



Universidad Veracruzana

# UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Región: Poza Rica - Tuxpan

---

---

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

**Condición del bosque de *Avicennia germinans* con base a su proximidad con el estero de Tumilco, Veracruz, México**

**TESIS**

**Que para obtener el título de:**

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

**PRESENTA**

Biól. Rosa Guadalupe Castellero Aizprúa

**Directora**

Dra. Celina Naval Ávila

**Asesor**

Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz

Tuxpan, Veracruz

enero 2021

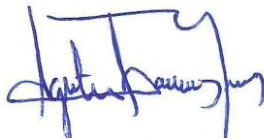
Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz a 18 de noviembre de 2020

El Presente Proyecto titulado “**Comparación de la condición del bosque de *Avicennia germinans* con base a su proximidad y lejanía de un cuerpo de agua en Tumulco, Veracruz, México**” realizado por la C. **Biol. Rosa Guadalupe Castillero Aizprua**, bajo la Dirección de la Dra. Celina Naval Ávila y la Asesoría del Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz ha sido aprobado y aceptado para poder llevar a cabo la solicitud de dictamen de liberación del documento:



Dra. Celina Naval Ávila

DIRECTORA

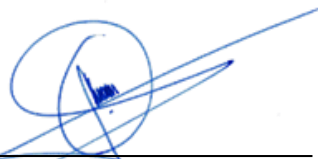


Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz

ASESOR

La presente Tesis titulada “**Atributos estructurales, caída de hojarasca y flujo de carbono interno en *Avicennia germinans* en el manglar de Tumulco, Tuxpan, Veracruz**”, realizado por la C. **Biol. Rosa Guadalupe Castellero Aizprúa**, ha sido aprobada y aceptada para tramitar la presentación del examen de grado de: **MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS**.

**COMISIÓN LECTORA:**



---

Dra. Liliana Cuervo López

**LECTOR**



---

Dr. Ascención Capistrán Barradas

**LECTOR**

**Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, 15 de enero de 2021**

## DEDICATORIA

Este logro no hubiese sido posible sin el apoyo de los seres que más amo en este mundo, mi familia. Maravillosos seres humanos, que desde que emprendí este largo camino me brindaron todo su apoyo, comprensión y cariño. Con mucho amor a mi mamá, ser ejemplar que siempre ha sido mi guía, mi fuerza, mi aliento para seguir adelante y nunca desmayar, a mi padre y a mi abuelo por haberme animado siempre a estudiar y superarme en la vida, a mi hermano ese ser lleno de luz, con hermosos sentimientos que a pesar de su corta edad ha sabido comprenderme y ser mi fortaleza siempre que lo he necesitado. Muy especialmente a mi adorable abuela quien siempre creyó en mí y nunca dudo de mis capacidades, ha sido y siempre será mi mayor inspiración.

## AGRADECIMIENTO

Agradecerle a mi Dios todopoderoso por haberme dado salud y sabiduría para lograr esta tan anhelada meta. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca para estudiar la Maestría en Manejo de Ecosistemas, Marinos y Costeros; a la Universidad Veracruzana campus Tuxpan por facilitarme el laboratorio para procesar las muestras. A mi Directora de Tesis la Dra. Celina Naval Ávila y a mi Asesor el Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz infinitas gracias por todo el apoyo brindado durante todo este proceso. A la comisión lectora Dra. Liliana Cuervo, Dr. Ascención Capistrán y al Mtro. Arturo Zaldívar por sus comentarios y correcciones a fin de que esta tesis quedara lo mejor posible.

A mis colegas y amigas la Bióloga Marina Abigail Morales y la Bióloga Melisa Coronel, a mi amigo Edgar Chávez por su apoyo en el trabajo de campo y un agradecimiento especial al Sr. Pedro Sánchez por ser mi compañero de batalla durante los 11 meses de muestreo, gracias por sumarse a esta gran aventura de trabajar en el manglar.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
ÍNDICE.....	iii
Resumen .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES.....	5
2.1. Manglares en Veracruz.....	5
2.2. Atributos estructurales .....	5
2.3. Atributos funcionales .....	7
2.4. Atributos de servicio .....	9
III. OBJETIVOS.....	11
3.1. Objetivo general.....	11
3.2. Objetivos particulares .....	11
IV. ÁREA DE ESTUDIO .....	12
V. MATERIAL Y MÉTODOS .....	14
5.1. Variables ambientales .....	15
5.2. Parámetros fisicoquímicos del agua superficial y nivel de inundación.....	15
5.3. Atributos estructurales .....	15
5.4. Atributos funcionales .....	16
5.5. Atributos de servicio .....	17
5.5.1. Conversión de Mg de hojarasca a Mg de carbono.....	17

5.5.2. Conversión de Mg de carbono a dióxido de carbono .....	17
5.6. Análisis estadístico .....	17
VI. RESULTADOS.....	19
6.1. Variables ambientales .....	19
6.1.1. Correlación entre variables ambientales.....	21
6.2. Parámetros fisicoquímicos del agua superficial y nivel de inundación.....	21
6.1.1. Correlación entre variables fisicoquímicas del agua superficial y el nivel de inundación .....	23
6.3. Atributos estructurales .....	24
6.3.1. Altura .....	24
6.3.2. Diámetro a la altura del pecho (DAP).....	27
6.3.3. Relación entre la altura y el DAP .....	29
6.3.4. Área basal.....	31
6.3.5. Densidad .....	32
6.3.6. Volumen total de madera .....	34
6.4. Atributos funcionales .....	35
6.4.1. Caída de hojarasca.....	35
6.4.1.1. Composición de la hojarasca .....	37
6.4.1.2. Hojas .....	39
6.4.1.3. Ramas.....	41
6.4.1.4. Misceláneos .....	43
6.4.1.5. Flores .....	45
6.4.1.6. Frutos .....	47
6.5. Correlación de la caída de hojarasca con la altura y el DAP de <i>Avicennia germinans</i> .....	49
6.6. Atributos de servicio .....	50
6.6.1. Flujo de carbono a partir de la caída de hojarasca.....	51
6.6.2. CO <sub>2</sub> capturado por <i>Avicennia germinans</i> .....	53
6.7. Correlación de los componentes de la hojarasca con las variables ambientales .....	50

VII. DISCUSIÓN.....	55
7.1. Variables ambientales y parámetros fisicoquímicos del agua superficial y nivel de inundación .....	55
7.2. Atributos estructurales .....	56
7.3. Atributos funcionales .....	58
7.4. Atributos de servicio .....	61
VIII. CONCLUSIONES .....	64
IX. APLICACIÓN PRÁCTICA .....	65
X. BIBLIOGRAFÍA.....	70



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Ubicación del área de estudio en el Sitio Ramsar 1602 “Manglares y Humedales de Tuxpan”. Tumilco, Tuxpan, Veracruz.....	12
Fig. 2. Localización de los sitios de muestreos en el manglar de Tumilco, Tuxpan, Veracruz.....	14
Fig. 3. A) Variación mensual de la temperatura, B) de la velocidad del viento y C) de la precipitación.....	20
Fig. 4. A) Variación de la temperatura del sitio alejado del estero, B) Variación de la temperatura del sitio próximo del estero.....	22
Fig. 5. A) Variación de la salinidad del sitio alejado del estero, B) Variación de la salinidad del sitio próximo del estero.....	22
Fig. 6. A) Variación del pH del sitio uno, B) Variación del pH del sitio dos.....	23
Fig. 7. A) Variación del nivel de inundación del sitio alejado del estero, B) Variación del nivel de inundación del sitio próximo del estero.....	23
Fig. 8. Altura promedio de <i>Avicennia germinans</i> por sitio.....	25
Fig. 9. Altura promedio de <i>Avicennia germinans</i> por cuadrante. Cuadrantes 1-4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5-8 (sitio próximo del estero). .....	25
Fig. 10. Estructura de altura de <i>Avicennia germinans</i> .....	26
Fig. 11. Categorías de altura de <i>Avicennia germinans</i> por sitio. ....	26
Fig. 12. DAP promedio de <i>Avicennia germinans</i> por sitio.....	27
Fig. 13. DAP promedio de <i>Avicennia germinans</i> por cuadrante. Cuadrantes 1-4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5-8 (sitio próximo del estero).DAP de <i>Avicennia germinans</i> .....	28
Fig. 14. Estructura de DAP de <i>Avicennia germinans</i> .....	28
Fig. 15. Categorías diamétricas de <i>Avicennia germinans</i> por sitio.....	29
Fig. 16. A) Relación de la altura y el DAP de <i>Avicennia germinans</i> en el sitio alejado del estero y B) Relación de la altura y el DAP de <i>Avicennia germinans</i> en el sitio próximo del estero.....	30
Fig. 17. Área basal promedio de <i>Avicennia germinans</i> por sitio.....	31
Fig. 18. Área basal promedio de <i>Avicennia germinans</i> por cuadrante. Cuadrantes 1, 2, 3, 4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5, 6, 7, 8 (sitio próximo del estero).. .....	32
Fig. 19. Densidad promedio de <i>Avicennia germinans</i> por sitio.....	33
Fig. 20. Densidad promedio de <i>Avicennia germinans</i> por cuadrante .....	33
Fig. 21. Volumen total promedio de <i>Avicennia germinans</i> por sitio. ....	34
Fig. 22. Volumen total promedio de <i>Avicennia germinans</i> por cuadrante. Cuadrantes 1-4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5-8 (sitio próximo del estero). .....	35

Fig. 23. Variación mensual de la hojarasca total de <i>Avicennia germinans</i> .....	36
Fig. 24. Variación de la hojarasca total de <i>Avicennia germinans</i> por sitio.....	36
Fig. 25. Variación de la hojarasca total de <i>Avicennia germinans</i> por cuadrante. Cuadrantes 1-4 (sitio 1); cuadrantes 5-8 (sitio 2).....	37
Fig. 26. Composición de la hojarasca de <i>Avicennia germinans</i> .....	38
Fig. 27. Composición de la hojarasca de <i>Avicennia germinans</i> . .....	38
Fig. 28. Variación mensual de los componentes de la hojarasca.....	39
Fig. 29. Variación mensual del componente hoja en <i>Avicennia germinans</i> .....	40
Fig. 30. Variación del componente hoja de <i>Avicennia germinans</i> por sitio. ....	40
Fig. 31. Variación del componente hoja en <i>Avicennia germinans</i> por cuadrante. ....	41
Fig. 32. Variación mensual del componente rama en <i>Avicennia germinans</i> . .....	42
Fig. 33. Variación del componente rama en <i>Avicennia germinans</i> por sitio .....	42
Fig. 34. Variación del componente rama en <i>Avicennia germinans</i> por cuadrante. Cuadrantes 1-4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5-8 (sitio próximo del estero). .....	43
Fig. 35. Variación mensual del componente misceláneo en <i>Avicennia germinans</i> . .....	44
Fig. 36. Variación del componente misceláneo en <i>Avicennia germinans</i> por sitio. .....	44
Fig. 37. Variación del componente misceláneo en <i>Avicennia germinans</i> por cuadrante. Cuadrantes 1-4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5-8 (sitio próximo del estero).....	45
Fig. 38. Variación mensual del componente flor en <i>Avicennia germinans</i> . .....	46
Fig. 39. Variación del componente flor en <i>Avicennia germinans</i> por sitio.. .....	46
Fig. 40. Variación del componente flor en <i>Avicennia germinans</i> por cuadrante. Cuadrantes 1, 2, 3, 4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5, 6, 7, 8 (sitio próximo del estero).....	47
Fig. 41. Variación mensual del componente fruto en <i>Avicennia germinans</i> . .....	48
Fig. 42. Variación del componente fruto en <i>Avicennia germinans</i> por sitio .....	48
Fig. 43. Variación del componente fruto en <i>Avicennia germinans</i> por cuadrante. Cuadrantes 1-4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5-8 (sitio próximo del estero) .....	49
Fig. 44. Relación de los componentes de la hojarasca de <i>Avicennia germinans</i> con las variables ambientales. ....	54
Fig. 45. Variación mensual del flujo de carbono en <i>Avicennia germinans</i> .....	51
Fig. 46. Variación del flujo de carbono en <i>Avicennia germinans</i> por sitio.....	52
Fig. 47. Variación del flujo de carbono en <i>Avicennia germinans</i> por cuadrante. Cuadrantes 1, 2, 3, 4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5, 6, 7, 8 (sitio próximo del estero).....	52
Fig. 48. Variación mensual del CO <sub>2</sub> capturado por <i>Avicennia germinans</i> .....	53
Fig. 49. Variación del CO <sub>2</sub> capturado por <i>Avicennia germinans</i> por sitio.....	54

Fig. 50. Variación del CO<sub>2</sub> capturado por *Avicennia germinans*. Cuadrantes 1, 2, 3, 4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5, 6, 7, 8 (sitio próximo del estero)..... 54

### ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Diferencias entre sitios de los parámetros fisicoquímicos del agua superficial y el nivel de inundación.....	21
Cuadro 2. Correlación entre los parámetros fisicoquímicos del agua superficial y el nivel de inundación.....	21
Cuadro 3. Correlación entre los parámetros fisicoquímicos del agua superficial y el nivel de inundación en el sitio alejado del estero.....	24
Cuadro 4. Correlación entre los parámetros fisicoquímicos del agua superficial y el nivel de inundación en el sitio próximo del estero.....	24

# Condición del bosque de *Avicennia germinans* con base a su proximidad con el estero de Tumulco, Veracruz, México

## Resumen

Se comparó la condición del bosque de *Avicennia germinans* (atributos estructurales, funcionales y de servicios) en el manglar de Tumulco en Tuxpan, Veracruz. El muestreo se llevó a cabo en dos sitios, uno próximo al estero (100 m) y el otro alejado al estero (+ 100 m). En cada sitio se establecieron cuatro parcelas de 10 x 30 m con una separación de 300 m. Se obtuvieron reportes de variables ambientales para relacionarlos con los atributos funcionales y de servicio. Mensualmente se tomó la temperatura, la salinidad y el pH del agua superficial, así como el nivel de inundación en cada parcela con el fin de determinar si éstos provocaban diferencias en la condición del manglar entre sitios. En cada parcela se registró los atributos estructurales a partir de los datos de altura, diámetro (> a 2.5 cm), área basal, densidad y volumen de los árboles. Adicionalmente, se estimó la variación espacial y temporal de los atributos funcionales: caída de hojarasca, flujo de carbono y captura de CO<sub>2</sub>. La precipitación se relacionó con la caída de hojas, frutos y misceláneos. Se encontró diferencia en el nivel de inundación, en la temperatura y la salinidad, pero no en pH entre los sitios. Se registró diferencia significativa en el diámetro, área basal, densidad y volumen de madera entre los sitios, así como en la caída de hojarasca, flujo de carbono y captura de CO<sub>2</sub>. El sitio alejado al estero mostró mayor desarrollo estructural (DAP, área basal, volumen), mayor caída de estructuras reproductivas (flores, frutos), mayor flujo de carbono y captura de CO<sub>2</sub>. Mientras que, el sitio próximo al estero, presentó una mayor densidad de árboles y mayor caída de hojas. La condición del manglar con relación a los atributos estructurales, funcionales y de servicios fue diferente entre sitios próximos y alejados del estero de Tumulco atribuida a los parámetros fisicoquímicos del agua y al nivel de inundación.

Palabras claves: atributos, estructurales, funcionales, servicios, parámetros fisicoquímicos, inundación

## I. INTRODUCCIÓN

Los manglares desempeñan un papel importante debido a su extensión, diversidad, composición, estructura, así como por los beneficios ambientales y socioeconómicos que ofrecen (Oviedo *et al.*, 2006).

La evaluación de las características estructurales permite conocer las condiciones en las que se encuentra un bosque de manglar, esto constituye un elemento esencial para la planificación de acciones para un manejo adecuado de este ecosistema (Alvis-Gordo, 2009). La variación de los atributos estructurales puede ser a causa del flujo de mareas, oleajes, temperatura, salinidad, pH y alteraciones antrópicas (Alongi, 2009, Agudelo *et al.*, 2015). Un bajo aporte de agua dulce implica una menor cantidad de nutrientes y una acumulación de sales en el sedimento, aspectos que inciden en la estructura de los bosques (Romero-Berny *et al.*, 2019).

A nivel nacional existen diferencias en los manglares en función de su latitud y longitud, puesto que los de la costa noroccidental de México y el Caribe, son menos extensos y desarrollados que los del Golfo de México y la costa sudoccidental. Las características físicas de la costa, la extensión de la plataforma continental, así como las características del sustrato, la disponibilidad de nutrientes y la frecuencia de las tormentas tropicales y huracanes determinan el grado de desarrollo de los manglares en el país (Agraz-Hernández *et al.*, 2006).

Los manglares también son reconocidos por su importancia ecológica, puesto que son ecosistemas que contribuyen enormemente a la productividad primaria (Mohamed *et al.*, 2008). Esta productividad hace referencia a la cantidad de carbono que cada organismo captura y convierte en biomasa durante un tiempo y área determinada (Begon *et al.*, 2006). La productividad primaria incluye siete aspectos: a) producción de hojas, b) de órganos reproductores (flores y propágulos), c) producción de ramas (estos tres elementos forman parte de la hojarasca); d) producción de químicos de protección (taninos, entre otros), e) engrosamiento del tallo y f) generación de raíces aéreas y de raíces secundarias subterráneas (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1998; Alongi, 2009; Spalding *et al.*, 2010).

La manera más común de evaluar la productividad primaria en manglares es a través de la caída de hojarasca (hojas, ramas, flores, frutos), la misma representa entre el 20 y 30 % de la productividad total del manglar (Margalef, 1980). Cabe señalar que la cantidad de hojarasca producida en un área determinada está relacionada con el diámetro y la altura de los árboles, con la dirección del viento y el grado de precipitación del área (Villalobos *et al.*, 1996). La poca disponibilidad de agua dulce (fluvial, pluvial) trae como consecuencia un mayor estrés fisiológico en la planta, que se ve reflejado en una disminución en la caída de hojarasca (Grimaldi, 2012). Por su parte, Twilley y Day (1999) señalan que factores como concentración de nutrientes, tipo de suelo, salinidad, temperatura y pH están asociados a la caída de hojarasca.

La producción de hojarasca constituye también un indicador de la fenología foliar y reproductiva y de la intensidad del esfuerzo reproductivo (Rodríguez-Zúñiga *et al.*, 2018). El estudio de este último aspecto resulta de gran utilidad, ya que permite conocer los periodos adecuados para la recolección de propágulos, lo que es indispensable en programas de reforestación (Mantovani *et al.*, 2003).

