejor desarrollados que los manglares de Tumulco, Veracruz. Komiyama *et al.*, (2008) señala que existe cierta controversia en cuanto a las estimaciones de biomasa por medio de ecuaciones alométricas. Esto puede deberse a que omiten variables importantes como lo es la densidad de la madera, así como el factor de conversión de carbono (Manrow-Villalobos y Vilchez-Alvarado, 2012).

### **Carbono en suelo**

Se han desarrollado diversos estudios que pretenden cuantificar las reservas de carbono en los diferentes niveles del bosque de manglar, ya sea arriba o debajo del suelo (Donato *et al.*, 2011). En este estudio el almacenamiento de carbono en el suelo (ACS) fue de 147.41 Ton C/ha, valor inferior en contraste con los suelos del manglar en Campeche con un ACS de 280.11 Ton C/ha (Nortes), 264.05 Ton C/ha (secas) y 263.90 Ton C/ha (lluvias) a una profundidad de 30 cm (Cerón-Bretón *et al.*, 2011). Esta diferencia puede estar atribuido a la representatividad en la región (cuerpos de agua cercanos al sitio), el alto porcentaje de carbono orgánico, así

como a una continua acumulación de MO en los suelos, debido a las bajas tasas de descomposición por estar continuamente inundados y a una alta concentración de sales que también inhiben la descomposición.

En el oeste de Tabasco, Veracruz, el ACS fue de 184.14 y 134.19 Ton C/ha en dos sitios a una profundidad de 30 cm (Moreno *et al.*, 2002). Por lo cual el hidropériodo juega un papel importante, así como la topografía, la intensidad de las mareas y flujos de agua dulce, determinan un mayor porcentaje de MO (Mitsch y Gosselink, 2000), y por consecuente mayor ACS. Este mayor ACS en Tabasco se debe principalmente a que el suelo con vegetación representativa de *R. mangle* estuvo permanentemente inundado la mayor parte del año y con presencia de material sáprico (etapa avanzada de descomposición del material orgánico), excepto para el sitio con vegetación de *L. racemosa*, el cual presentaba material fibríco (etapa poco des-compuesto del material orgánico) e hidropériodo temporal, lo cual es similar con nuestra área de estudio donde el nivel de agua fue bajo y esporádico.

Así mismo, en la Península de Yucatán se registró un ACS de 251.21 Ton C/ha con vegetación representativa de *R. mangle* y *A. germinans*, por lo que el porcentaje de carbono orgánico en el suelo fue directamente proporcional al porcentaje de materia orgánica (MO); es decir, altos contenidos de MO proporcionan mayor almacenaje de C en el suelo (Gutiérrez-Mendoza y Herrera-Silveira, 2015). En la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an los valores de ACS fluctuaron de 100 a 254 Ton C/ha en

siete sitios (Adame *et al.*, 2013). Por lo que se puede inferir que en este estudio los porcentajes de MO estuvieron muy por debajo de los reportados por otros estudios y por lo tanto el C almacenado fue inferior. Los factores que determinan que un sitio tenga una mayor capa orgánica en su suelo son la producción del manglar (sobre el suelo y bajo el suelo), la descomposición de la hojarasca y las entradas y salidas de agua al ecosistema (Twilley y Rivera-Monroy, 2005). Se puede decir que, este último factor es una de las principales variables que determinan el carbono almacenado en el suelo del bosque de manglar del estero de Tumilco.

Los resultados de secuestro de carbono en biomasa aérea y en el suelo del manglar de Tumilco comparado con otros estudios para otros lugares de México no variaron mucho lo cual indica que está dentro de los rangos que se reportan. Sin embargo, al compararlos con trabajos realizados en otras partes del mundo los valores de almacenamiento de carbono que se reportan en el presente estudio variaron, lo cual puede estar relacionado con la distribución de los manglares, esto es, a que los manglares de otras latitudes se encuentran mejor estructurados y más desarrollados.

## VIII. CONCLUSIÓN

En el bosque de manglar de Tumilco se encuentran parches que están en un estado de deterioro por consecuencia del cambio de uso de suelo (expansión de la actividad ganadera), la contaminación que se da en esta zona por residuos sólidos y la tala de este ecosistema.

Las especies de mangle presentes en el bosque de manglar de Tumilco fueron *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle negro) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco).

De acuerdo con los valores obtenidos de altura, diámetro, densidad y área basal, se puede decir que el bosque de manglar de Tumilco se encuentra bien estructurado, ya que la mayoría de los diámetros a la altura del pecho se estimaron por encima de los 15 cm. Sin embargo, en el área de Tumilco se tiene que poner mayor énfasis en restaurar los parches de manglar que se están deteriorando.

La reserva de carbono en la biomasa arbórea fue de 52.88 Ton C/ha, mientras que el carbono almacenado en el suelo fue el componente más susceptible con 147.41 Ton C/ha, lo cual es significativo y contribuye en gran medida a la mitigación del cambio climático.

El potencial de almacenamiento de carbono para el bosque de manglar de Tumilco con base a los componentes de biomasa aérea y suelo, se estima en 200.29 Ton C/ha, demostrando la gran capacidad que tienen estos ecosistemas para retener carbono orgánico y disminuir los gases de efecto invernadero; así como también generar información sobre la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico, información indispensable como línea base para investigaciones futuras.

Al contrario de lo que se esperaba, el almacenamiento de carbono, tanto por biomasa aérea como del suelo, no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de muestreo más distantes ( $\leq 100$  m) con el estero y aquellos puntos de muestreo más distantes ( $> 100$  m). Por lo que se concluye, que, en el presente estudio, el almacenamiento de carbono es similar en todo el bosque de manglar de Tumilco.

Finalmente, se pudo comprobar que los ecosistemas de manglar específicamente los manglares de Tumilco son grandes almacenadores de carbono orgánico, justificando su protección y restauración, siendo entonces una de las estrategias más efectivas para mitigar y hacerle frente al cambio climático a nivel mundial, nacional y regional.

## IX. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL TRABAJO

Los humedales son uno de los ecosistemas más importantes en México. Dentro de ellos, los manglares se distinguen por ser altamente productivos, con una gran riqueza biológica y proporcionar una gran diversidad de recursos y servicios ambientales; así también, su importante papel económico y social (Rodríguez-Zúñiga *et al.*, 2013). Sin embargo, las áreas de manglar están disminuyendo rápidamente en casi todas las regiones del mundo por la forma en que se desarrollan diferentes actividades humanas. La transformación de los manglares en sitios para la cría de camarones, la tala indirecta, la construcción de puertos, hoteles, residencias en las costas, la construcción de represas que alteran los ríos que los alimentan, y la contaminación por actividades industriales y agropecuarias, son algunos de los impactos por mencionar que afectan sobre los ecosistemas de manglar (ANAM-ARAP, 2013).

En México las especies de mangle rojo (*R. mangle*), negro (*A. germinans*), blanco (*L. racemosa*) y botoncillo (*C. erectus*) están bajo la categoría de amenaza de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010, lo cual indica que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo, en caso de que factores negativos sigan persistiendo y pongan en riesgo su variabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o modificación directa del tamaño de sus poblaciones (DOF, 2010).



Dicho lo anterior, la vegetación del estero de Tumilco ha sido afectada por la deforestación que se ha llevado a cabo con el propósito de beneficiar el desarrollo industrial, agrícola y principalmente ganadera. Sin embargo, la práctica ganadera avanza cada vez más hacia el interior del manglar, aún cuando los sitios inundables no son propicios para la cría de ganado. No obstante, los ganaderos han desarrollado acciones para superar esta limitante, abriendo canales en los linderos de los terrenos vecinos al manglar, evitando con ello que cuando sube la marea inunde los campos ganaderos. Además, en años anteriores, la construcción de la vía de comunicación terrestre hacia Barra Sur y hacia la localidad de Tumilco se considera uno de los principales impactos a este tipo de vegetación primaria, ya que con la creación de este medio de comunicación implicó una deforestación moderada.

La aplicación práctica que tiene este trabajo de investigación con relación al potencial de almacenamiento de captura de carbono del bosque de manglar de Tumilco radica en:

La necesidad de contar con información actualizada sobre las condiciones de los manglares y su importancia como almacenadores de carbono orgánico, en estrategias globales como la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+), La Iniciativa del Carbono Azul (The Blue Carbon Initiative), las cuales son pieza fundamental para hacerle frente al cambio climático.

La creación de la primera línea base de información sobre el carbono almacenado en la biomasa aérea y suelo en el bosque de manglar de Tumulco, ya que no se cuenta con datos numéricos que estimen el servicio ecosistémico del almacenamiento de carbono que prestan los manglares del Norte de Veracruz a nivel regional.

Integrar el ecosistema de manglar de Tumulco en los inventarios de almacenaje de carbono que se están haciendo por parte de la SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) y la CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) mediante el INFyS (Inventario Nacional Forestal y de Suelos), así como también integrarlos por país, región y por ecosistema con base al Protocolo de Kioto que es uno de los grandes acuerdos internacionales para actuar en materia del cambio climático.

Finalmente poder integrar a los ecosistemas de manglar en los Pagos por Servicios Ambientales (PSA) y con ello incentivar a propietarios y ejidatarios de la comunidad de Tumulco. Esto con la finalidad de que mantengan el control de sus predios evitando la deforestación por actividades humanas, garantizando la protección y conservación de los ecosistemas de manglar, así como el servicio ecosistémico de reservas de carbono.

## X. BIBLIOGRAFÍA

Adame, M. F., Kauffman, J. B., Medina, I., Gamboa, J. N., Torres, O., Caamal, J. P., Reza, M. y Herrera-Silveira, J. A. 2013. Carbon Stocks of Tropical Coastal Wetlands Within the Karstic Landscape of the Mexican Caribbean. *PloS ONE*, **8 (2)**: 1-13.

Agraz-Hernández, C., Noriega-Trejo, R., López-Portillo, J., Flores-Verdugo, F. J. y Jiménez-Zacarías, J. J. 2006. Guía de Campo. Identificación de los manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. 45 pp.

Agraz-Hernández, C. M., García-Zaragoza, C., Iriarte-Vivar, S., Flores-Verdugo, F. J., y Moreno-Casasola, P. 2011. Forest Structure, Productivity and Species Phenology of Mangroves in the La Mancha Lagoon in the Atlantic Coast of México. 273-293. En: *Wetlands Ecology and Management*. Wolanski, E., Hopkinson, C. S., Gottgens, J. F. y Asaeda, T. (ed.). Ed. Springer, Netherlands.