La caída de hojarasca representa uno de los principales flujos de carbono que tiene el manglar (Rivera-Monroy *et al.*, 2013), y por lo tanto permite conocer la cantidad de CO<sub>2</sub> que los árboles remueven de la atmósfera (Kauffman *et al.*, 2013). A esta forma de almacenamiento de CO<sub>2</sub> en los ecosistemas costeros se le conoce como Carbono Azul (CA). El conocimiento de esta información permite movilizar fondos e ingresos para desarrollar políticas que contribuyan a la mitigación del cambio climático, logrando con ello un efectivo manejo costero (Howard *et al.*, 2014).

La producción de los bienes y servicios ambientales ofrecidos por los manglares depende de la estructura del manglar, la cual a su vez es el reflejo del manejo efectuado por los usuarios. Entre estos bienes y servicios se encuentran: captura de carbono, protección de las costas de la erosión y almacenamiento de madera, (Domínguez *et al.*, 2011).

Para garantizar el acceso a los bienes y servicios que ofrece el manglar, es de suma importancia llevar a cabo un diagnóstico que permita determinar las condiciones en las que se encuentra este ecosistema, a fin de que se puedan formular políticas de manejo sustentable, contribuyendo de esta manera al mejoramiento de las

condiciones sociales, económicas y ambientales (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2011).

El presente trabajo integra una descripción espacial de los atributos estructurales de *Avicennia germinans* y una estimación en los cambios temporales (mensual) y espaciales (sitios, cuadrantes) en: (1) la caída de hojarasca ( $\text{g/m}^2/\text{día}$ ), (2) en el flujo de carbono interno, (3) en la captura de  $\text{CO}_2$  y (4) en las variables ambientales, parámetros fisicoquímicos del agua superficial y nivel de inundación. Con el fin de responder a la siguiente interrogante: ¿Cómo es que el comportamiento espacial y temporal de las variables ambientales, de los parámetros fisicoquímicos del agua superficial y del nivel de inundación determinan condiciones del bosque (atributos estructurales, funcionales y de servicios) de *Avicennia germinans*?



## II. ANTECEDENTES

### 2.1. Manglares en Veracruz

La extensión estimada de manglares en Veracruz es de 43,811 ha, siendo el complejo lagunar de Alvarado el que posee la mayor superficie de manglares del estado. En el estado de Veracruz se pueden identificar cuatro especies de las 70 que se encuentran reportadas a nivel mundial: mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) (Moreno-Casasola *et al.*, 2002).

### 2.2. Atributos estructurales

Ajbilou *et al.* (2003) señalan que cuando se observa ausencia de ciertas clases diamétricas en los histogramas, se puede decir que corresponden a determinadas épocas de crisis en la dinámica de la población. La ausencia de regeneración para una determinada especie se refleja por una baja densidad de las clases diamétricas que representan a los árboles más pequeños. Una baja densidad de árboles de mayor diámetro se relaciona con la tala excesiva o la muerte de los árboles viejos por alguna enfermedad o por factores climáticos y, la ausencia de árboles en la clase diamétrica intermedia está relacionada con una tala intensiva, pero limitada en el tiempo o también por una perturbación episódica que provoca una ausencia temporal de regeneración.

Rodríguez-Ramírez *et al.* (2004) determinaron la estructura del manglar en Colombia y encontraron que el desarrollo estructural del manglar fue favorecido por el aporte fluvial y pluvial. A la misma conclusión llegaron Orjuelas-Rojas *et al.* (2011) ya que encontraron que un bajo aporte de agua dulce tuvo como consecuencia una alta proporción de latizales y brinzales y pocos árboles de gran tamaño. El bajo aporte de agua dulce también tiene consecuencias sobre el desarrollo del área basal (Alfaro-Sibaja *et al.*, 2015). Por su parte, Pool *et al.* (1977) mencionan que el déficit hídrico provoca dificultad en los árboles para obtener nutrientes, así como tensiones producto del incremento de la salinidad del suelo; condiciones de alta salinidad dan como resultado manglares achaparrados, ya que los manglares deben invertir más en adaptación que en crecimiento (Valle-Estrada, 2007).

Lacerda y Shaeffer-Novelli (1992) señalan que los manglares alcanzan su máximo desarrollo estructural en zonas donde la precipitación anual supera los 2000 mm y donde hay regímenes mesotidales (2-4 m) y macrotidales (> 6 m), así como en regiones donde las estaciones no son tan cambiantes. Mientras que Estrada-Durán *et al.* (2001) en México y Kamruzzaman *et al.* (2017) en Bangladesh sugieren que la densidad es otro factor que explica el grado de desarrollo de un bosque de manglar, ya que encontraron sitios con baja densidad de árboles, pero con áreas basales mayores y sitios con alta densidad y áreas basales menores.

En México, Véliz-Rodríguez (2009) reportó que el manglar de tipo ribereño fue más diverso en valores de heterogeneidad y equitatividad en comparación al manglar de

borde. En Venezuela, López *et al.* (2011) estudiaron la estructura de un manglar estuarino, de franja y achaparrado y encontraron como resultado que el manglar estuarino presentó la mayor altura y complejidad estructural, pero la mayor densidad se encontró en el manglar achaparrado. También reportaron una disminución progresiva del área basal y la altura, desde el manglar estuarino hacia el manglar achaparrado de laguna hipersalina. Por su parte, Agudelo *et al.* (2015) reportaron que *Avicennia germinans* fue la especie dominante en el manglar de cuenca y la que presentó el mayor desarrollo estructural (área basal y altura), esto se asoció a suelos que presentaban una mayor densidad aparente, un mayor porcentaje de limo y un mayor contenido de carbono orgánico; así como mayores valores promedio de salinidad en el agua intersticial.

### **2.3. Atributos funcionales**

Los factores que controlan la caída de hojarasca de los bosques de manglar varían en tiempo y espacio (Ochoa-Gómez, 2014). Saenger y Snedaker (1993) señalan que la caída de hojarasca tiene una correlación negativa con la latitud, encontrándose una mayor caída de hojarasca en los manglares cercanos al Ecuador, disminuyendo hacia los extremos latitudinales; sin embargo, ocurren notables variaciones ambientales (precipitación, temperatura y viento) a nivel local y regional que influyen en la caída de hojarasca (Bernini y Rezende, 2010).

Numerosos son los trabajos que se han realizado sobre caída de hojarasca en manglares, destacando los siguientes estudios: Estrada-Durán *et al.* (2001), Félix-Pico *et al.* (2006) y Mendoza-Morales *et al.* (2015) en México, determinaron que las hojas fueron el componente más abundante de la hojarasca durante todo el año; mientras que el componente reproductivo (frutos y flores) presentó una mayor caída durante la época lluviosa; estos resultados también coinciden con los encontrados por Zaldívar-Jiménez *et al.* (2004) quienes reportaron que las estructuras reproductivas aportaron hasta el 30 % de la hojarasca total de septiembre, mes que corresponde a la época lluviosa y que coincidió también con el máximo pico de precipitación. Querales *et al.* (2011) en Venezuela y Martínez-Cortés (2018) en México, reportaron un patrón estacional en la caída de hojarasca, donde la producción tiende a aumentar durante la época lluviosa y a disminuir en la época seca.

Por su parte, Grimaldi (2012) en El Salvador encontró que la producción de los componentes florales se observó durante todo el año; sin embargo, presentó sus valores más altos durante la estación seca, con picos en marzo y abril. También reportó que el desarrollo y maduración de los frutos alcanzó picos entre agosto y octubre, correspondientes a la estación lluviosa. Para Rodríguez *et al.* (2012) y Martínez-Ballesteros *et al.* (2014) en Panamá y en Colombia, respectivamente, no hubo diferencias en la caída de hojarasca en la estación seca y lluviosa. López-Portillo (1985) menciona que *A. germinans* presenta una estrategia reproductiva, ya que tiende a perder más hojas durante los periodos de gran estrés hídrico, en

cambio produce propágulos durante los períodos de mayor inundación y menor salinidad, condiciones que favorecen el establecimiento de los propágulos.

García-Hansen *et al.* (2002) señalaron que la producción de hojarasca corresponde a una respuesta del manglar a las variaciones ambientales; Estrada-Durán *et al.* (2001) y Kamruzzaman *et al.* (2017) coinciden con este supuesto indicando que la salinidad, la precipitación y la inundación son factores que influyen en los patrones de producción de hojarasca en manglares. Pool *et al.* (1975) sugieren que la producción de hojarasca también está relacionada con el incremento de las entradas de agua. De acuerdo con Snedaker (1978) es necesario un flujo constante de agua, para garantizar la entrada de nutrientes, la oxigenación del suelo y remoción de CO<sub>2</sub>, toxinas y salinidad del suelo, los cuales contribuyen al mantenimiento del balance del suelo.

#### **2.4. Atributos de servicio**

En los manglares, como en muchos otros ecosistemas costeros se reconocen los almacenes y flujos de diversos elementos, principalmente de carbono (Rodríguez-Zúñiga *et al.*, 2018). Una gran parte del carbono se queda dentro del manglar y es reciclado al interior de los bosques (flujo interno), mientras que otra parte es exportado hacia la zona marina (flujo externo) (Orihuela-Belmonte *et al.*, 2004). Debido al intenso procesamiento de materia orgánica que se realiza en los

manglares, éstos tienen un alto potencial de impacto en el presupuesto global de carbono (Dittmar *et al.*, 2006).

A nivel de México se observa que el mayor flujo de carbono por caída de hojarasca se reporta para la región del Pacífico sur (5.7 MgC/ha/año), seguida por el Golfo de México (4.6 MgC ha/año), Península de Yucatán (3.5 MgC/ha/año), Pacífico Norte (2.5 MgC ha/año), mientras que la región del Pacífico Centro presentó el valor promedio más bajo (1.5 MgC ha/año) (Herrera-Silveira *et al.*, 2016).

En cuanto a la variación en el flujo de carbono por tipo ecológico de manglar se observa que éste es mayor en el manglar ribereño (4.4 MgC/ha/año), seguido por los manglares de franja (4.3 MgCha/año), de cuenca (3.6 MgC/ha/año) y con un menor aporte en la caída de hojarasca están los manglares de tipo chaparro (0.55 MgC ha/año) (Herrera-Silveira *et al.*, 2016).

La contribución de los manglares al almacenamiento de carbono sugiere que la conservación y la restauración de estos ecosistemas podrían ser una vía que ayude a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (Kauffman *et al.*, 2014).

### III. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo general

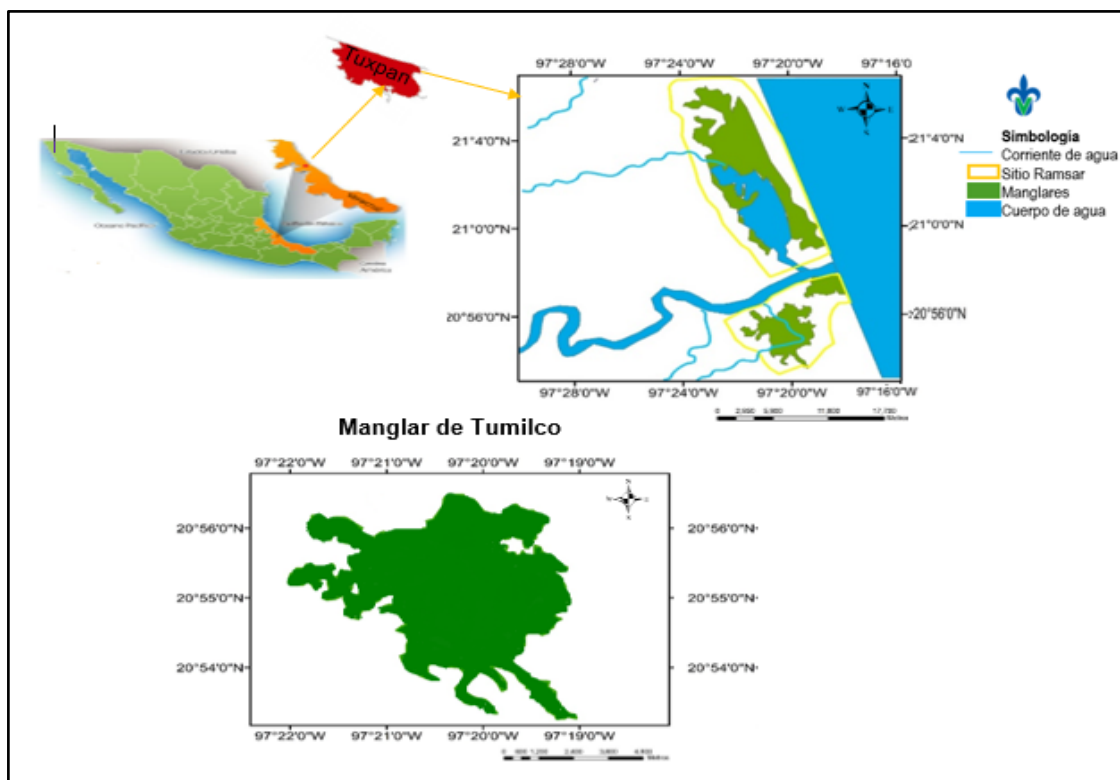
Comparar la condición del bosque de *Avicennia germinans* en función del comportamiento espacial y temporal de las variables ambientales, de los parámetros fisicoquímicos del agua superficial y del nivel de inundación.

#### 3.2. Objetivos particulares

- Describir las variables ambientales y los parámetros fisicoquímicos del agua superficial y el nivel de inundación en función de la variación espacial y temporal.
- Estimar los atributos estructurales (altura, DAP, área basal, densidad, volumen) de *Avicennia germinans* en función de la variación espacial.
- Estimar los atributos funcionales (caída de hojarasca) y de servicios (flujo de carbono y la captura de CO<sub>2</sub>) de *Avicennia germinans* en función de la variación espacial y temporal.

#### IV. ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se realizó en el manglar de Tumulco, localizado entre los 20°54' y 20°56' de latitud norte y entre los 97°21'y 97°18' de longitud oeste (INEGI, 2001). El manglar de Tumulco forma parte del Sitio Ramsar No. 1602 “Manglares y Humedales de Tuxpan” el cual se ubica en la Región Huasteca en la Llanura Costera del golfo de México, en el estado de Veracruz (Basáñez-Muñoz, 2005) (Fig. 1)



**Fig.1.** Ubicación del área de estudio en el Sitio Ramsar 1602 “Manglares y humedales de Tuxpan”. Tumulco, Tuxpan, Veracruz.

Por su ubicación geográfica, el manglar de Tumulco registra clima A(w<sub>2</sub>) con una temperatura media anual de 24 a 26 °C y con un rango de precipitación 1400-1600 mm (SNIM, 2017).



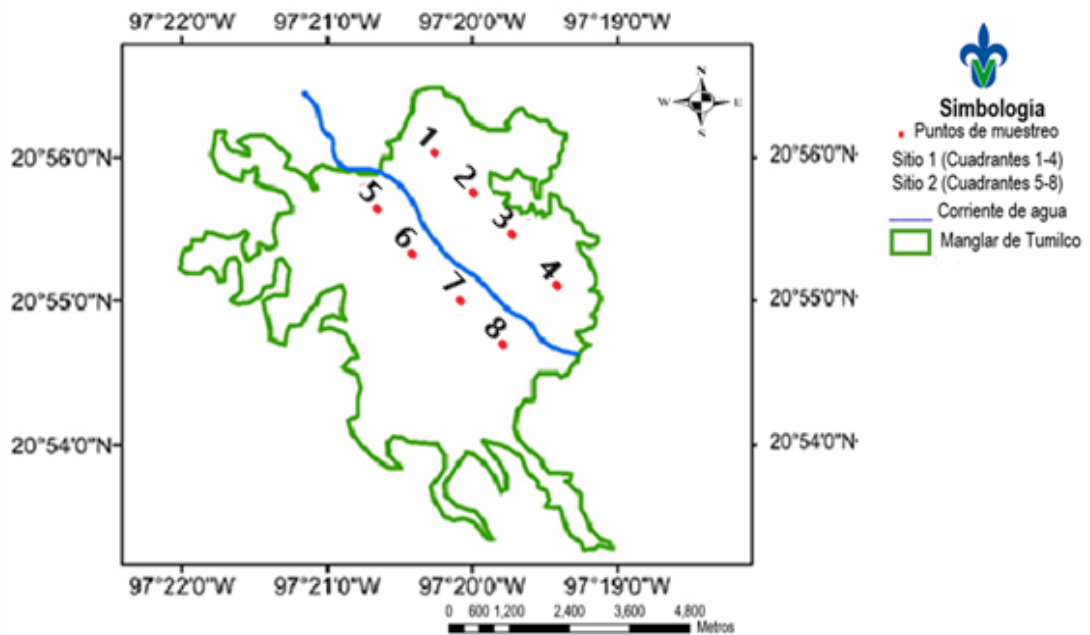
El tipo de textura del suelo predominante en el manglar de Tumilco es franco arcilloso, está compuesto principalmente por limo, arcilla y arena (Rossalino-Jiménez, 2015). El suelo presenta una densidad de 1.26 g/cm<sup>3</sup>, 3.91% de carbono orgánico y una capacidad de almacenamiento de carbono de 147.41 Ton/ha (Santiago-Molina, 2018).

La comunidad vegetal más representativa de Tumilco, la constituye las aproximadamente 1,300 ha de manglar las cuales están asociadas a las zonas de inundación del estero de Tumilco (Basáñez *et al.*, 2006). El manglar de Tumilco corresponde a un manglar de cuenca y está representado por tres especies de mangle: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* (Lara-Domínguez *et al.*, 2009).

Cabe señalar que el manglar de Tumilco ha sufrido impactos asociados al desarrollo de actividades industriales, agrícolas y ganaderas. Así como por la construcción de la vía de comunicación terrestre hacia Barra Sur y hacia la localidad de Tumilco (Santiago-Molina, 2018).

## V. MATERIAL Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el estudio se realizaron muestreos mensuales desde noviembre de 2018 hasta octubre de 2019. Para el establecimiento de los dos sitios de muestreo (uno a cada lado del estero) se midieron 100 m desde el borde del manglar hacia su parte interna; en cada sitio se establecieron cuatro parcelas de 10 x 30 m, separadas por 300 m. El sitio uno (distante al manglar) se localiza a más de 100 m del estero, está representado por los cuadrantes 1, 2, 3, 4 y el sitio dos (próximo al manglar) está situado a 100 m del estero y está integrado por los cuadrantes 5, 6, 7 y 8 (Fig. 2).