Aguilera, S.M., 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Universidad de Chile, 77-85. (<http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/121065>).

Alongi, D. M. 2009. *The Energetics of mangrove Forests*. Springer Science and Business Media BV, New York. 213 pp.

Alongi, D. M. 2002. Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation*. **29(3)**: 331-349.

ANAM-ARAP (Autoridad Nacional del Ambiente y Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá). 2013. Manglares de Panamá: importancia, mejores prácticas y regulaciones vigentes. Ed. Novo Art, S.A. Panamá. 72 pp.

Basañez, M. A. D. J., Olmedo, P. G, y Rojas, M. P. 2006. Características estructurales y usos del manglar en el ejido Cerro de Tumilco, Tuxpan, Veracruz. México. *Revista Científica UDO Agrícola*. **6(1)**: 114-120.

Barry, A. N. 1999. Soil Biological, Chemical and Physical Dynamics During Transition to Non-Thermal Residue Grass-Seed Management Systems. Tesis Doctoral, Universidad Estatal de Oregon, EUA.

Brady, N. C. y Weil, R. R. 1999. The Nature and Properties of Soils. 9<sup>ed</sup>. Prentice Hall. USA. 881 pp.

Bridgham, S. D., Megonigal, J. P., Keller, J. K., Bliss, N. B. y Trettin, C. 2006. The Carbon Balance of North American Wetlands. *Wetlands* **26 (4)**: 889-916.

Castañeda-Moya, E., Twilley, R. R. y Rivera-Monroy, V. H. 2013. Allocation of Biomass and Net Primary Productivity of Mangrove Forests Along Environmental

Gradients in the Florida Coastal Everglades, USA. *Forest Ecology and Management*, **307**: 226-241.

Chave, J. C. Andalo, S. Brown, M.A. Cairns, J.Q. Chambers, D. Eamus, H. Fölster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J.-P. Lescure, B.W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riéra, T. Yamakura. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* **145**: 87-99.

CONABIO. 2009. Manglares de México: extensión y distribución. 2a ed. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, 99 pp.

CONABIO. 2008. Manglares de México. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, 35 pp.

Collins, M. E. y Kuehl, R. J. 2000. Organic matter accumulation and organic soils. 137-172pp. En: *Wetland Soils Genesis, Hydrology, Landscapes and classification*. Richardson, J. L. y Vepraskas, M. J. (ed.). Ed. Lewis Publishers, Boca Raton, EUA.

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

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 Geoscience*, **4(5)**: 293-297.

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

FAO (Food and Agriculture Organization). 2007. The World's Mangroves 1980-2005. Ed. FAO Forestry Paper. Rome, Italy. 77 pp.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2001. Soil Carbon Sequestration for Improved Land Management. World soil reports 96. Rome, Italy. 58 p.

Figuroa-Del, C. L. y Álvarez-León, R. 2011. Evaluación de suelos de manglar en dos localidades de la ensenada de Tumaco, Pacífico colombiano. *Archivos de Ciencias do Mar*, **44 (1)**: 12-20.

Flint, A.L. y Childs, S. 1984. Development and Calibration of an Irregular Hole Bulk Density Sampler. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **48**: 374-378.

Flores-Verdugo, F. J., Gonzáles-Farías, F., Zamorano, D. S. y Ramírez, P. G. 1992. Mangrove Ecosystem of the Pacific Coast of Mexico: Distribution Structure Litterfall, and Destritus Dynamics. *Coastal plant Communities of Latin America*. **17**: 269-288.

FONAM (Fondo Nacional del Ambiente). 2006. El cambio climático. (En línea): Fonam, ([http:// www.fonamperu.org/general/cambio.asp](http://www.fonamperu.org/general/cambio.asp) (Consultado el 29 de junio de 2016)).

Fromard, F., Puig, H., Mougín, E., Marty, G., Betoulle, J. L. y Cadamuro, L. 1998. Structure, Above Groundbiomass and Dynamics of Mangrove Ecosystems: New Data from French Guiana. *Oecologia*, **115**: 39-53.

Gifford, R.M., 1994. The Global Carbon Cycle: a Viewpoint on the Missing Sink. *Functional Plant Biology*, **21(1)**: 1-15.

Gutiérrez-Mendoza, J. y Herrera-Silveira, J. 2015. Almacenes de Carbono en manglares de tipo Chaparro en un escenario cárstico. pp. 460-469. En: Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Paz, P. F y Wong, G. J. (ed.). Texcoco, Estado de México, México.

Herrera-Silveira, J. A., Camacho, A. R., Pech, E., Pech, M., Ramírez, R. J. y Teutli, C. H. 2016. Dinámica del carbono (Almacenes y flujos) en manglares de México. *Tierra Latinoamericana*, **34(1)**: 61-72.

Hernández, M. E. 2010. Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Tierra latinoamericana*, **28 (2)**: 139-147.

Howe, A.J., Rodríguez, J.F. y Saco, P. M. 2009. Surface Evolution and Carbon Sequestration in disturbed and Undisturbed Wetland Soils of the Hunter Estuary, Southeast Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **84 (1)**: 75-86.

INEGI, 2001. Tuxpan, Estado de Veracruz. Cuaderno Estadístico Municipal. Gobierno del Estado de Veracruz e instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México. 180pp.

IPCC, 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies. Ed. Institute for Global Environmental Strategies, Japan. 590pp.

IPCC, 2007. Cambio climático resumen del informe de evaluación. GreenFacts hechos sobre la salud y el medio ambiente. 6pp.

Izaurrealde, R. C. C., Rosemberg, N. J. y Lal, R. 2001. Mitigation of Climatic Change by Soil Carbon Sequestration: Issues of Science, Monitoring, and Degraded Lands. *Advances in Agronomy*, **70**: 1-173.



Jackson, M.L., 1964. Análisis químico de suelos (Traducido por J. Bertrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p. ([http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=8007548&pid=S0718-2791200800010000600064&lng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=8007548&pid=S0718-2791200800010000600064&lng=es)).

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. 48pp.

Kauffman, J. B., y Donato, D. C. 2012. Protocols for the Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass and Carbon Stocks in Mangrove Forests. Working paper 86. CIFOR, Bogor, Indonesia.

Kauffman, J. B., y Cole, T. G. 2010. Micronesian Mangrove Forest Structure and Tree Responses to a Severe Typhon. *Wetlands*. **30(6)**: 1077-1084.

Kaufmann, J. B., Heider, C., Cole, T. G., Dwire, K. A. y Donato, D. C. 2011. Ecosystem Carbon Stocks of Micronesian Mangrove Forests. *Wetlands*, **31(2)**: 343–352.

Kimble, J. M., Lal, R. y Follett, R. F. 2002. *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. Ed. Lewis Publishers. USA. 503 pp.

Komiyama, A., Eong, O. J. y Pongpam, S. 2008. Allometry, Biomass, and Productivity of Mangrove Forests: a Review. *Aquatic Botany* **89**: 128-137.

Komiyama, A., Pongpam, S. y Kato, S. 2005. Common Allometric Equations for Estimating the Tree Weight of Mangroves. *Journal of Tropical Ecology*. **21**: 471–477.

Lal, R. 2005. Forest Soils and Carbon Sequestration. *Forest ecology and management*, **220 (1)**: 242-258.

Lara-Domínguez, A. L.; J. López-Portillo J.; A. Ávila-Ángeles y A. D. Vázquez-Lule. Caracterización del sitio de manglar Tuxpan, en comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F.

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

Lugo, A. E. y Snedaker, S. C. 1974. The Ecology of Mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **5(1)**: 39-64.

Malhi, Y., Aragao, L. E. O., Metcalfe, D. B., Paiva, R., Quesada, C., Almeida, S., Anderson, L., Brando, P. Chambers, J. Q., Da costa, A. C., Huttyra, L. R., Oliveira, P., Patiño, S., Pyle. E. H., Robertson, A. L. y Teixeira, L. M. 2009. Comprehensive Assessment of Carbon Productivity, Allocation and Storage in Three Amazonian Forests. *Global Change Biology* **15**: 1255-1274.

Manrow-Villalobos, M. y Vílchez-Alvarado, B. 2012. Estructura, composición florística, biomasa y carbono arriba del suelo en los manglares Laguna de Gandoca y estero Moín, Limón, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, **9(23)**: 1-18.

MARENA (Ministerio de Recursos Naturales y del Ambiente). 1994. *Estudio tecnológico de la madera en tres especies de mangle*. Ed. HISPAMER, Managua, Nicaragua. 93 pp.

Martínez-Hernández, M. 2013. Evaluación de la perdida de superficie de los manglares del municipio de Tamiahua, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz, México.

Menéndez, L., Guzmán, J. M., Capote-Fuentes, R. T., Gómez, R. y Sotillo, A. 2006. Estructura en los bosques de mangle en cuba. 60-72. En: *Ecosistemas de manglar*

*en el archipiélago cubano: estudios y experiencias enfocados a su gestión.*

Menéndez, L. y Guzmán, J. M. (ed.). Ed. Academia, Cuba.

Mitsch, J. W. y Gosselink, G. J. 2000. The Values of Wetlands: Importance of Scale and Landscape Setting. Wiley. *Ecological Economics*, **35**: 25-33.

Moreno, M. G. J., Cerón, B. J. G., Cerón, B. R. M., Guerra, S. J. J., Amador, A. L. E. y Endañu, H. E. 2010. Estimación del potencial de captura de carbono en suelos de manglar de Isla del Carmen. *Unacar Tecnociencia*, **4 (1)**: 23 – 39

Moreno, C. E., Guerrero P. A., Gutiérrez, C. M.C. Ortiz, S. C. A. y Palma L. D. J. 2002. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. *Madera y Bosques Número especial*, 115-128.

Muller, R. N. y Hamilton, M. E. 1992. A simple, Effective Method for Determining the Bulk Density of Stony Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **23 (3 y 4)**: 313-319.

Murdiyarso, D., Donato, D., Kauffman, J. B., Kurnianto, S., Stidham, M. y Kanninen, M. 2009. Carbon Storage in Mangrove and Peatland Ecosystems: a Preliminary Account from Plots in Indonesia. CIFOR, Indonesia. 35pp.