**Fig. 2.** Localización de los sitios de muestreo en el manglar de Tumulco, Tuxpan, Veracruz.

### **5.1. Variables ambientales**

Se obtuvieron reportes oficiales mensuales de temperatura ambiente, velocidad del viento y precipitación desde noviembre de 2018 a octubre de 2019, con el fin de conocer la variación temporal de éstos y correlacionarlos con los atributos funcionales y de servicio. Dichos datos se obtuvieron de la estación meteorológica de la CONAGUA ubicada en el vivero de la SEMARNAT en Tuxpan, Veracruz.

### **5.2. Parámetros fisicoquímicos del agua superficial y nivel de inundación**

En cada parcela se midió el nivel de inundación con una regla de madera y se tomaron muestras de agua superficial en tres puntos (0, 15 y 30 m dentro de la parcela), para registrar valores de salinidad (ups), pH, y temperatura (°C), utilizando para ello un refractómetro ATC de 100 ‰ y un multiparámetro PCStestr 35.

### **5.3. Atributos estructurales**

En cada parcela, se midió la altura de todos los árboles de *Avicennia germinans* con un clinómetro marca SUNNTO, y con una cinta métrica flexible se midió la circunferencia de los árboles a una altura de 1.30 m; este valor se transformó a diámetro; dividiéndolo entre 3.1416. Cabe aclarar que se tomaron en cuenta exclusivamente los árboles con diámetro a la altura de pecho (DAP) mayor a 2.5 cm (Cintrón y Schaeffer-Novelli, 1984; Estrada *et al.*, 2001; Melo y Vargas, 2003). Se utilizaron cinco categorías de altura: 2.0–4.0 m, 4.1–6.0 m, 6.1–8.0 m, 8.1-10 m y 10.1-12 m. Además, se emplearon seis categorías diamétricas: 0-5.0 cm, 5.1-10.0 cm, 10.1-15.0 cm, 15.1-20.0 cm, 20.0-25.0 cm y < 25 cm, las cuales se agruparon

a su vez en tres categorías: brinzales (2.5-5.0 cm), latizales (5.1-10.0 cm) y fustales (>10 cm) (Cintrón y Schaeffer-Novelli, 1992).

A partir de esos datos se calculó:

- $AB = DAP^2 * 3.1416/4$  Ecuación 1

Donde AB= área basal, DAP=diámetro a la altura del pecho (Navarrete-Ramírez *et al.*, 2014)

- Densidad: Definida como el número de árboles por hectárea
- Volumen total de madera  $Vt = DAP^2 * Ht$  Ecuación 2

DAP= diámetro a la altura del pecho (cm), Ht = altura total (m) (Valdez-Hernández, 2004).

#### **5.4. Atributos funcionales**

En cada sitio se colocaron al azar 36 canastas (nueve por parcela) colectoras de hojarasca de 0.25 m<sup>2</sup>. Las canastas se construyeron de 50 cm de largo por 50 cm de ancho, confeccionadas con alambre y con malla de fibra de vidrio con una apertura de 1 mm<sup>2</sup> (Félix-Pico *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2012). Las canastas se colocaron a una altura de 1.60 m sobre la superficie del suelo, sostenidas y atadas por cuerdas a las ramas de los árboles (Rodríguez *et al.*, 2012).

La hojarasca de cada canasta se colectó mensualmente, el material orgánico se colocó en bolsas de plástico herméticas debidamente etiquetadas y se

transportaron al Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. En el laboratorio el material colectado se separó en hojas, ramas, flores, frutos y misceláneos (órganos vegetales no identificables) y se secó en un horno convencional a 80°C durante 48 h y posteriormente se pesó en una balanza semi analítica de 0.01 g de precisión marca Radwag (Martínez–Ballesteros *et al.*, 2014).

## **5.5. Atributos de servicio**

### **5.5.1. Conversión de Mg de hojarasca a Mg de carbono**

Para obtener el flujo de carbono se multiplicó el peso de la hojarasca convertida en Mg por el factor de conversión de 0.45 (concentración de carbono de la hojarasca) (Kauffman *et al.*, 2013).

### **5.5.2. Conversión de Mg de carbono a dióxido de carbono**

Para obtener el valor de CO<sub>2</sub> se multiplicó el flujo de carbono por el factor de conversión 3.67 (proporción molecular entre el peso del dióxido de carbono y el del carbono) (Kauffman *et al.*, 2013). Este valor corresponde a la cantidad de CO<sub>2</sub> que los árboles extraen de la atmósfera.

## **5.6. Análisis estadístico**

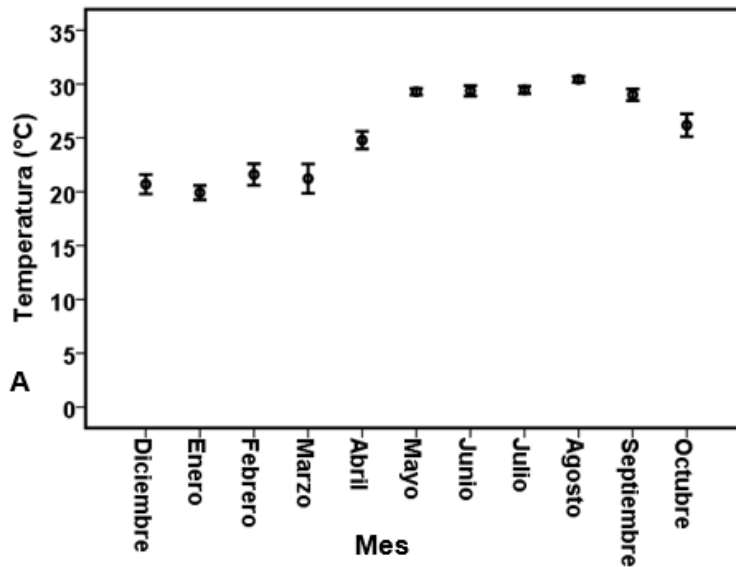
Todos los datos se sometieron a pruebas de Kolmogórov Smirnov y de Levene para determinar normalidad y homogeneidad de varianzas. Al no cumplirse los supuestos

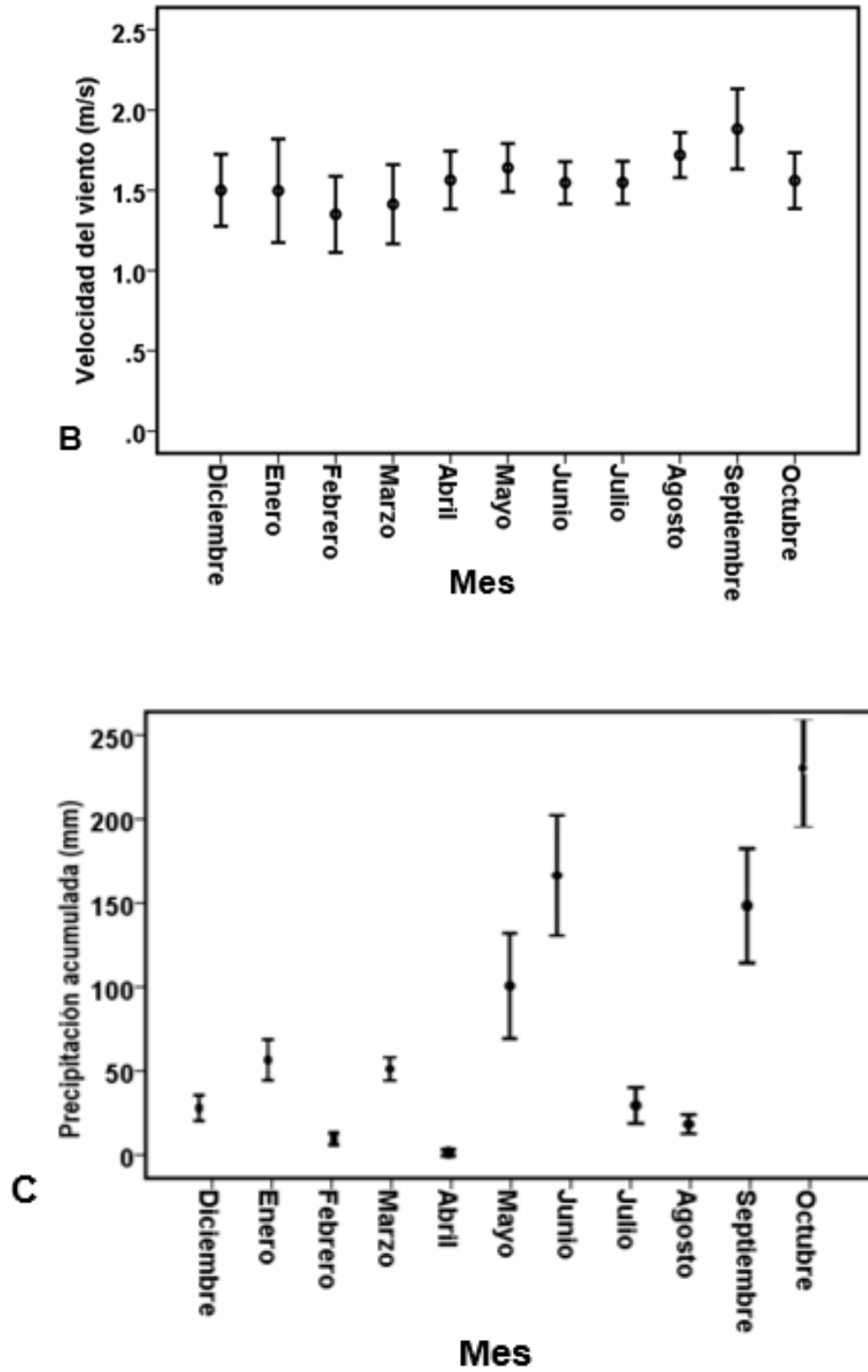
de normalidad y homocedasticidad se aplicaron pruebas de U de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis para analizar la variación de la estructura (altura, DAP, área basal, densidad y volumen total de la madera), la caída de hojarasca, el flujo de carbono y captura de CO<sub>2</sub> entre sitios, meses y cuadrantes. Se utilizó la U de Mann-Whitney para analizar la variación de los parámetros fisicoquímicos del agua superficial y el nivel de inundación entre sitios de muestreo. Se empleó un análisis de regresión entre la altura y el DAP, siendo los modelos logarítmico y exponencial los que presentaron el coeficiente de determinación más alto. Se aplicó el coeficiente de Spearman para analizar la correlación entre variables ambientales, entre parámetros fisicoquímicos del agua superficial y el nivel de inundación y, para correlacionar la altura y DAP con la caída de hojarasca. Finalmente se utilizó un análisis de PCA para determinar la relación de las variables ambientales, de los parámetros fisicoquímicos del agua superficial y el nivel de inundación con los atributos funcionales y de servicio. Los datos fueron analizados con el programa IBM SPSS Statistic 20 y Past 3.24.

## VI. RESULTADOS

### 6.1. Variables ambientales

La temperatura promedio del aire fue de 25.27°C, con promedios máximos en julio y agosto de 2019 (29.4 y 30.4°C) y promedios mínimos en diciembre de 2018 y enero de 2019 (19.6 y 21.1°C). Se registró una velocidad promedio del viento de 1.59 m/s, con promedios máximos en agosto y septiembre de 2019 (1.72 y 1.78 mm) y promedios mínimos en febrero y marzo de 2019 (1.48 y 1.39 mm). Finalmente, la precipitación acumulada fue de 810.16 mm, con máximos en junio y octubre de 2019 (159.8 y 228.7 mm) y mínimos en febrero y abril de 2019 (9.4 y 5.8 mm) (Fig. 3).





**Fig. 3.** A) Variación mensual de la temperatura, B) de la velocidad del viento y C) de la precipitación.



### 6.1.1. Correlación entre variables ambientales

La temperatura presentó una correlación positiva con la velocidad del viento y negativa con la precipitación. Se registró también una correlación positiva entre la precipitación y la velocidad del viento (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Correlación entre las variables ambientales.

	Velocidad del viento	Precipitación
Temperatura	<b>R=0.27, p=&lt; 0.01</b>	<b>R=-0.24, p=&lt;0.01</b>
Velocidad del viento		<b>R=0.43, p=0.04</b>

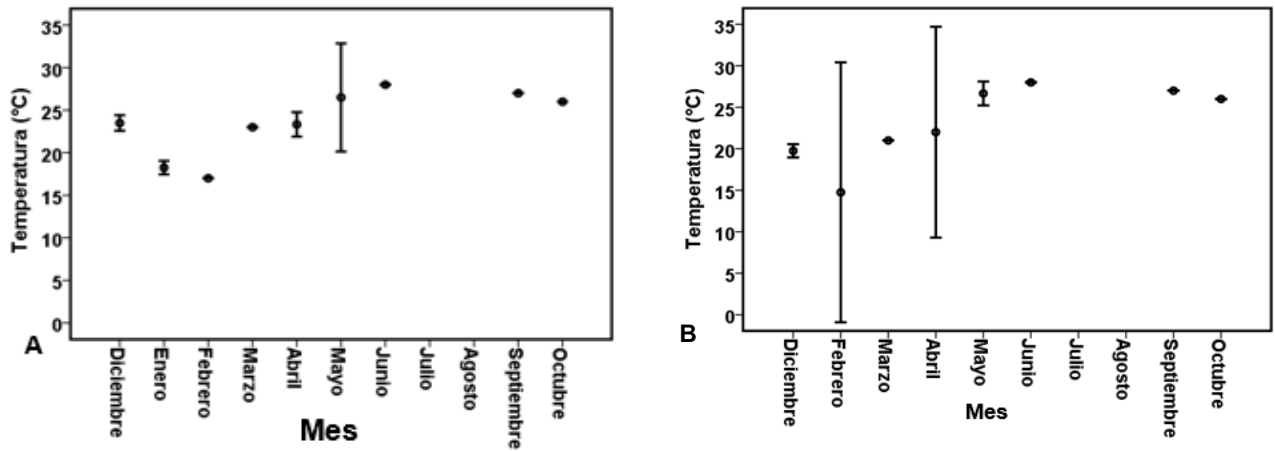
### 6.2. Parámetros fisicoquímicos del agua superficial y nivel de inundación

El nivel de inundación y los parámetros fisicoquímicos del agua presentaron variación entre los sitios cercanos y próximos del estero, excepto el pH (Cuadro 2).

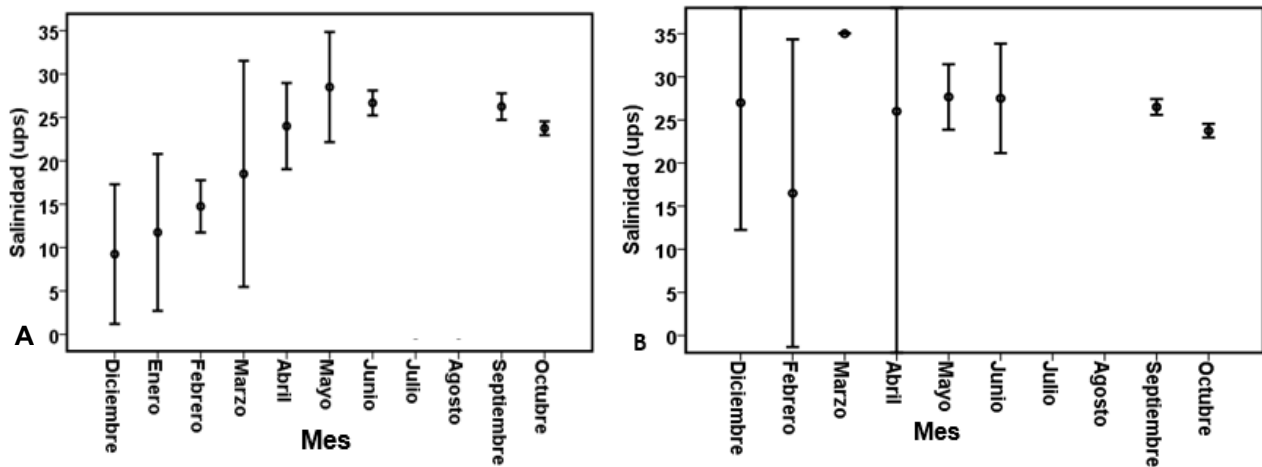
**Cuadro 2.** Diferencia entre sitios de los parámetros fisicoquímicos del agua superficial y nivel de inundación.

<b>Variables</b>	<b>Valor Z</b>	<b>Valor p</b>
Temperatura	z=2.74	p= 0.03
Salinidad	z=3.55	p=<0.01
pH	z= 1.33	p=0.17
Inundación	z=3.35	P=<0.01

En el sitio alejado y cercano al estero se observó un aumento de la temperatura del agua superficial a partir del mes de marzo, que coincide también con un incremento de la salinidad (Figs. 4 y 5).

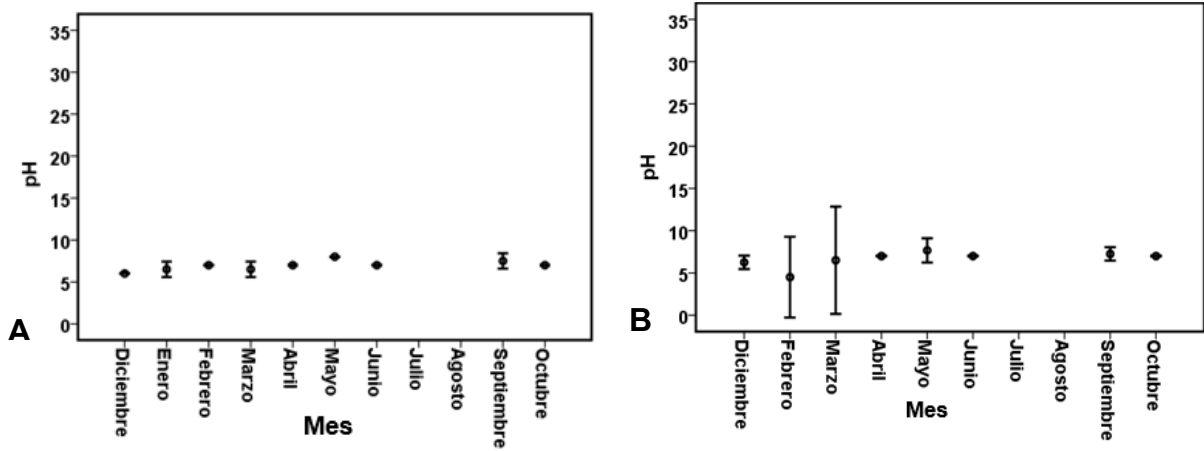


**Fig. 4.** A) Variación de la temperatura del sitio alejado del estero, B) Variación de la temperatura del sitio próximo al estero.



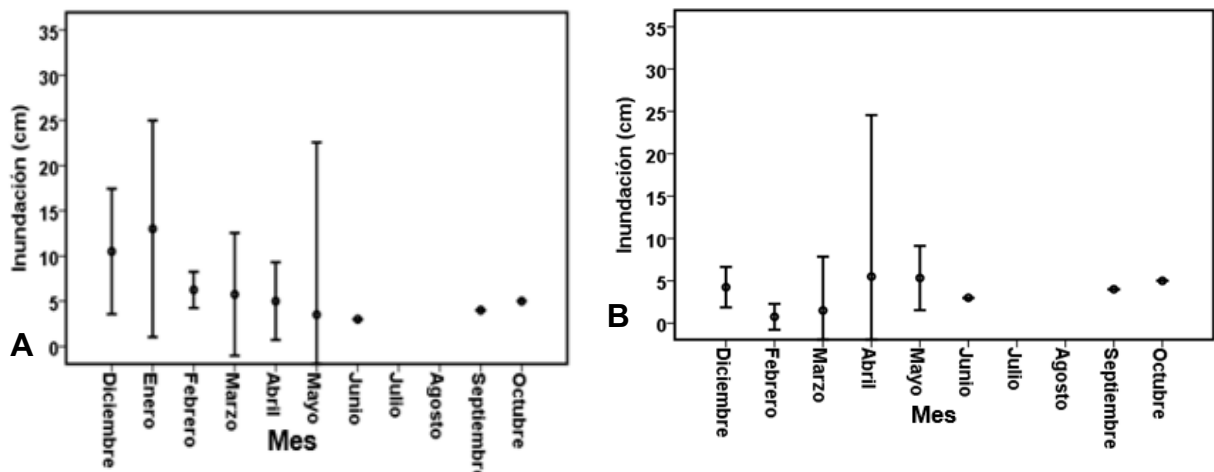
**Fig. 5.** A) Variación de la salinidad del sitio alejado del estero, B) Variación de la salinidad del sitio próximo al estero.

El pH del agua en ambos sitios es ácido, puesto que se registraron valores menores de siete durante todo el año (Fig.6).



**Fig. 6.** A) Variación del pH del sitio alejado del estero, B) Variación del pH del sitio próximo al estero.

En ambos sitios se observa una disminución del nivel de inundación de abril a junio y un aumento en septiembre y octubre, que coincide con un incremento en la precipitación (Fig.7).



**Fig. 7.** A) Variación del nivel de inundación del sitio alejado del estero, B) Variación del nivel de inundación del sitio próximo del estero.

En ambos sitios la temperatura se correlacionó positivamente con la salinidad y negativamente con el nivel de inundación. La salinidad presentó una alta correlación positiva con el pH y una correlación inversa con el nivel de inundación. Finalmente, el nivel de inundación se correlacionó negativamente con el pH (Cuadro 3) (Cuadro 4).

**Cuadro 3.** Correlación entre los parámetros fisicoquímicos del agua superficial y el nivel de inundación en el sitio alejado del estero.

	Temperatura	Salinidad	pH
Temperatura		<b>R=0.73, p=0.025</b>	R=0.51, p=0.15
Salinidad			<b>R=0.85, p=0.03</b>
Inundación	<b>R=-0.83, p=0.005</b>	<b>R=-0.96, p=&lt;0.01</b>	<b>R=-0.77, p=0.015</b>

**Cuadro 4.** Correlación entre los parámetros fisicoquímicos del agua superficial y el nivel de inundación en el sitio próximo del estero.

	Temperatura	Salinidad	pH
Temperatura		<b>R=0.83, p=0.010</b>	<b>R=0.90, p=0.002</b>
Salinidad			<b>R=0.88, p=0.004</b>
Inundación	<b>R=-0.90, p=0.002</b>	<b>R=-0.88, p=0.004</b>	R=-0.47, p=0.03

### 6.3. Atributos estructurales

#### 6.3.1. Altura

Se cuantificaron 358 árboles de *Avicennia germinans* en un área total de muestreo de 2,400 m<sup>2</sup>; los árboles presentaron una altura promedio de 7.07 ± DE 2.21 m. A nivel de sitio no se encontró diferencia significativa (Z=0.48, p=0.65). Se observó que el sitio alejado del estero (Cuadrantes 1-4) presentó una altura promedio de 7.09 ± DE 2.26 m y el sitio próximo del estero (Cuadrantes 5-8) una altura de 7.05 ± DE 2.20 m (Fig. 8).

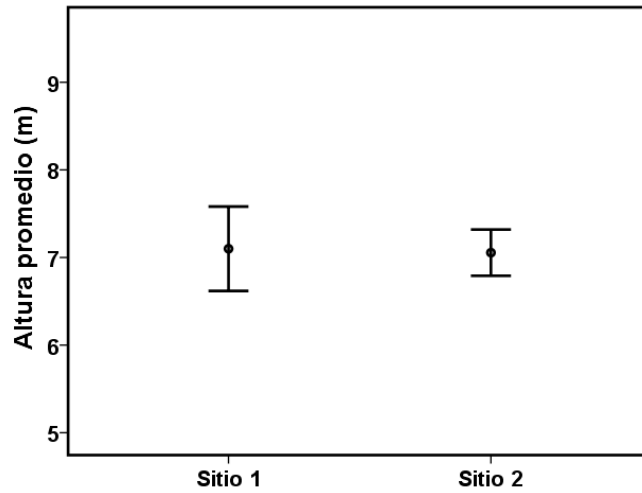


Fig. 8. Altura promedio de *Avicennia germinans* por sitio.

Se encontró diferencia estadísticamente significativa entre cuadrantes ( $H=49.58$ ,  $p=0.000$ ) observándose el máximo promedio en el cuadrante tres de  $8.32 \pm DE 1.66$  m y un promedio mínimo en el cuadrante cinco de  $6.00 \pm DE 1.79$  m, correspondiente al sitio alejado y próximo del estero (Fig. 9).

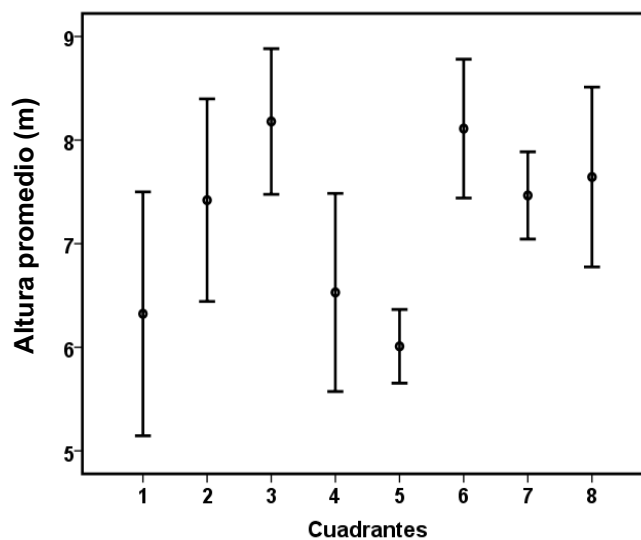


Fig. 9. Altura promedio de *Avicennia germinans* por cuadrante. Cuadrantes 1-4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5-8 (sitio próximo del estero).

El mayor número de individuos se ubicó entre los 6 y 8 m de altura (Fig. 10).

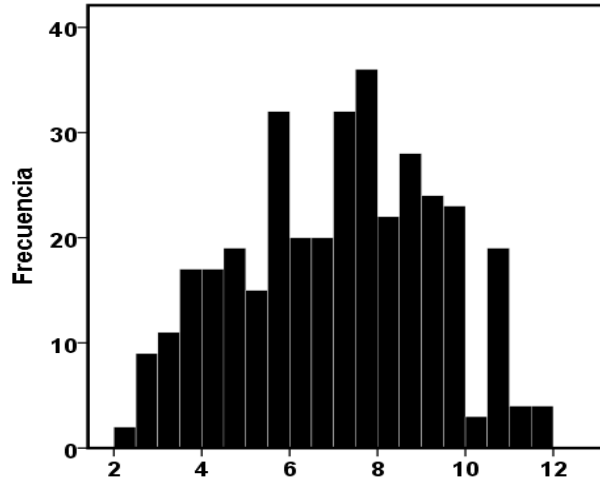


Fig. 10. Estructura de altura de *Avicennia germinans*.

La categoría IV (8.1-10 m) fue la más abundante en el sitio uno, mientras que en el sitio dos lo fue la categoría III (6.1-8 m). La categoría V (10.1–12 m) fue la menos abundante en ambos sitios (Fig. 11).

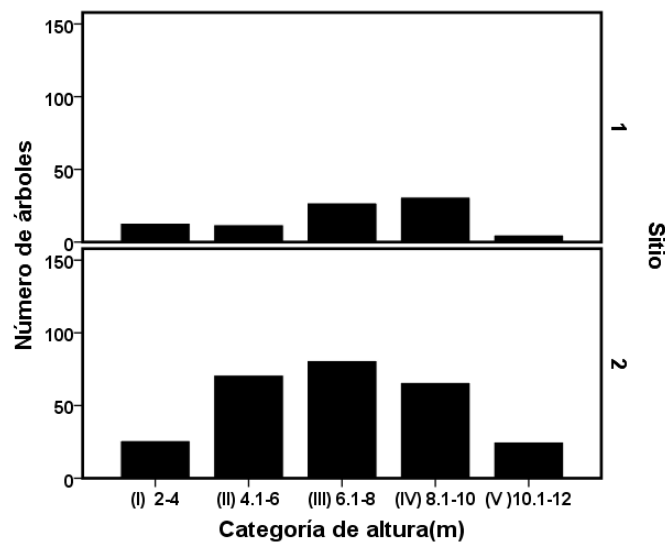


Fig. 11. Categorías de altura de *Avicennia germinans* por sitio.

### 6.3.2. Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Se encontró un DAP promedio de  $12.20 \pm \text{DE } 9.55$  cm. Se presentó diferencia significativa en el DAP de acuerdo con el sitio ( $Z=3.87$ ,  $p=0.0002$ ). Observándose un DAP de  $16.71 \pm \text{DE } 13.65$  cm para el sitio alejado del estero (Cuadrantes 1-4) y de  $10.71 \pm \text{DE } 7.21$  cm para el sitio próximo del estero (Cuadrantes 5-8) (Fig. 12).

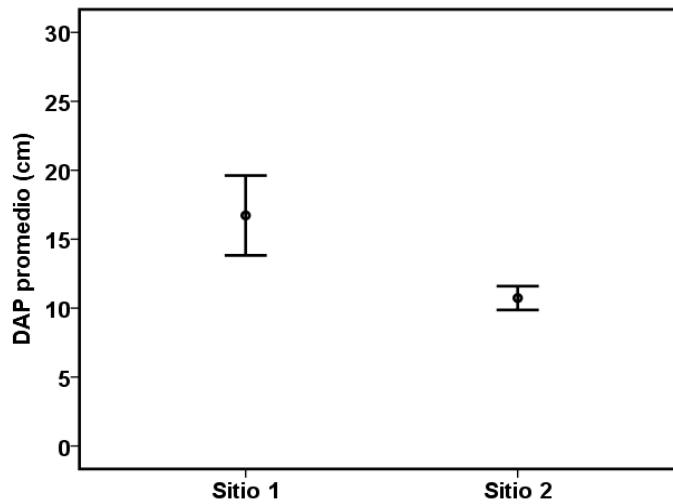
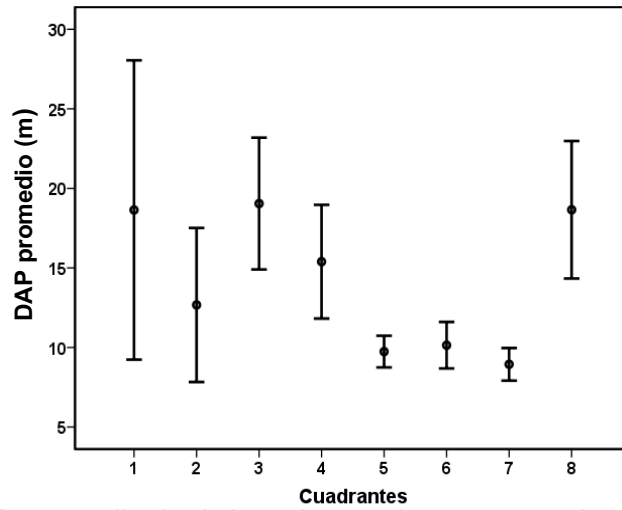


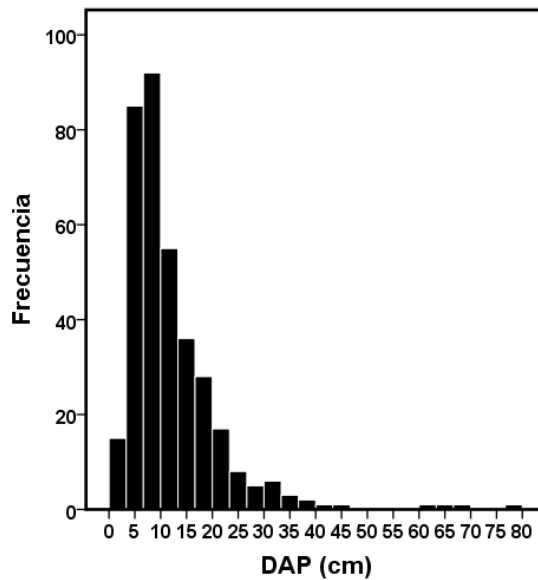
Fig. 12. DAP promedio de *Avicennia germinans* por sitio.

El DAP varió entre cuadrantes ( $H=44.59$ ,  $p=0.000$ ), siendo el cuadrante tres ( $18.76 \pm \text{DE } 9.88$  cm) el que presentó el mayor valor promedio, mientras que el cuadrante siete presentó el menor valor promedio ( $8.94 \pm \text{DE } 4.89$  cm) (Fig. 13).



**Fig. 13.** DAP promedio de *Avicennia germinans* por cuadrante. Cuadrantes 1-4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5-8 (sitio próximo del estero).

El análisis diamétrico muestra que el mayor número de árboles se ubicó entre los 5 y 20 cm de DAP. Se observó individuos de diámetros superiores, pero el número fue menor (Fig. 14).



**Fig. 14.** Estructura diamétrica de *Avicennia germinans*.



En el sitio alejado del estero (cuadrantes 1-4) se observó una mayor abundancia de fustales (>10.1 cm) con 61.2% y menor presencia de latizales (5.1-10 cm) con 22.2% y brinzales (0-5 cm) con 16.6%. Mientras que, para el sitio próximo del estero (cuadrantes 5-8) la categoría más abundante fue la de latizales (5.1-10 cm) con 44.1%, seguido de fustales (> 10.1 cm) con 40.7% y brinzales (0-5 cm) con 15.2% (Fig. 15).

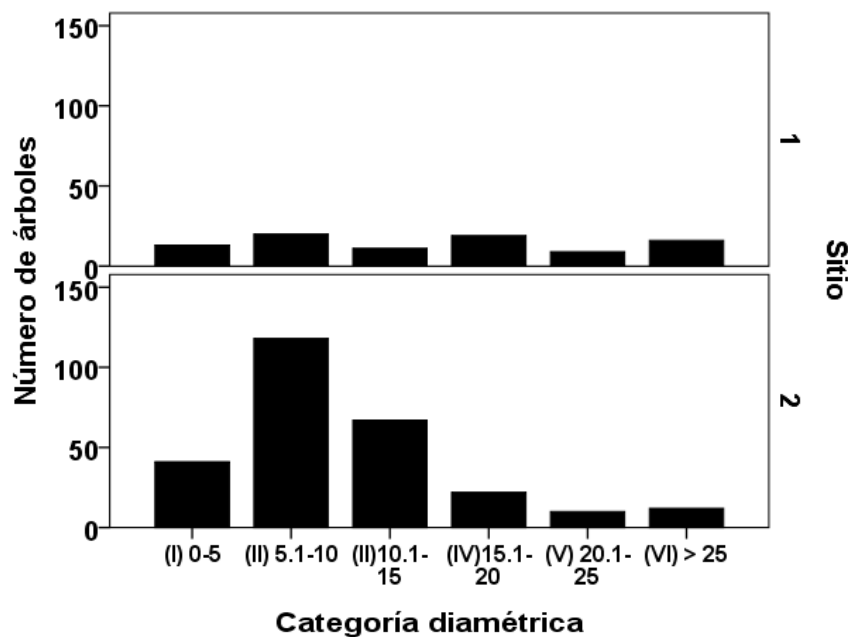
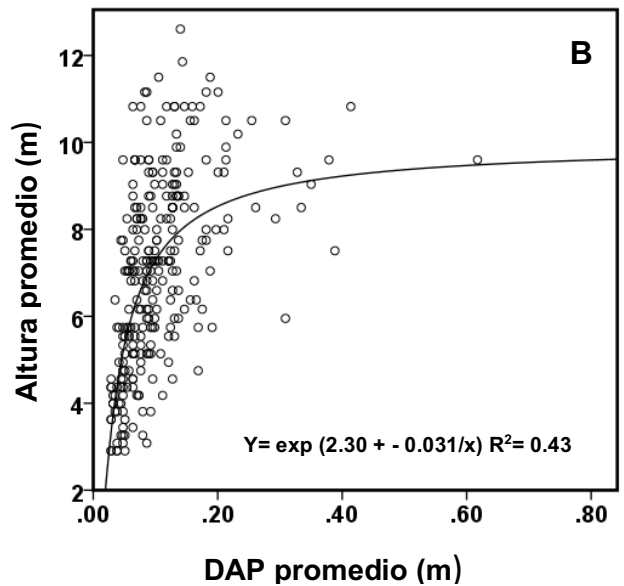
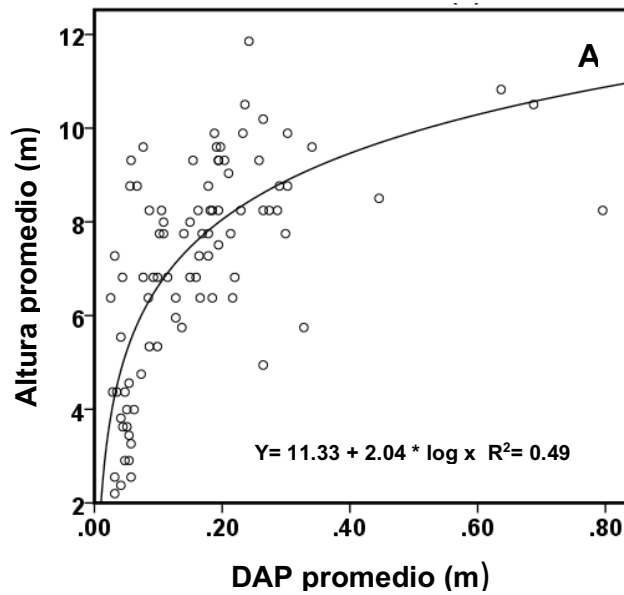


Fig. 15. Categorías diamétricas de *Avicennia germinans* por sitio.