Murray, M. R., Zisman, S. A., Furley, P. A., Munro, D. M., Gibson, J., Ratter, J., Bridgewater, S. 2003. The mangroves of Belize. Part 1: Distribution, Composition and Classification. *Forest Ecology and Management*, **174**: 265-279.

Neill, C. Cerri, C. C., Melillo, J. M., Feigl, B.J., Steudler, P. A., Moraes, J. F. L. y Piccolo, M. C. 1998. Stocks and dynamics of soils Carbon following deforestation for pasture in rondonia. pp 9-28. En: *Soil Processes and the Carbon Cycle*. Rattan, L., Jonh, M. K., Ronald, F. F. y Bobby, A. S. (ed.). Ed. Boca Raton, Florida.

NOM-021-RECNAT-2000. [actualizado el 31 de diciembre de 2002]. Pag. Electrónica

([http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002)).

NOM-059-SEMARNAT-2010. [actualizado el 30 de diciembre de 2010]. Pag. Electrónica

([http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf)).

Pineda-Ovalles, J. R., Juárez-Agis, A., Toache-Berttolini, G., Benítez-Villasana, J. I. y García-Sánchez, S. 2012. Dinámica y estructura de una comunidad de manglar en la laguna de Mitla, Guerrero. Memorias del Segundo Congreso Mexicano de Ecosistemas de Manglar. Ciudad del Carmen, Campeche, México. 56-57p.

Pinot, R. H. 2000. Manual de Edafología. Ed. Computec. Chile.

Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. 1999. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 929pp.

Post, W. M, Emanuel, W. R, Sinke, P. J., Stangenberger, A. G. 1982. Soil Carbon Pools and World Life Zones. *Nature*, **298**: 156-159.

PNUMA. 2013. Los depósitos de carbono y los múltiples beneficios de los manglares de África Central: Evaluación para REDD. Resumen Ejecutivo, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, International Resource Panel, programa ONU-REED. Nairobi, Kenya. 8p

Reyes-Castellanos, J., Conde-Medina, K. P., Agraz-Hernández, C. M., Expósito-Días, G., Osti-Saénz, J. L., Chan-Keb, C., Requena-Pávon, G., Chan-Canul, E., Cach-Ruíz, M. Y. y Martínez-Kumul, G. 2012. Alteraciones del patrón hidrológico y calidad del agua intersticial del mangle que bordea el río Icahao, Champotón: causas y consecuencias. Memorias del Segundo Congreso Mexicano de Ecosistemas de Manglar. Ciudad del Carmen, Campeche, México. 178-179p.

Richards, K. R. y Stokes, C. 2003. A Review of Forest Carbon Sequestration Cost Studies: a Dozen Years of Research. *Climatic Change*, **63 (1)**: 1-48.

Richter, H. G. y Dallwitz, M. J. 2000. Commercial Timbers: Descriptions, Illustrations, Identification, and Information Retrieval. (<http://deltaintkey.com/wood/es/www/rhirhman.htm>).

Rodríguez-Zúñiga, M.T., Troche-Souza C., Vázquez-Lule, A. D., Márquez-Mendoza, J. D., Vázquez-Balderas, B., Valderrama-Landeros, L., Velázquez-Salazar, S., Cruz-López, M. I., Ressler, R., Uribe-Martínez, A., Cerdeira-Estrada, S., Acosta-Velázquez, J., Díaz-Gallegos, J., Jiménez-Rosenberg, R., Fueyo-Mac, D. L. y Galindo-Leal, C. 2013. Manglares de México: Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F. 128p.

Rosell, R. A. 1999. Materia orgánica, fertilidad de suelos y productividad de cultivos. Proceed. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Pucón, Chile.

Rubio, A.M. 2010. La Densidad Aparente en suelos forestales del Parque Natural Los Alcornocales. Trabajo de Fin de Carrera. Departamento de Geoecología del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla y el Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla. España. 88 pp.

Saenger P. 2002 *Mangrove Ecology, Silviculture, and Conservation*. Kluwer Academic Publishers. Boston, London. 363pp.

Salamanca, A. y Sadeghian, S. 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetalera colombiana. *Cenicafé* **56 (4)**: 381-397.

Salgado, L. 2004. *El mecanismo de desarrollo limpio en actividades de uso de la tierra, cambio de uso y forestería (LULUCF) y su potencial en la región latinoamericana*. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. Cepal-Serie Medio ambiente y desarrollo. Santiago de Chile. 84 pp.

Cerón-Bretón, R.M., Cerón-Bretón, J. G., Damián-Hernández, D. L., Guerra-Santos, J. J., Rangel-Marrón, M., Sánchez-Junco, R. C., Zavala-Loría, J. C. 2011. Determinación del carbono almacenado en suelo con asociación de mangle rojo en Nuevo Campechito, Campeche. *U. Tecnociencia*, **5 (1)**: 1-7.

Santamaría-Damián, S., Tovilla-Hernández, C. y Acosta-Velázquez, J. 2012. Parámetros estructurales y cambios en la cobertura del manglar en el sistema Lagunar Los Patos-Sólo Dios, Chiapas. Segundo Congreso Mexicano de Ecosistemas de Manglar. Ciudad del Carmen, Campeche, México. 60-61 p.