### 6.3.3. Relación entre la altura y el DAP

Al analizar la relación entre la altura y el DAP se encontró una relación significativa en ambos sitios ( $p=0.000$ ); sin embargo, el coeficiente de regresión es bajo en ambos casos, con  $R^2=0.49$  para el sitio alejado del estero y  $R^2=0.43$  para el sitio próximo del estero (Fig. 16).



**Fig. 16.** A) Relación de la altura y el DAP de *Avicennia germinans* en el sitio alejado del estero y B) Relación de la altura y el DAP de *Avicennia germinans* en el sitio próximo del estero.

### 6.3.4. Área basal

Se registró un área basal promedio de  $0.02 \pm \text{DE } 0.04 \text{ m}^2$  ( $29.84 \text{ m}^2/\text{ha}$ ). El área basal varió significativamente entre un sitio y otro ( $Z=3.91$ ,  $p=0.0002$ ). El sitio alejado del estero (Cuadrantes 1-4) presentó un valor de  $0.036 \pm \text{DE } 0.073 \text{ m}^2$  y el sitio próximo del estero (Cuadrantes 5-8) un valor de  $0.012 \pm \text{DE } 0.025 \text{ m}^2$  (Fig. 17).

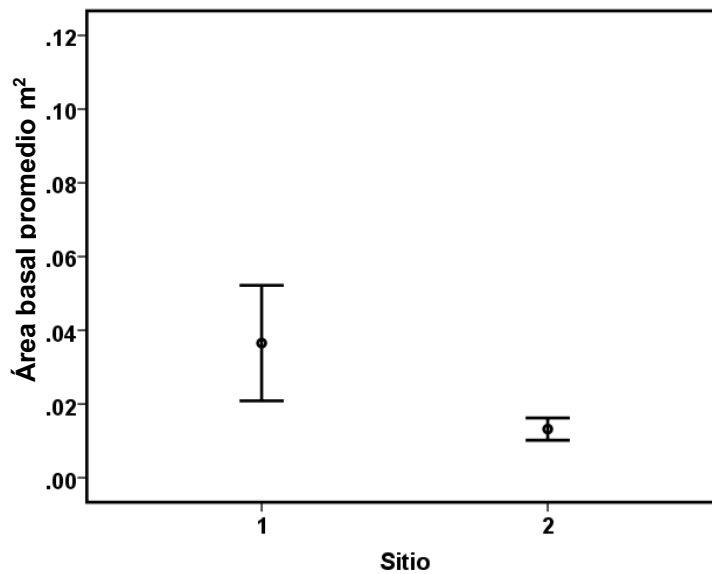
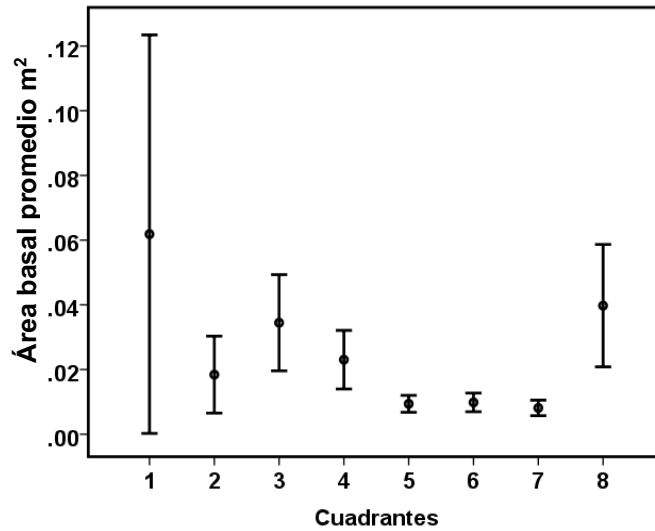


Fig. 17. Área basal de *Avicennia germinans* por sitio.

El área basal presentó diferencia significativa entre cuadrantes ( $H=45.26$ ,  $p=0.000$ ), siendo el cuadrante uno el que presentó el promedio mayor con un valor de  $0.06 \pm \text{DE } 1.39 \text{ m}^2$  y el cuadrante siete mostró el promedio menor con un valor de  $0.01 \pm \text{DE } 0.01 \text{ m}^2$  (Fig. 18).



**Fig. 18.** Área basal promedio de *Avicennia germinans* por cuadrante. Cuadrantes 1-4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5-8 (sitio próximo del estero).

### 6.3.5. Densidad

La densidad promedio encontrada fue de 1492 árboles/ha. Se encontró diferencia estadística de acuerdo con el sitio ( $Z=2.17$   $p=0.026$ ). El sitio alejado del estero (Cuadrantes 1-4) presentó una densidad promedio de 733 árboles/ha y el sitio próximo del estero (Cuadrantes 5-8) una densidad de 2250 árboles/ha (Fig. 19).

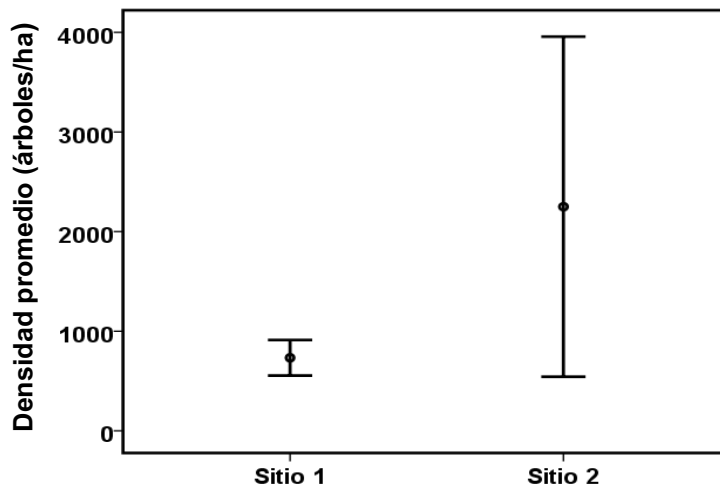


Fig. 19. Densidad promedio de *Avicennia germinans* por sitio.

La densidad entre cuadrantes fue significativamente diferente ( $H=6$ ,  $p=0.000$ ), observándose la densidad promedio más alta en el cuadrante cinco con un valor de 3333 árboles/ha y la densidad más baja fue reportada en el cuadrante dos con un promedio de 566 árboles/ha (Fig. 20).

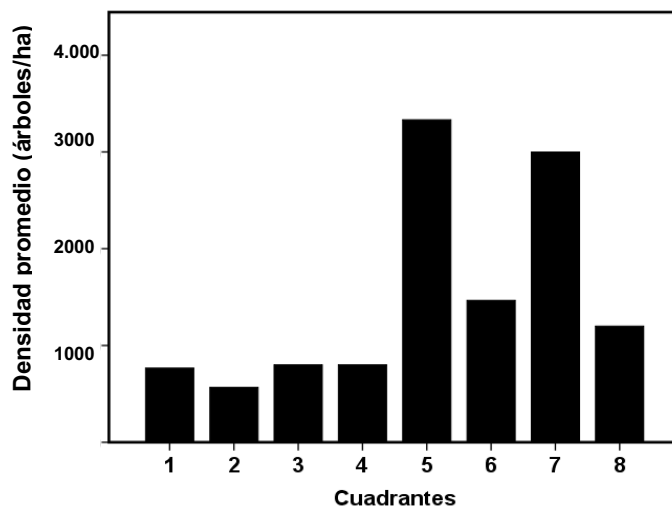
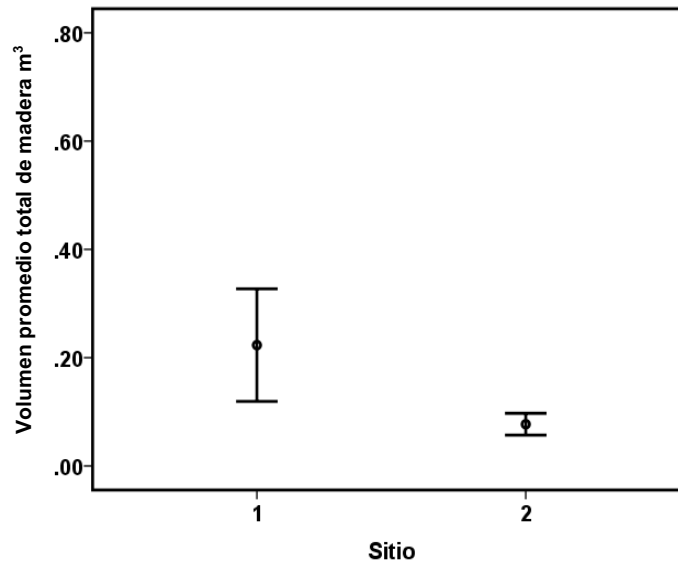


Fig. 20. Densidad promedio de *Avicennia germinans* por cuadrante.

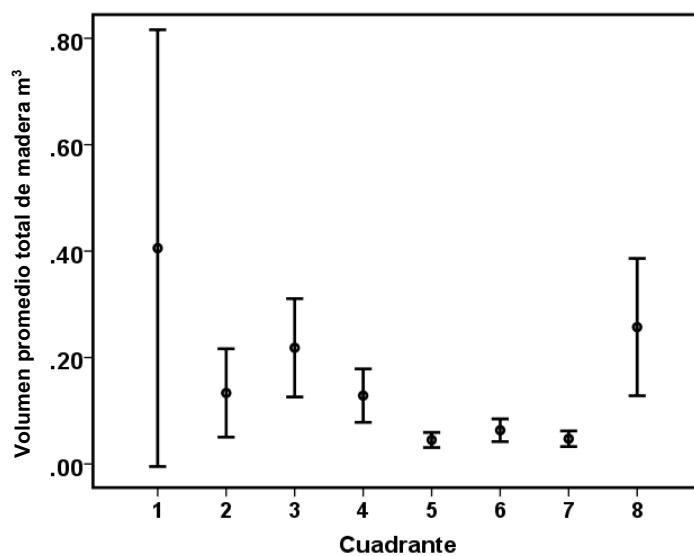
### 6.3.6. Volumen total de madera

Se encontró un volumen total promedio de  $0.11 \pm \text{DE } 0.29 \text{ m}^3$  ( $164.12 \text{ m}^3/\text{ha}$ ). El sitio alejado del estero (Cuadrantes 1-4) presentó un volumen promedio de  $0.22 \pm \text{DE } 0.49 \text{ m}^3$  y el sitio próximo del estero (Cuadrantes 5-8) un valor de  $0.077 \pm \text{DE } 0.17 \text{ m}^3$ , estadísticamente se encontró diferencia significativa ( $Z=3.55$ ,  $p=0.0002$ ) (Fig. 21).



**Fig. 21.** Volumen total de madera promedio de *Avicennia germinans* por sitio.

Existe diferencia estadísticamente significativa cuadrantes ( $H=41.95$ ,  $p=0.000$ ), se observó un mayor promedio en el cuadrante uno con un valor de  $0.41 \pm \text{DE } 0.92 \text{ m}^3$ , en cambio se observó un menor volumen en el cuadrante cinco con un valor de  $0.045 \pm \text{DE } 0.071 \text{ m}^3$  (Fig. 22).



**Fig. 22.** Volumen total de madera promedio de *Avicennia germinans* por cuadrante. Cuadrantes 1-4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5-6 (sitio próximo del estero).

## 6.4. Atributos funcionales

### 6.4.1. Caída de hojarasca

La caída de hojarasca promedio para *Avicennia germinans* en el manglar de Tumilco fue de  $1.69 \pm \text{DE } 1.65 \text{ g/m}^2/\text{día}$ , que corresponde a  $50.7 \text{ g/m}^2/\text{mes}$  y  $608.4 \text{ g/m}^2/\text{año}$  ( $6.08 \text{ Mg/ha/año}$ ). Se encontró diferencia significativa entre los meses de muestreo ( $H=271.22$ ,  $p=0.000$ ), siendo octubre el mes que registró el mayor valor promedio en la caída de hojarasca con  $3.84 \pm \text{DE } 3.40 \text{ g/m}^2/\text{día}$  y enero el mes con el menor valor promedio con  $0.59 \pm \text{DE } 0.40 \text{ g/m}^2/\text{día}$  (Fig. 23).

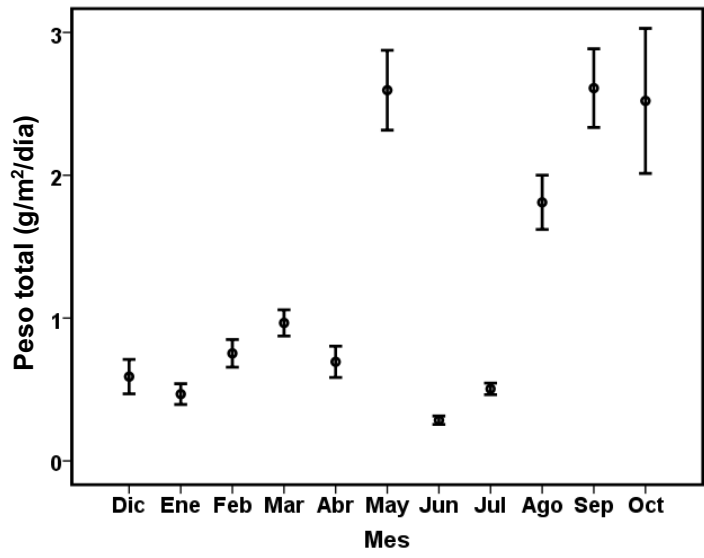


Fig. 23. Variación mensual de la hojarasca total de *Avicennia germinans*.

El sitio uno (Cuadrantes 1-4) y el sitio dos (Cuadrantes 5-8) promediaron una caída de hojarasca de  $2.19 \pm \text{DE } 3.06 \text{ g/m}^2/\text{día}$  y  $1.70 \pm \text{DE } 1.28 \text{ g/m}^2/\text{día}$ , respectivamente (Fig. 24). Se encontró diferencia significativa entre sitios ( $Z=3.65$ ,  $p=0.004$ ).

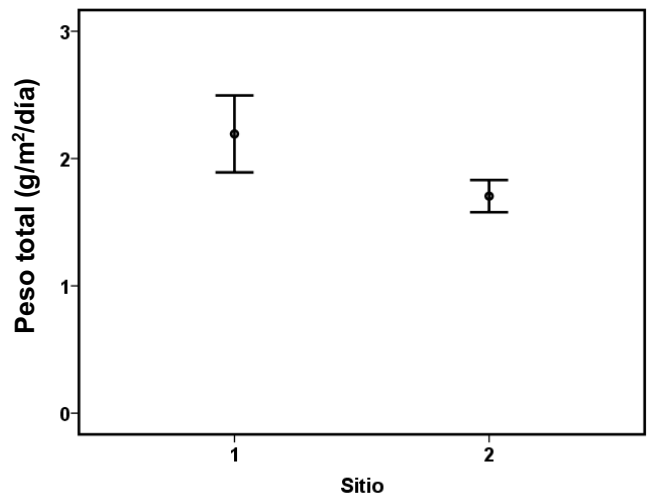
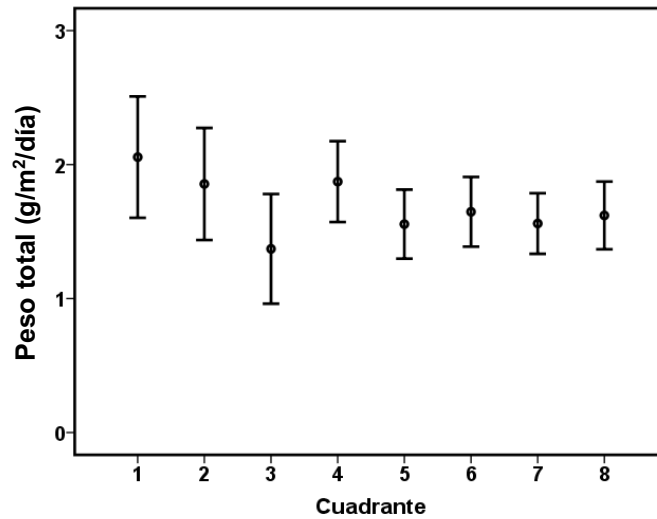


Fig. 24. Variación de la hojarasca total de *Avicennia germinans* por sitio.



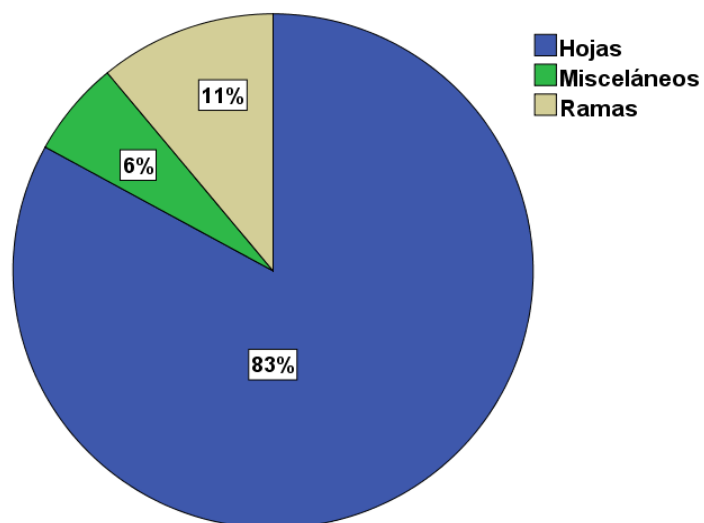
Se cuantificó una mayor cantidad de hojarasca en el cuadrante uno ( $2.06 \pm \text{DE } 2.27$   $\text{g/m}^2/\text{día}$ ) y una menor caída en el cuadrante tres ( $1.37 \pm \text{DE } 2.05$   $\text{g/m}^2/\text{día}$ ), encontrándose diferencia entre cuadrantes ( $H=20.51$ ,  $p=0.015$ ) (Fig. 25).



**Fig. 25.** Variación de la hojarasca total de *Avicennia germinans* por cuadrante. Cuadrantes 1-4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5-8 (sitio próximo del estero).