Schargel, R. y Delgado, F. 1990. Características y manejo de los suelos utilizados en la producción de carne en Venezuela. En Plasse, D., Peña de Borsotti, N., eds. VI Cursillo sobre Bovinos de Carne. FCV-UCV, Maracay. 187-220pp.



Schlesinger, W. H. 1990. Evidence from Chronosequence Studies for a Low Carbon-Storage Potential of Soils. *Nature*, **348**: 232-234.

Schlegel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. 2000. Manual de Procedimientos de Muestreos de Biomasa Forestal. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF D9811076. Valdivia, Chile. 26 pp.

Schlegel, B., Gayoso, J y Guerra, J. 2001. Manual de Procedimientos para Inventarios de Carbono en Ecosistemas Forestales. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF D9811076. Valdivia, Chile. 17 pp.

Smith, T. J. y 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**: 409–419

Stine, M. A. y Well, R. R. 2002. The Relationship Between Soil Quality and Crop Productivity Across Three Tillage Systems in South Central Honduras. *American Journal of Alternative Agriculture*, **17**: 2-8.

Swift, R. S. 2001. Sequestration of Carbon by Soil. *Soil Science*, **166(11)**: 858-871.

Tauchnitz, N., Brumme, R., Bernsdorf, S. y Meissner, R. 2007. Nitrous Oxide and Methane Fluxes of a Pristine Slope Mire in the German National Park Harz Mountains. *Plant Soil*, **303**: 131-138.

Tarnocai, D. 1998. The Mmount of Organic Carbon in Various Soil Orders and Ecological Provinces in Canada. 81-92. En: *Soil Processes and the Carbon Cycle*. Rattan, L., Jonh, M. K., Ronald, F. F. y Bobby, A. S. (ed.). Ed. Boca Raton, Florida.

Télez-García, C. P. y Valdez-Hernández, J. I. 2012. Caracterización estructural del manglar en el estero Palo Verde, Laguna de Coyutlán, Colima. *Revista de Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 395-408.

Torres, T. R. D., Ramírez, S. A. y Najib, F. A. 2013. Los manglares de Veracruz: Potencial de captura de carbono. Pronatura. Xalapa, Veracruz. 30 pp.

Twilley, R. R. y Rivera-Monrroy, V. H. 2005. Developing Performance Measures of Mangrove Wetlands using Simulation Models of Hydrology, Nutrient Biogeochemistry, and Community Dynamics. *Journal of Coastal Research*, **40**: 79-93.

Xiaonan, D., Xiaoke, W., Lu, Fei. y Zhiyun, O. 2008. Primary Evaluation of Carbon Sequestration Potential of Wetlands in China. *Acta Ecologica Sinica*, **28(2)**: 463-469.

Yáñez-Arancibia, A. y Lara-Domínguez, A. L. 1999. Los manglares de América Latina en La Encrucijada. 9-16. En: *Ecosistemas de Manglar en América Tropical*. Instituto de Ecología AC México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA, 380pp.

Yepes, A., Zapata, M., Bolivar, J., Monsalve, A., Milena, E. S., Sierra-Correa, C. P. y Sierra, A. 2015. Ecuaciones alométricas de biomasa área para la estimación de los contenidos de carbono en manglares del Caribe Colombiano. *Rev. Biol. Trop.* **64** (2): 913-926.

Zenil-Tolentino, F. 2014. Identificación y estructura forestal de manglar en dos condiciones ambientales del estero Palma Sola, Tuxpan, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

Zhang, H. B., Luo, Y. M., Wong, M. H., Zhao, Q. G. y Zhang, G. L. 2007. Soil Organic Carbon Storage and Changes with Reduction in Agricultural Activities in Hong Kong. *Geoderma*, **139**: 412–419.

Zinn, Y. L., Lal, R. y Resck, D. V. S. 2005. Changes in Soil Organic Carbon Stock Under Agriculture in Brazil. *Soil Tillage Res.* **84**: 28-40.

## XI. ANEXOS

### ANEXO 1. Puntos de muestreo en el bosque de manglar de Tumilco, Tuxpan, Veracruz.

Puntos de muestreo	Latitud	Longitud
1	20° 55' 38.0"	97° 21' 2.63"
2	20° 55' 47.20"	97° 20' 43.48"
3	20° 55' 53.64"	97° 20' 30.55"
4	20° 55' 44.59"	97° 20' 23.02"
5	20° 55' 41.53"	97° 20' 28.29"
6	20° 55' 40.63"	97° 20' 20.11"
7	20° 54' 57.46"	97° 20' 37.10"
8	20° 54' 47.51"	97° 20' 31.83"
9	20° 55' 7.63"	97° 19' 48.99"
10	20° 55' 1.74"	97° 19' 42.47"
11	20° 54' 46.22"	97° 19' 54.96"
12	20° 54' 45.33"	97° 19' 45.44"
13	20° 56' 5.53"	97° 19' 46.92"
14	20° 56' 7.44"	97° 19' 35.89"
15	20° 54' 56.83"	97° 19' 23.19"

**ANEXO 2. Clave dicotómica para la identificación de las especies de mangle (Agraz-Hernández et al., 2006)**

**1a.** Árboles con raíces zancudas; estípulas de 4-5 cm. de largo, caducas una vez que las hojas se expanden y cambia de color; hojas glabras, sin glándulas excretoras de sal, semilla vivípara, produciendo un hipocótilo de hasta de 40 cm de longitud mientras se encuentra adherida al árbol.....**2**

**2a.** Árboles o arbustos distribuidos en las costas del Pacífico, desde el Sur de Baja California y Sonora hasta Chiapas; y en el Atlántico desde Laguna Madre, Tamaulipas, hasta Quintana Roo, en la Península de Yucatán. Inflorescencias con 2 ó 3 flores.....***Rhizophora mangle***

**2b.** Plantas sólo de la costa del sur de Chiapas en la vertiente del Pacífico. Las inflorescencias con 8 a 32 flores.....***Rhizophora harrisonii***

**1b.** Árboles sin raíces zancudas; con o sin pneumatóforos; con o sin estípulas; hojas de finamente puberulentas a glabras, con glándulas excretoras de sal; si la semilla es vivípara, la radícula no llega a 40 cm de longitud.....**3**

**3a.** Sin pneumatóforos; hojas alternas o en ocasiones congestionadas en las puntas de las ramas formando verticilos; con un par de glándulas en la base de la lámina foliar y en la axila formada por la vena primaria y las secundarias en el envés.....**4**

Base de la lámina foliar cuneada, verde brillante, lustrosa y glabra en ambas superficies..... ***Conocarpus erectus***

Base de la lámina foliar decurrente, verde-grisáceo y puberulenta en ambas superficies..... ***Conocarpus erectus* variedad *sericeus***

**3b.** Con pneumatóforos; hojas opuestas; con o sin glándulas en la base de la lámina foliar ni en las axilas en el envés, éste glabro a finamente puberulento..... **5**

**5a.** Pneumatóforos abundantes; ramas y troncos jóvenes tetragonos; color café claro pero oscurecido por la presencia de hojas opuestas, con diminutos cristales de sal sobre la vena media; haz gris-verdoso, envés pálido; pecíolo de 2 a 10 mm de largo..... ***Avicennia germinans***

**5b.** Ramas y troncos teretes; hojas decusadas, verdosas en ambas superficies; con glándulas hundidas excretoras de sal en el envés; pecíolo de 10 a 20 mm de largo, con dos glándulas excretoras de néctar en su parte superior próxima a la lámina foliar..... ***Laguncularia racemosa***

### **ANEXO 3. Determinación del % de carbono y materia orgánica por la técnica de Walkley y Black.**

Materiales: suelo seco, 2 matraces Erlenmeyer, bureta 25 ml, dicromato de potasio 1N, campana de extracción de gases, ácido sulfúrico concentrado, agua destilada, ácido fosfórico, indicador difenilamina y sulfato ferroso amonico 0.5 N

Procedimiento:

1. Pese 0.5 gr de suelo seco, previamente tamizado (malla 100).
2. Coloque cada muestra de suelo en un matraz Erlenmeyer. Es recomendable trabajar por duplicado las muestras y correr un blanco (agregue a un matraz los mismos reactivos, MENOS suelo). El blanco nos permite: (a) calcular la normalidad real del sulfato ferroso, (b) obtener el porcentaje de MO al momento de hacer los cálculos correspondientes y (c) conocer el color de viraje durante la titulación.
3. Agregue con la pipeta 10 ml de dicromato de potasio 1N y agite suavemente.
4. Bajo la campana de extracción de gases, agregue con mucho cuidado 20 ml de ácido sulfúrico concentrado, dejando resbalar el ácido por las paredes del matraz. Mezcle con precaución ya que se desprenden gases.
5. Agite por un minuto y deje 30 minutos en reposo.
6. Agregue 200 ml de agua destilada a cada matraz.
7. Adicione 10 ml de ácido fosfórico.
8. añada 3 gotas del indicador difenilamina, poco antes de iniciar la titulación.
9. llene una de las buretas con la solución de sulfato ferroso 0.5 N, cuidadosamente que no le queden burbujas en su interior.

10. inicie la titulación, de preferencia con el blanco. Mantenga un goteo constante de la solución de Sulfato ferroso ((SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> Fe (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) y al mismo tiempo, agite el contenido del matraz para poder apreciar el cambio de color de la solución.

11. Al principio de la titulación, el color de la solución puede ser verde botella o pardo, e irá cambiando a un color azul, el cual se oscurece poco antes de que se realice el viraje a un color verde esmeralda brillante. Al obtenerse este cambio suspenda la titulación y anote el volumen en mililitros de sulfato ferroso gastados en cada una de las diferentes muestras.

12. Realizar los cálculos

Para la obtención del porcentaje de carbono orgánico presente en la muestra a partir del volumen de sal de Mohr gastados se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Carbono Orgánico} = [10 \times (1 - (T/S)) \times (1 \times 0.003) \times (100/W)] \times 1.33$$

Donde "T" es el volumen de sulfato ferroso gastado en la muestra, "S" el volumen de sulfato ferroso gastado en el blanco y "W" los gramos de muestra utilizados.