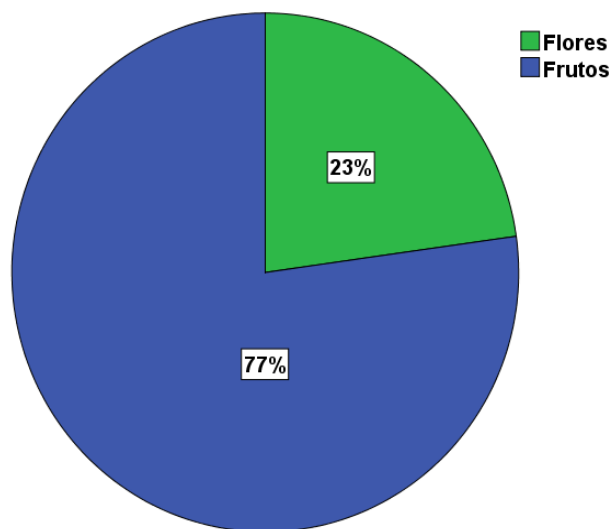
#### 6.4.1.1. Composición de la hojarasca

El componente más abundante de la hojarasca fue el de las hojas contribuyendo con 83 % del peso seco, seguido de las ramas con 11 % y los misceláneos con 6 % (Fig. 26).



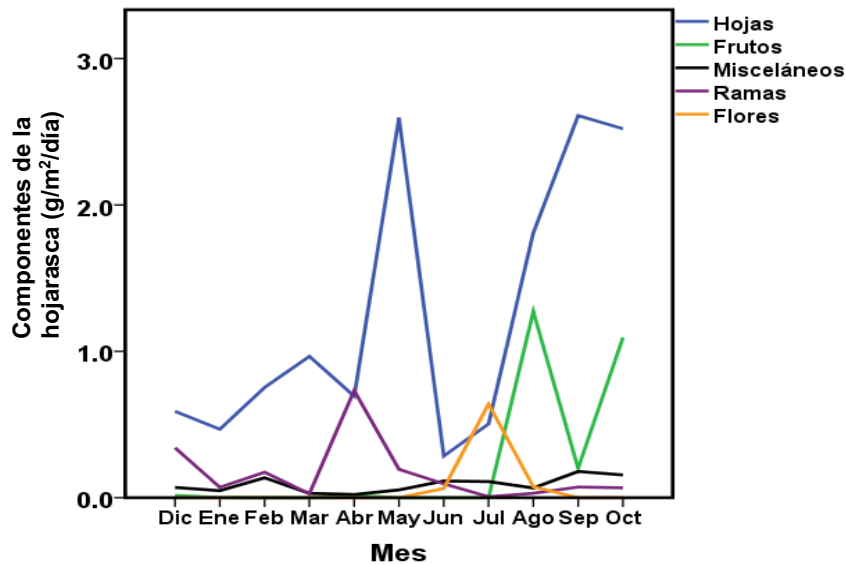
**Fig. 26.** Composición de la hojarasca de *Avicennia germinans*.

Los frutos contribuyeron con 77 % del peso seco y las flores con 23 % (Fig. 27).



**Fig. 27.** Composición de la hojarasca de *Avicennia germinans*.

Las hojas, las ramas y los misceláneos fueron los componentes que se presentaron durante todo el año; sin embargo, su contribución varió con respecto a los meses. Las flores y los frutos presentaron temporalidad en su caída; las flores estuvieron presentes en los meses de junio, julio y agosto, mientras que los frutos aparecieron en julio, agosto y septiembre (Fig. 28).



**Fig. 28.** Variación mensual de los componentes de la hojarasca.

#### 6.4.1.2. Hojas

Las hojas fueron el componente más abundante en todos los meses, con un promedio de  $1.25 \pm \text{DE } 1.26 \text{ g/m}^2/\text{día}$  ( $37.5 \text{ g/m}^2/\text{mes}$ ). Sin embargo, se observó diferencia significativa entre meses ( $H=445.84$ ,  $p=0.000$ ), siendo el mes de septiembre el que presentó el mayor valor promedio ( $2.61 \pm \text{DE } 1.17 \text{ g/m}^2/\text{día}$ ); mientras que el promedio mínimo se cuantificó en junio registrándose un valor de  $0.28 \pm \text{DE } 0.12 \text{ g/m}^2/\text{día}$  (Fig. 29).

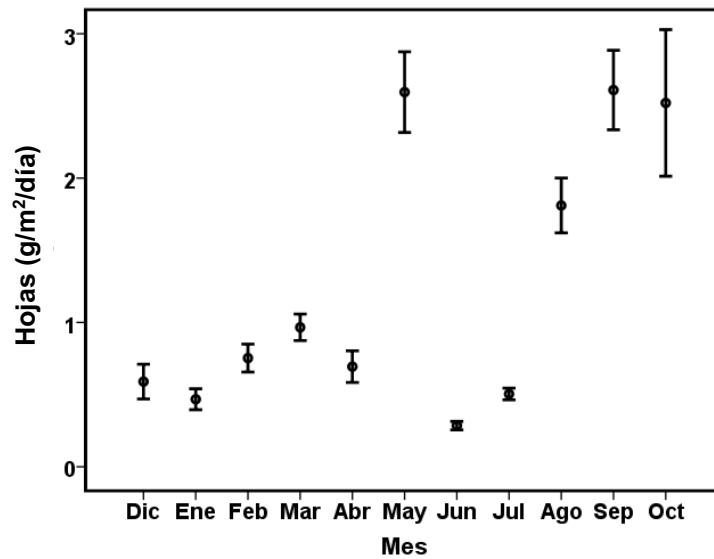


Fig. 29. Variación mensual del componente hoja en *Avicennia germinans*.

Por sitio de muestreo se encontró diferencia estadística significativa ( $Z=2.64$ ,  $p=0.006$ ). Siendo la biomasa de hojas mayor en el sitio próximo del estero (Cuadrantes 5-8) con  $1.32 \pm DE 1.17$  g/m²/día y menor en el sitio alejado del estero (Cuadrantes 1-4) con  $1.18 \pm DE 1.35$  g/m²/día (Fig. 30).

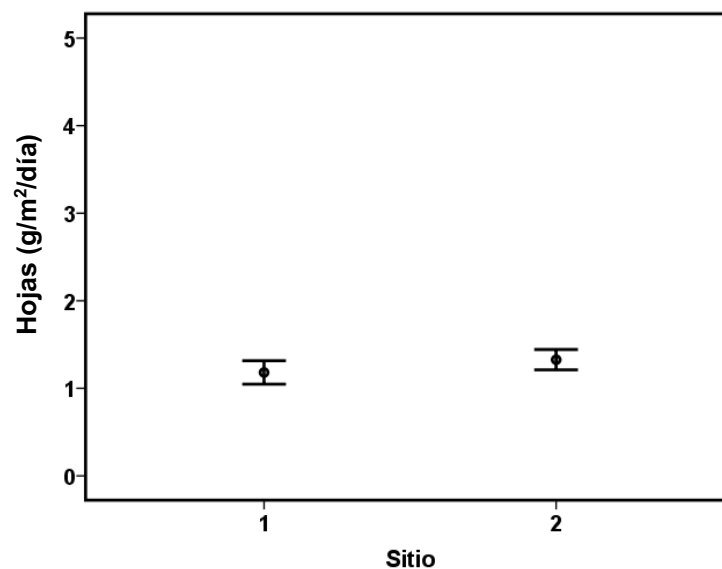
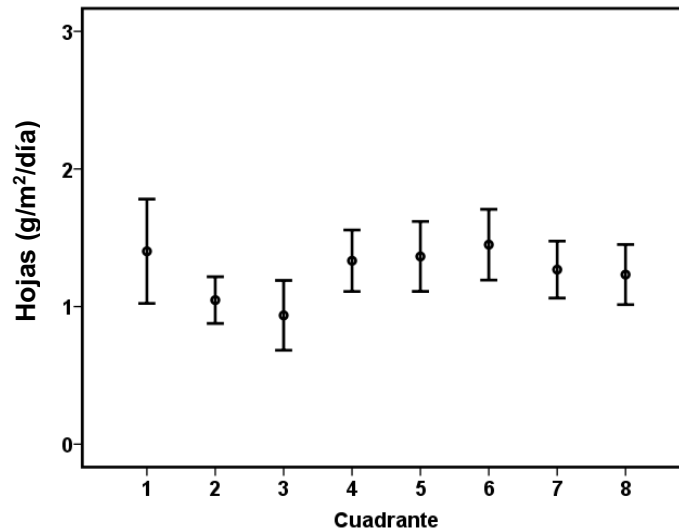


Fig. 30. Componente hoja en *Avicennia germinans* por sitio.

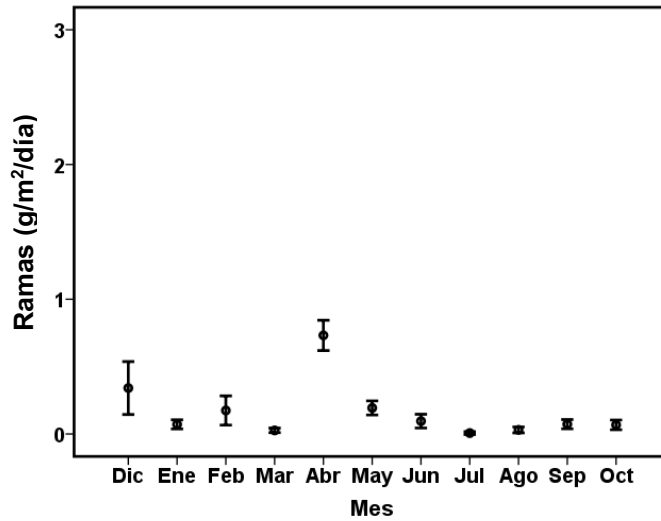
Al analizar la caída de hojas por cuadrante se observó diferencia significativa ( $H=22.74$ ,  $p=0.002$ ), presentándose una mayor biomasa en el cuadrante seis ( $1.44 \pm \text{DE } 1.28 \text{ g/m}^2/\text{día}$ ) y una menor biomasa en el cuadrante tres ( $0.93 \pm \text{DE } 1.27 \text{ g/m}^2/\text{día}$ ), ambos del sitio alejado del estero (Fig. 31).



**Fig. 31.** Componente hoja de *Avicennia germinans* por cuadrante. Cuadrantes 1, 2, 3, 4 (sitio 1); cuadrantes 5, 6, 7, 8 (sitio 2).

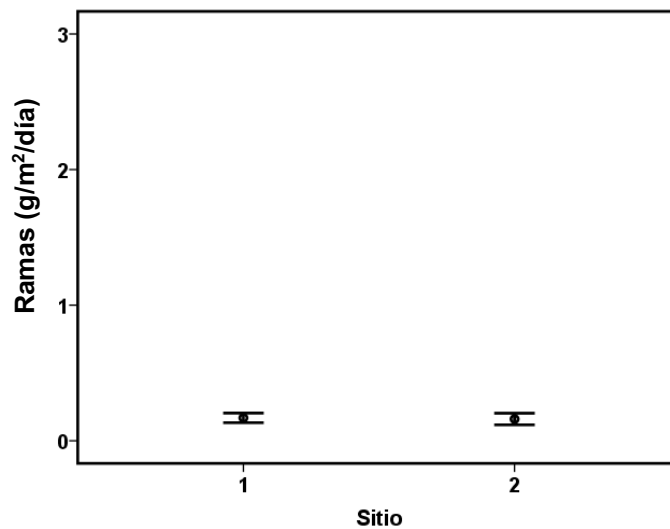
#### 6.4.1.3. Ramas

Las ramas fueron el segundo componente más abundante presentando un promedio de  $0.16 \pm \text{DE } 0.40 \text{ g/m}^2/\text{día}$  ( $4.80 \text{ g/m}^2/\text{mes}$ ). La caída de ramas presentó diferencia entre los meses ( $H=256.63$ ,  $p=0.000$ ), observándose una mayor caída de ramas en abril con un promedio de  $0.73 \pm \text{DE } 0.47 \text{ g/m}^2/\text{día}$  y una menor caída de ramas en julio con un valor de  $0.0068 \pm \text{DE } 0.045 \text{ g/m}^2/\text{día}$  (Fig. 32).



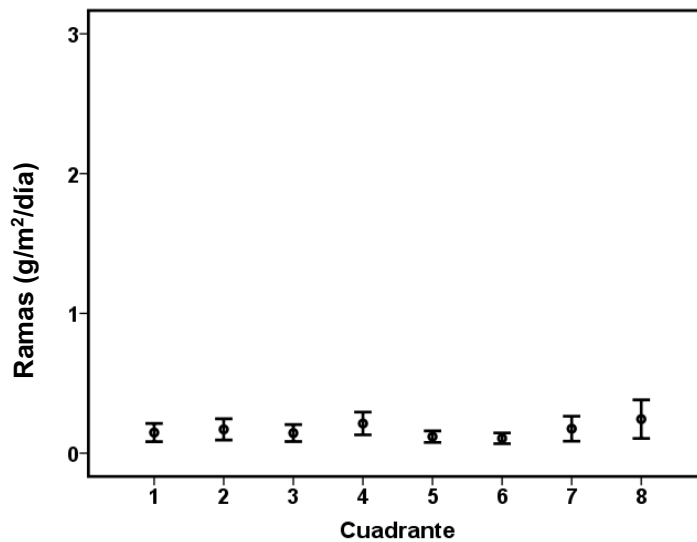
**Fig. 32.** Variación mensual del componente rama en *Avicennia germinans*.

De acuerdo con los sitios de estudio, el componente ramas presentó un promedio de  $0.17 \text{ g/m}^2/\text{día} \pm \text{DE } 0.35$  para el sitio alejado del estero (Cuadrantes 1-4) y de  $0.16 \pm \text{DE } 0.43 \text{ g/m}^2/\text{día}$  para el sitio próximo del estero (Cuadrante 5-8) (Fig. 33). No se encontró diferencia significativa entre un sitio y otro ( $Z=0.55 \text{ p}=0.58$ ).



**Fig. 33.** Variación del componente rama en *Avicennia germinans* por sitio.

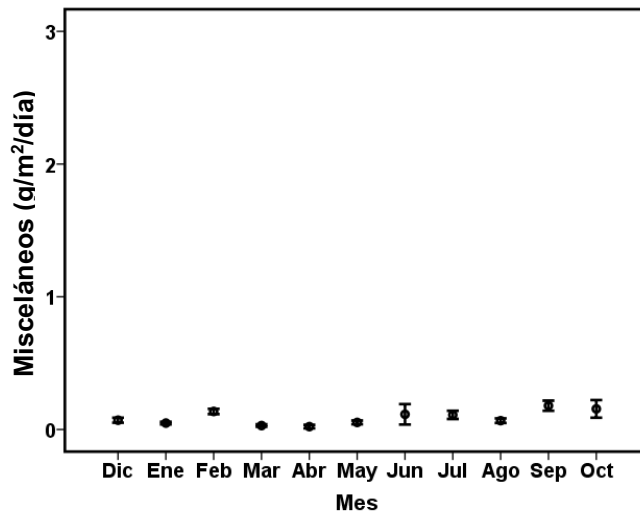
Las diferencias entre los cuadrantes fueron significativas ( $H=9.17$ ,  $p=0.24$ ). Encontrándose una mayor caída de ramas en el cuadrante ocho ( $0.24 \pm DE 0.69$   $g/m^2/día$ ) y menor en el cuadrante seis ( $0.10 \pm DE 0.19$   $g/m^2/día$ ), ambos del sitio dos (Fig. 34).



**Fig. 34.** Variación del componente rama en *Avicennia germinans* por cuadrante. Cuadrantes 1, 2, 3, 4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5, 6, 7, 8 (sitio próximo del estero).

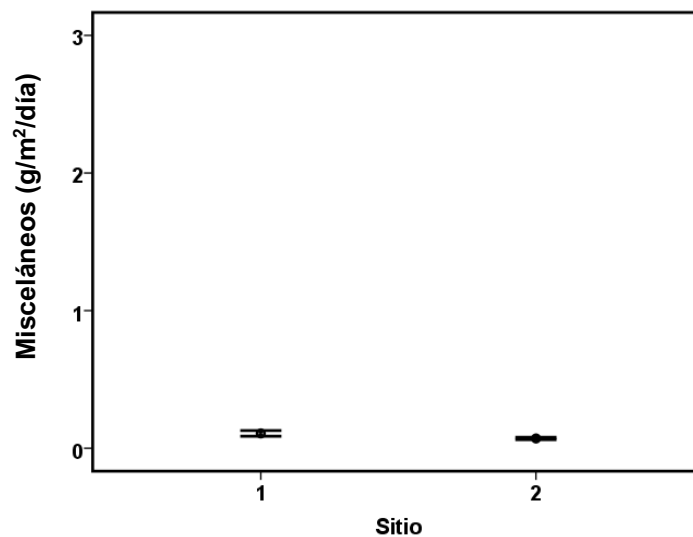
#### 6.4.1.4. Misceláneos

Se observó variación en la caída de misceláneos respecto a los meses de muestreo ( $H=137.65$ ,  $p=0.000$ ). Se registró un promedio de  $0.089 \pm DE 0.16$   $g/m^2/día$  ( $2.67$   $g/m^2/mes$ ), siendo septiembre el mes con la mayor caída de misceláneos ( $0.18 \pm DE 0.16$   $g/m^2/día$ ) y abril el mes con el menor aporte de misceláneos ( $0.021 \pm DE 0.054$   $g/m^2/día$ ) (Fig. 35).



**Fig. 35.** Variación mensual del componente misceláneo en *Avicennia germinans*.

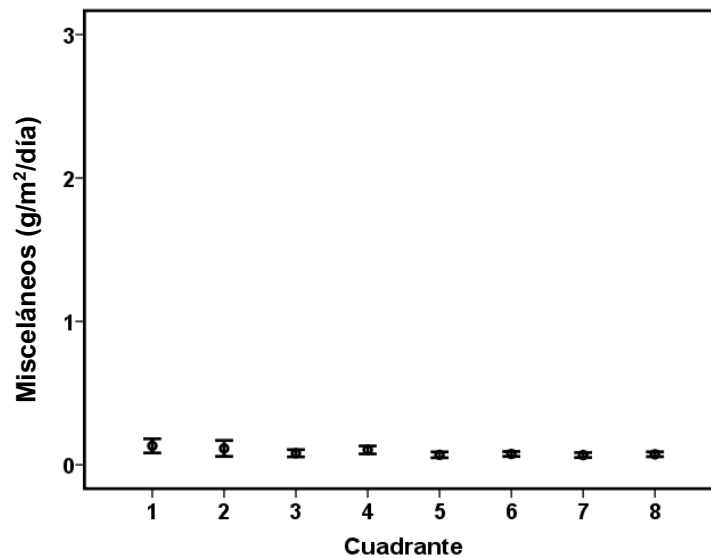
El componente misceláneo aportó  $0.11 \pm \text{DE } 0.20 \text{ g/m}^2/\text{día}$  en el sitio alejado del estero (Cuadrantes 1-4) y  $0.07 \pm \text{DE } 0.09 \text{ g/m}^2/\text{día}$  en el sitio próximo del estero (Cuadrantes 5-8) (Fig. 36). Estadísticamente no hubo diferencia significativa ( $Z=1.21, p=0.22$ ).



**Fig. 36.** Variación del componente misceláneo en *Avicennia germinans* por sitio.



El componente misceláneo fue mayor en el cuadrante uno ( $0.13 \pm \text{DE } 0.24 \text{ g/m}^2/\text{día}$ ) y menor en el cuadrante cinco ( $0.069 \pm \text{DE } 0.10 \text{ g/m}^2/\text{día}$ ) perteneciente a los sitios alejado y cercano del estero, respectivamente. Estadísticamente no se encontró diferencia significativa ( $H= 9.28, p=0.233$ ) (Fig. 37).



**Fig. 37.** Variación del componente misceláneo en *Avicennia germinans* por cuadrante. Cuadrantes 1-4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5-8 (sitio próximo del estero).

#### 6.4.1.5. Flores

Las flores presentaron un promedio de  $0.070 \pm \text{DE } 0.33 \text{ g/m}^2/\text{día}$  ( $2.10 \text{ g/m}^2/\text{día}$ ), estuvieron ausentes a lo largo del año excepto en junio, julio y agosto, presentaron un máximo en julio ( $0.64 \pm \text{DE } 0.90 \text{ g/m}^2/\text{día}$ ). La caída de frutos varió entre meses ( $H=358.02, p=0.000$ ) (Fig. 38).

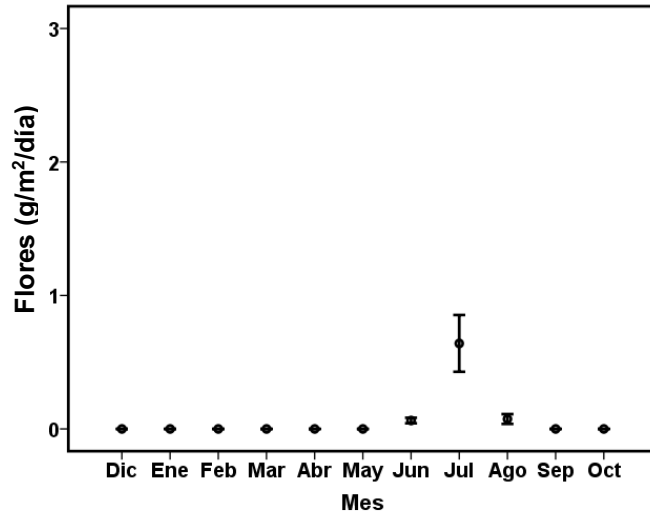


Fig. 38. Variación mensual del componente flor en *Avicennia germinans*.

Los sitios presentaron variación en la caída de flores ( $Z=25.05$ ,  $p=0.000$ ). Registrándose un valor de  $0.11 \pm DE 0.43$  g/m<sup>2</sup>/día para el sitio alejado del estero (Cuadrantes 1-4) y de  $0.023 \pm DE 0.15$  g/m<sup>2</sup>/día para el sitio próximo del estero (Cuadrantes 5-8) (Fig. 39).

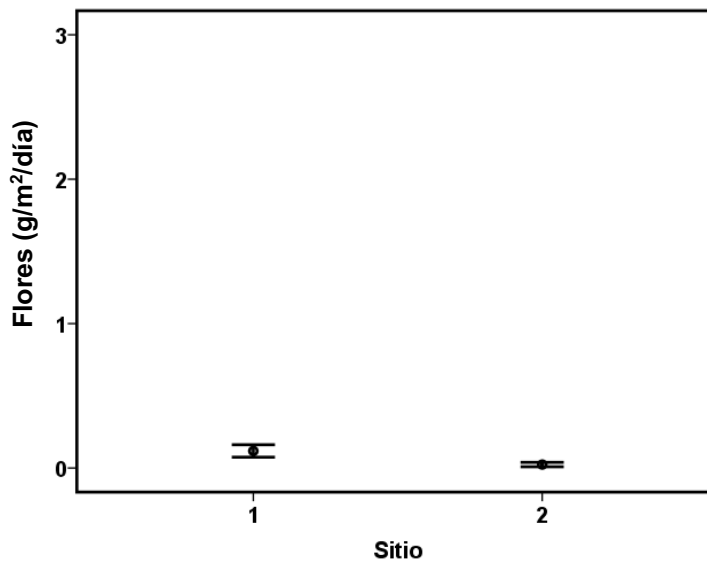
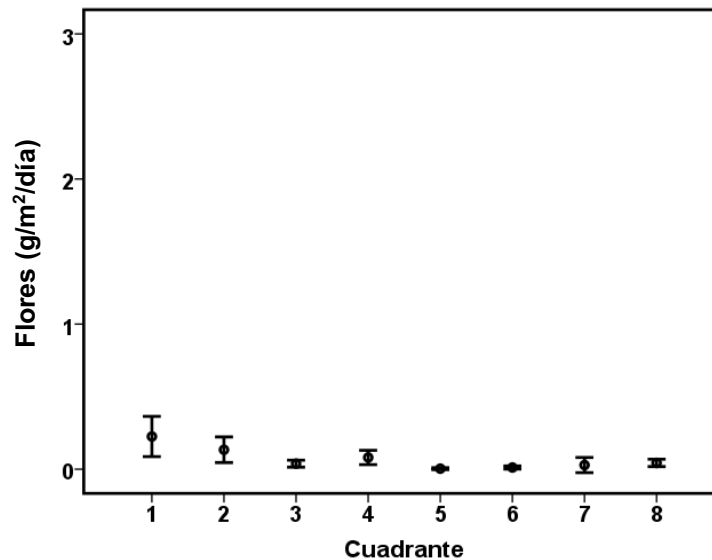


Fig. 39. Variación del componente flor en *Avicennia germinans* por sitio.

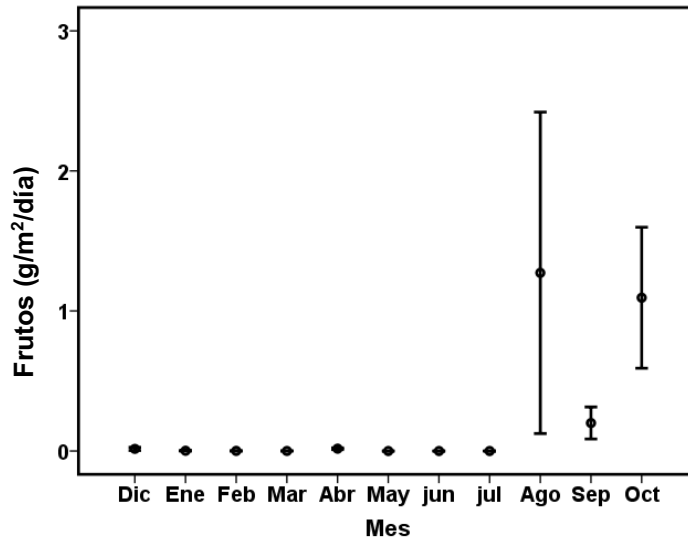
A nivel de cuadrante se observó que el cuadrante uno presentó la mayor caída de flores con un promedio de  $0.22 \pm \text{DE } 0.69 \text{ g/m}^2/\text{día}$  y una menor caída se registró en el cuadrante cinco ( $0.003 \pm \text{DE } 0.031 \text{ g/m}^2/\text{día}$ ), encontrándose diferencia significativa ( $H=36.64$ ,  $p=0.000$ ) (Fig. 40).



**Fig. 40.** Variación del componente flor en *Avicennia germinans* por cuadrante. Cuadrantes 1-4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5-8 (sitio próximo del estero).

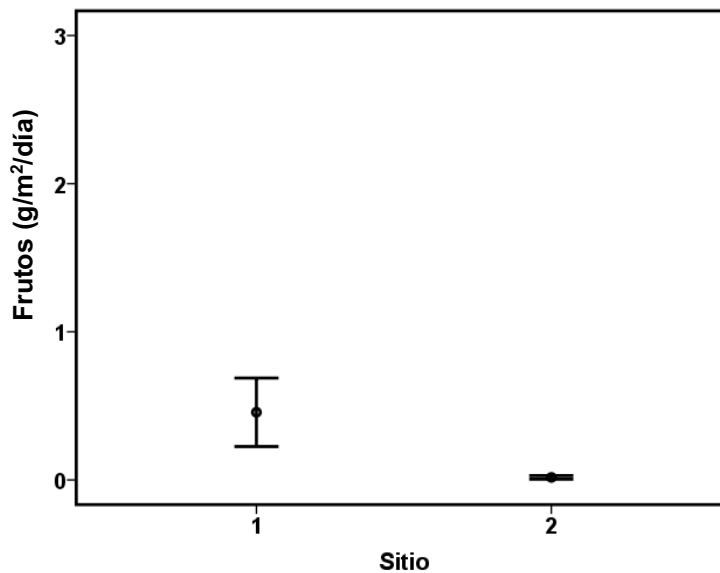
#### 6.4.1.6. Frutos

Los frutos presentaron un promedio de  $0.23 \pm \text{DE } 0.16 \text{ g/m}^2/\text{día}$  ( $6.90 \text{ g/m}^2/\text{mes}$ ), estuvieron ausentes en mayo, junio y julio y presentaron el promedio máximo y mínimo en agosto y marzo con valores de  $1.27 \pm \text{DE } 4.88 \text{ g/m}^2/\text{día}$  y  $0.00018 \pm \text{DE } 0.0015 \text{ g/m}^2/\text{día}$ , respectivamente. Se encontró diferencia significativa ( $H=298.42$ ,  $p=0.000$ ) (Fig. 41).



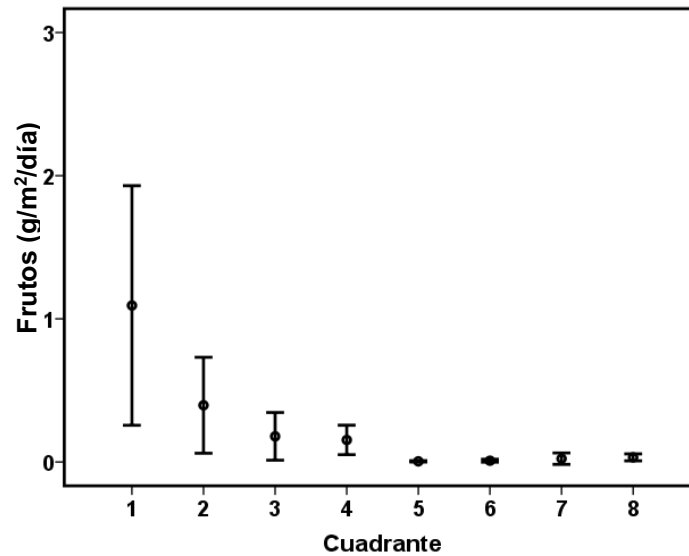
**Fig. 41.** Variación mensual del componente fruto en *Avicennia germinans*.

Para el componente fruto se registró un valor de  $0.46 \pm \text{DE } 2.33 \text{ g/m}^2/\text{día}$  en el sitio alejado del estero (Cuadrantes 1-4) y  $0.017 \pm \text{DE } 0.12 \text{ g/m}^2/\text{día}$  en el sitio próximo del estero (Cuadrantes 5-8) (Fig. 42). Se encontró diferencia significativa entre un sitio y otro ( $Z=33.86 \text{ p}=0.000$ ).



**Fig. 42.** Variación del componente fruto en *Avicennia germinans* por sitio.

A nivel de cuadrante se encontró diferencia significativa ( $H= 27.97$ ,  $p=0.000$ ) en la caída de frutos. Este componente presentó su mayor valor en el cuadrante uno ( $1.09 \pm DE 4.19$  g/m<sup>2</sup>/día) y su menor valor en el cuadrante cinco ( $0.0047 \pm DE 0.022$  g/m<sup>2</sup>/día) de los sitios alejados y próximos del estero (Fig. 43).



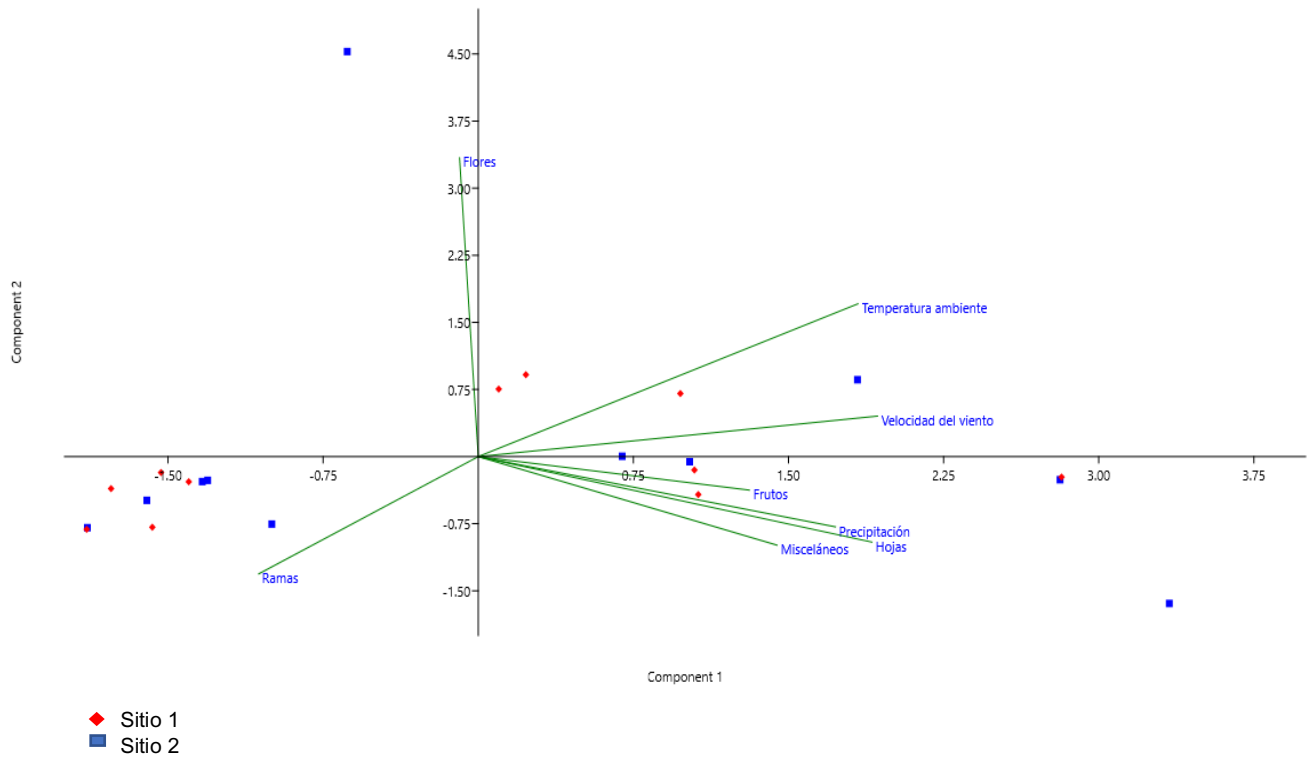
**Fig. 43.** Variación del componente fruto en *Avicennia germinans* por cuadrante. Cuadrantes 1-4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5-8 (sitio próximo del estero).

### 6.5. Correlación de la caída de hojarasca con la altura y el DAP de *Avicennia germinans*

Se encontró una correlación débil entre el DAP y la caída de hojarasca ( $R= 0.34$ ,  $p = <0.01$ ). Mientras que para la altura y la caída de hojarasca no se encontró correlación ( $R=0.16$ ,  $p=0.32$ ).

### 6.6. Correlación de los componentes de la hojarasca con las variables ambientales

El análisis de componentes principales sugiere que la precipitación se asocia en un 53 % con la caída de hojas, misceláneos y frutos. El resto de las variables no presentaron relación con la caída de hojarasca (Fig. 44).



**Fig. 44.** Relación de los componentes de la hojarasca de *Avicennia germinans* con las variables ambientales. Cuadrantes 1, 2, 3, 4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5, 6, 7, 8 (sitio próximo del estero).

## 6.7. Atributos de servicio

### 6.7.1. Flujo de carbono a partir de la caída de hojarasca

El flujo de carbono promedio fue de  $0.0087 \pm \text{DE } 0.010$  MgC/ha/día ( $3.17$  MgC/ha/año). Se observó diferencia entre los meses de muestreo ( $H=355.48$ ,  $p=0.000$ ). En octubre hubo un mayor flujo de carbono ( $0.017 \pm \text{DE } 0.015$  MgC/ha/día) y un menor flujo se observó en junio registrándose un valor de  $0.0025 \pm \text{DE } 0.0021$  MgC/ha/día (Fig. 45).