Luego, para obtener el porcentaje de materia orgánica correspondiente con ese porcentaje de carbono orgánico, se utilizó el factor de Bemmelen (1,724) en la siguiente operación:

$$\% \text{ Materia Orgánica} = \%C \times 1,724$$



#### **Anexo 4. Determinación de la clase textural por medio del hidrómetro de Bouyoucos.**

Procedimiento: 1. Destrucción de la materia orgánica en las muestras de suelo. 1. Pesar 60 g. de suelo y colocarlos en un vaso de precipitados de 400 ml. 2. Añadir de 10 en 10 ml un total de 40 ml de agua oxigenada al 30 %, mezclando perfectamente después de cada adición, con un agitador de vidrio. Debe tenerse cuidado para evitar quemaduras. 3. Si aún la reacción es muy vigorosa adicionar otros 10 ml de agua 4. Dejar secar en la estufa a una temperatura de 100 °C.

2. Determinación del tamaño de las partículas. 1. Después de que el suelo se ha secado, pese y coloque 50 g en el vaso de la batidora. 2. Agregue con una pipeta los dispersantes: a) Metasilicato de sodio 10 ml de y b) 10 ml de Oxalato de sodio 3. Adicione agua destilada hasta la segunda ranura del vaso. 4. Agite durante 10 minutos como mínimo para muestras de textura gruesa (arenosos) y hasta 30 minutos para la textura fina (arcillosos). 5. Vaciar toda la mezcla en la probeta de Bouyoucos, mantener inclinado el vaso metálico (posición de vaciado) y con ayuda de una piceta, bajar todas las partículas de muestra que hayan quedado en el fondo del vaso. Agregar agua hasta que el límite del líquido permanezca aproximadamente 5 cm. debajo de la marca de 1130 ml.

6. Introducir el hidrómetro en la probeta y completar cuidadosamente con agua hasta la marca de 1130 ml. 7. Saque el densímetro y agite enérgicamente durante 1 minuto (60") con una varilla es profesos, moviéndola de arriba hacia abajo, para que las partículas de la muestra de suelo queden homogéneamente distribuidas en

todo el volumen de la probeta. Parta lograr lo anterior, es necesario tirar con fuerza de la varilla de agitación para que de esta manera el suelo que permanece en el fondo se ponga en suspensión. Durante esta operación, la probeta se debe sostener fuertemente con la mano. Cuando la suspensión se haya mezclado totalmente, se retira la varilla. 8. Con el cronometro en mano después de haber retirado la varilla empiece a contar 40 segundos; mientras tanto introduzca cuidadosamente el hidrómetro de Bouyoucos para que se estabilice y se facilite observar la densidad en la escala del hidrómetro. Si en la superficie de la suspensión en la probeta se presenta abundante espuma, agregue unas gotas de alcohol amílico, 9. A los 40 segundos mida el primer valor de densidad con el hidrómetro, en la parte superior del menisco (anótelo en el cuadro de resultados). Enseguida realice la lectura de temperatura. 10. Retire con cuidado el hidrómetro y termómetro y téngalos limpios para repetir la operación 2 horas después.

**NOTA:** cada vez que se tenga que medir la densidad de la suspensión, el hidrómetro se debe introducir 20 segundos antes del tiempo indicado. Si por alguna razón se pasó del tiempo de 40 segundos establecido, agite otra vez la suspensión como se indica en la instrucción correspondiente y proceda de nuevo. Esto es válido únicamente para la primera lectura.

Lectura	Tiempo	Densidad	Temperatura	Densidad corregida
1 <sup>a</sup>	40 "			
2 <sup>a</sup>	2 horas			

Nota: Debido a que la densidad es una propiedad que varía con la temperatura.

- Corrija la densidad de suelos con la tabla de temperatura.

Realiza los cálculos de % de partículas del suelo y al final

Formulas:

$$1. \% \text{ limo más arcilla} = \frac{\text{Lectura del hidrómetro corregida a los 40 sgs} \times 100}{\text{Peso del suelo}}$$

$$2. \% \text{ de arcilla} = \frac{\text{Lectura del hidrómetro corregida a los 40 sgs} \times 100}{\text{Peso del suelo}}$$

$$3. \% \text{ de arena} = 100 - \% \text{ limo} + \text{arcilla}$$

## **ANEXO 5. Determinación de la densidad aparente por el método de la probeta de 50ml.**

Materiales: Una franela (esponja), Tapón de hule. Probeta de plástico de 50 ml.  
Embudo grande, balanza granataria, lata de aluminio, Suelo seco y tamizado y  
Cronometro

Procedimiento:

1. Pese 40 gr de suelo seco y tamizado.
2. póngalo en una probeta de plástico de 50 ml,
3. tápelo con un tapón de hule.
4. humedezca una franela y exprima el exceso de humedad, dóblela 3 veces y colóquela sobre la mesa de laboratorio
5. sobre la franela golpee la probeta 30 veces con una frecuencia de un golpe por segundo y con una trayectoria vertical de 30 cm.
6. La intensidad de cada golpe debe permitir el asentamiento del suelo y no la emisión del mismo hacia la boca de la probeta.
7. Luego de concluida la serie de golpes, lea el volumen final que ocupa el suelo y anote el dato.

Formula  $DA = 50/vol.$  de muestra.

Sustituya los valores