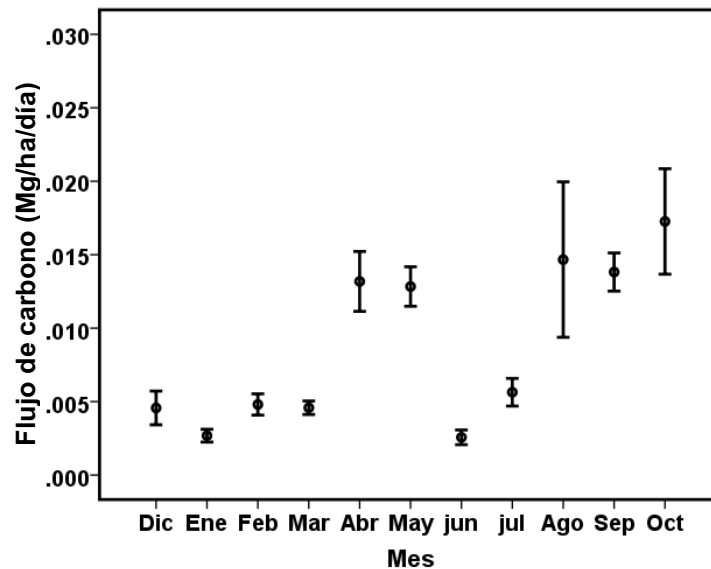
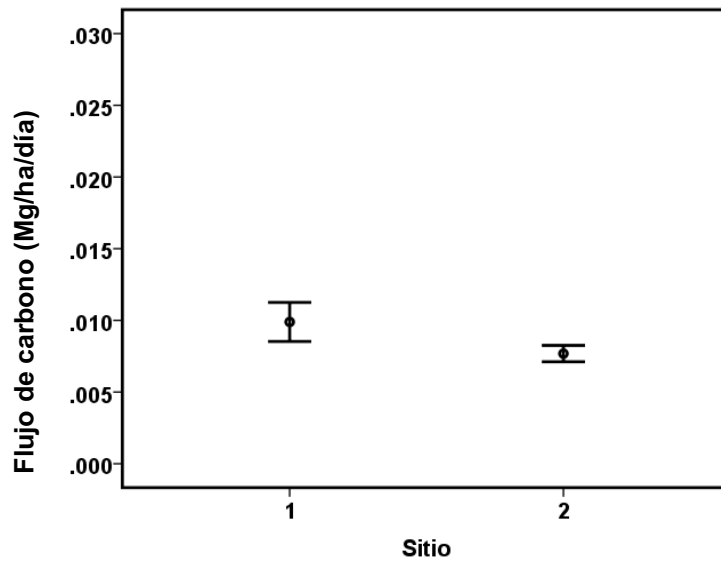


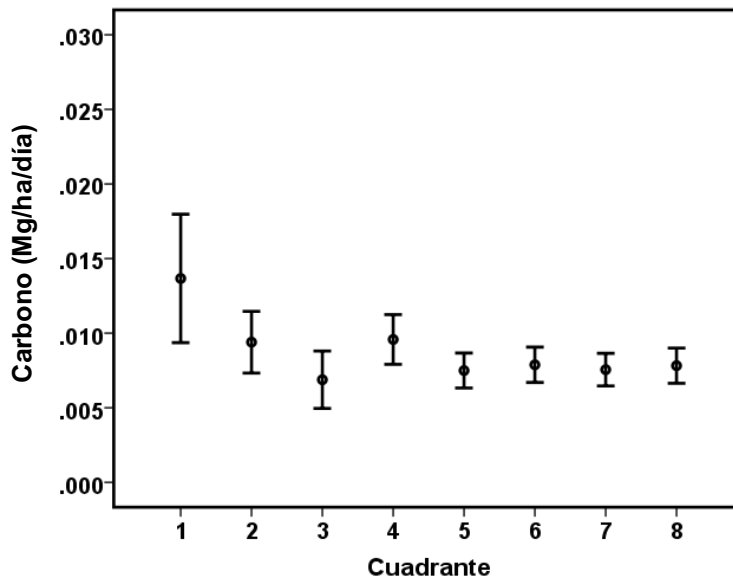
Fig. 45. Variación mensual del flujo de carbono en *Avicennia germinans*.

El sitio alejado del estero (Cuadrantes 1-4) presentó un flujo de carbono de  $0.0099 \pm \text{DE } 0.014$  MgC/ha/día, mientras que en el sitio próximo del estero (Cuadrantes 5-8) se observó un flujo de  $0.0077 \pm \text{DE } 0.010$  MgC/ha/día (Fig. 46). Estadísticamente, se encontró diferencia significativa ( $Z=0.12$ ,  $p=0.03$ ).



**Fig. 46.** Variación mensual del flujo de carbono en *Avicennia germinans* por sitio.

El flujo de carbono varió entre cuadrantes ( $H=17.95$ ,  $p= 0.015$ ). En el cuadrante uno se registró el mayor flujo de carbono ( $0.014 \pm DE 0.021$  MgC/ha/día) y el menor flujo se observó en el cuadrante tres ( $0.0069 \pm DE 0.0096$  MgC/ha/día), localizados en el sitio uno (Fig. 47).

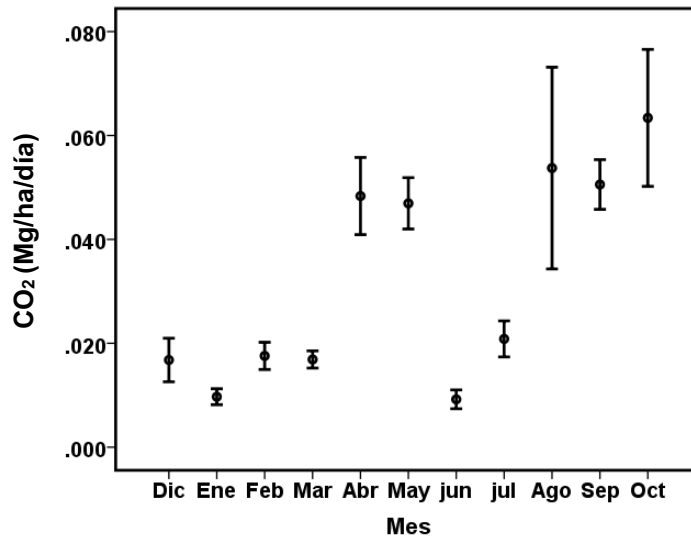


**Fig. 47.** Variación del flujo de carbono en *Avicennia germinans*. Cuadrantes 1-4 (sitio alejado del estero); cuadrantes 5-8 (sitio próximo del estero).



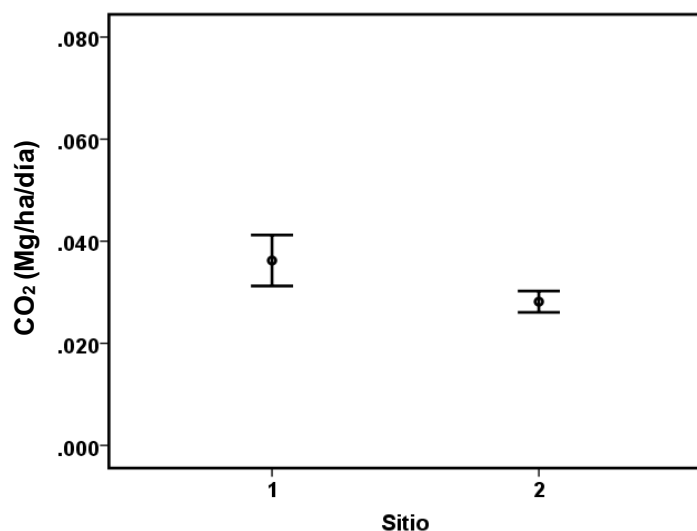
### 6.7.2. CO<sub>2</sub> capturado por *Avicennia germinans*

Se registró un promedio de  $0.032 \pm \text{DE } 0.039$  MgCO<sub>2</sub>/ha/día (11.68 Mg/ha/año), la captura de CO<sub>2</sub> varió con respecto a los meses ( $H=357.85$ ,  $p=0.000$ ). Se observó una mayor captación de CO<sub>2</sub> durante octubre presentando un promedio de  $0.063 \pm \text{DE } 0.056$  MgCO<sub>2</sub>/ha/día y una menor captación en junio con un valor de  $0.0092 \pm \text{DE } 0.0077$  MgCO<sub>2</sub>/ha/día (Fig. 48).



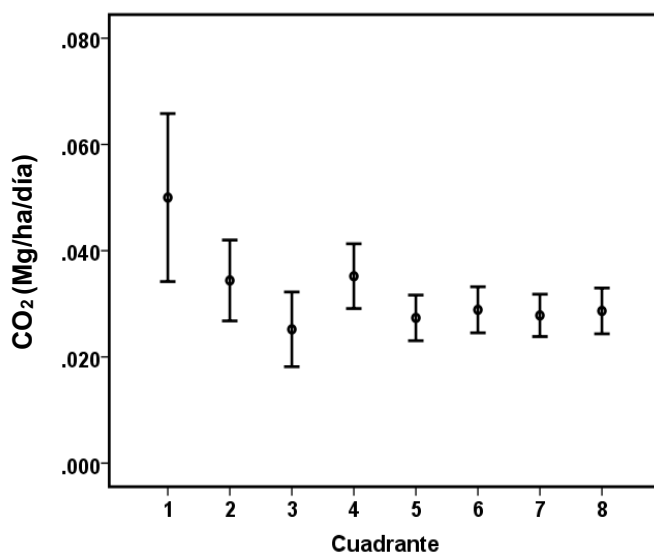
**Fig. 48.** Variación mensual del CO<sub>2</sub> capturado por *Avicennia germinans*.

El CO<sub>2</sub> capturado varió entre sitios ( $Z=0.98$   $p= 0.04$ ). El sitio alejado del estero (Cuadrantes 1-4) presentó un promedio de  $0.036 \pm \text{DE } 0.050$  MgCO<sub>2</sub>/ha/día y el sitio próximo del estero (Cuadrantes 5-8) un valor de  $0.028 \pm \text{DE } 0.021$  MgCO<sub>2</sub>/ha/día (Fig. 49).



**Fig. 49.** Variación del CO<sub>2</sub> capturado por *Avicennia germinans* por sitio.

A nivel de cuadrantes se encontró diferencia significativa ( $H=17.44$ ,  $p= 0.012$ ). La captura de CO<sub>2</sub> fue mayor en el cuadrante uno con  $0.050 \pm DE 0.079$  MgCO<sub>2</sub>/ha/día y menor en el cuadrante tres con  $0.025 \pm DE 0.035$  MgCO<sub>2</sub>/ha/día localizados en el sitio uno (Fig. 50).



**Fig. 50.** Variación por cuadrante del CO<sub>2</sub> capturado por *Avicennia germinans*. Cuadrantes 1, 2, 3, 4 (sitio 1); cuadrantes 5, 6, 7, 8 (sitio 2).

## VII. DISCUSIÓN

### 7.1. Variables ambientales y parámetros fisicoquímicos del agua superficial y nivel de inundación

La temperatura ambiental (27.27 °C) y la precipitación (816.60 mm) registradas en este estudio, se encuentran dentro del rango ambiental que tolera *Avicennia germinans*, ya que esta especie se localiza en zonas donde la precipitación oscila entre los 500 y 2000 mm y la temperatura fluctúa entre los 19 y 28 °C (CATIE, 2000).

A nivel espacial se observó que el sitio próximo del estero permanece menos tiempo inundado debido a que presenta un flujo constante de agua. Sin embargo, en el sitio alejado del estero el agua fluye a través de vados, provocando que el intercambio de agua se realice más lentamente y, por lo tanto, la zona permanece más tiempo inundada, y eso influye en la temperatura del agua y la salinidad. Cabe señalar que la inundación del manglar de Tumilco en ambos sitios depende en gran parte de la precipitación, ya que no hubo inundación en los meses de julio y agosto en ninguno de los sitios, que coincidió con una disminución de las lluvias.

Por otra parte, el pH del agua de manglar no varió entre sitios, encontrándose en ambas zonas un pH ácido, indicando que están ocurriendo procesos de degradación de la materia orgánica (Kamrani *et al.*, 2011). Sin embargo, un pH ácido provoca que los árboles absorban más lentamente los nutrientes del suelo (Mollinedo *et al.*, 2005).

## 7.2. Atributos estructurales

La diferencia en el DAP, área basal y volumen total de la madera entre sitios podría estar asociado a las diferencias en la temperatura y salinidad del agua entre sitios, puesto que se ha demostrado que son variables que influyen en el desarrollo estructural del manglar (Agudelo *et al.*, 2015). Existe un gradiente de complejidad estructural asociado a la salinidad del agua representado en una disminución progresiva del DAP y área basal de especies (Méndez y Jiménez, 2014). Cabe señalar que el sitio alejado del estero presentó mayor inundación que el sitio próximo del estero, y esta condición favorece el incremento de los procesos de degradación de la hojarasca y, por ende, existe una mayor disponibilidad de materia orgánica (Kamrani *et al.*, 2011), lo cual propicia un mejor desarrollo estructural (Agudelo *et al.*, 2015). La diferencia en los parámetros estructurales entre sitios se atribuye también al aprovechamiento forestal, puesto que en el sitio dos (Cuadrantes 5-8) es donde se realiza la extracción de madera con mayor frecuencia (*com. per.* Pedro Sánchez), y fue en esta la zona donde los parámetros estructurales fueron menores.

Pese a la situación antes mencionada, en ambos sitios de estudio, el DAP de los árboles se encontró por encima de los 10 cm, correspondiente a la categoría fustal. Cuando se presenta esta condición corresponde a bosques con una distribución negativa, ya que existe una alta proporción de árboles de mayor diámetro. Esta condición sumada a la poca presencia de árboles de menor diámetro (2.5-5 cm) en

ambos sitios, los cuales representan la regeneración natural del manglar (Agudelo-Ramírez, 2000), trae como consecuencia efectos sobre la sucesión del bosque. Los fustales se consideran árboles maduros (Imaña y Encinas, 2008), y son los responsables de la mayor producción de estructuras reproductivas (Orjuela-Rojas *et al.*, 2011). De manera que cuando merma el número de individuos reproductivos, se reduce la regeneración, y al verse afectado este proceso hay una reducción del número de individuos capaces de llegar a las etapas posteriores.

La regeneración de individuos de *Avicennia germinans* depende de espacios abiertos para desarrollarse, ya que es poco tolerante a la sombra (Domínguez *et al.*, 2011). Dado que existe una relación proporcional entre el DAP de los árboles y la cobertura de éstos (Tovilla-Hernández *et al.*, 2009). Se considera entonces que la presencia de árboles de *Avicennia germinans* de mayor DAP está obstaculizando el paso de la luz hacia los estratos inferiores, lo que impide el establecimiento de individuos de menor tamaño (2.5-5 cm de DAP). Aunado también a la competencia que existe tanto en espacio como en nutrientes debido a la presencia de plántulas de *Rhizophora mangle* (*obs. pers*). La poca presencia de árboles de DAP, menor (2.5-5 cm) en el sitio dos, está influenciada por el forrajeo por parte del ganado (*obs. pers*), ya que es un factor que dificulta el establecimiento de árboles de menor diámetro (Lema-Vélez *et al.*, 2003). Mientras que una baja densidad de árboles de diámetros pequeños en el sitio alejado del estero puede relacionarse al hecho de que esta zona presentó una mayor inundación, y la regeneración de *Avicennia germinans* es sensible a la inundación (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2011).

El bajo coeficiente de determinación encontrado se debe a que en ambos sitios los árboles estudiados se encontraron por encima de los 10 cm de DAP y, después de este diámetro no hay un crecimiento proporcional entre el DAP y la altura (Tovilla-Hernández *et al.*, 2009), puesto que el árbol invierte más energía en otras estructuras (tronco, flores, frutos) (Hong y San, 1993, Orjuela-Rojas *et al.*, 2011, INECC-PNUD, 2017).

La densidad constituye un indicador del grado de desarrollo de un bosque. Una baja densidad de árboles y valores altos de área basal representan a un bosque más desarrollado y una alta densidad de árboles asociada a valores bajos de área basal representa un bosque menos desarrollado (Kamruzzaman *et al.*, 2017). Por lo anterior se considera entonces, que el manglar del sitio alejado del estero se encuentra más desarrollado que el manglar del sitio próximo del estero.

Con respecto al volumen total de madera de los árboles, éste fue mayor para el sitio alejado del estero (Cuadrantes 1-4), debido a que en esta zona se encontró un mayor número de árboles de DAP mayor a los 10 cm.

### **7.3. Atributos funcionales**

Estacionalmente la caída de hojarasca total varió, siendo esta mayor en octubre, coincidiendo con un aumento de la precipitación, del nivel de inundación y de la

velocidad del viento, y con una disminución de la salinidad y de la temperatura ambiente y del agua. Espacialmente también se encontró diferencia, siendo mayor la caída de hojarasca en el sitio alejado del estero, el cual está más inundado. La inundación incide en la caída de hojarasca, puesto que facilita la dispersión de los frutos y propágulos (Lugo y Snedaker, 1974).

Las hojas fueron el componente más abundante de la hojarasca durante todo el año, aportando 83% del peso seco total, presentando picos en mayo y septiembre. Resultados que coinciden con los de Lugo y Snedaker (1974) quienes mencionan que *Avicennia germinans* tiene un mayor aporte de materia orgánica a través de sus hojas. Este componente registró un pico en la caída de hojas en mayo que coincidió con un incremento en la velocidad del viento y en la temperatura del agua.

Para septiembre se observó otro pico en la caída de hojas que concuerda con un aumento de la precipitación y del nivel de inundación y con una disminución en la salinidad del agua. Durante los periodos de mayor precipitación existe una mayor disponibilidad de agua dulce, lo que provoca un menor estrés fisiológico y por lo tanto la planta renueva con mayor frecuencia sus hojas, ya que puede regular de mejor manera la evapotranspiración (Luttge, 2008).

A nivel espacial, se registró un mayor aporte en la caída de hojas en el sitio próximo del estero como consecuencia de una mayor abundancia de brinzales y latizales (59.3%), ya que estos árboles producen más hojas, ya que tienen una mayor tasa

de renovación (Nga *et al.*, 2004), debido también a una mayor disponibilidad de agua, por la cercanía del sitio al cuerpo de agua.

Las ramas y los misceláneos variaron temporalmente, se registró un pico en la caída de ramas en abril que coincidió con un incremento en la velocidad del viento y un pico en la caída de misceláneos en septiembre que concordó con un aumento de la velocidad del viento y de la precipitación. Sin embargo, la caída de misceláneos solo se correlacionó positivamente con la precipitación, pero dado que existe una relación directamente proporcional entre la velocidad del viento y la precipitación (Cuadro 1), se considera entonces que la acción mecánica del viento pudo influir en el desprendimiento de este componente. Resultados similares reportaron (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2004).

Espacialmente no se registró variación en la caída de ramas y misceláneos a pesar de que se encontró diferencia en los parámetros fisicoquímicos del agua, lo que indica que éstos no influyen en la caída de estos componentes.

Los componentes reproductores presentaron una temporalidad en su caída. El componente fruto aportó su mayor peso en agosto, septiembre y octubre, meses donde la precipitación se incrementa y la salinidad del agua disminuye. Mientras que, las flores aparecieron de junio a agosto; siendo julio y agosto los meses que presentaron menor precipitación a lo largo de todo el año. La aparición de la floración en junio coincide con un descenso en la caída de hojas, esto sucede



porque la planta invierte todos sus recursos en actividades reproductivas (Grimaldi, 2012). El comportamiento que presenta *Avicennia germinans* con la producción de estructuras reproductivas, es una estrategia de vida, ya que tiende a producir flores en los periodos más desfavorables y frutos en los periodos de mayor precipitación y por ende de mayor inundación, lo que le permite al manglar implementar la estrategia de dispersión por medio de la hidrodinámica superficial (López-Portillo, 1985).

La caída de los componentes reproductores (flores, frutos) fue mayor para el sitio alejado del estero y esto puede estar asociado a la presencia de árboles de mayor DAP, los cuales son los responsables de la mayor producción de estructuras reproductivas (Hong y San, 1993, Orjuela-Rojas *et al.*, 2011). Otro factor que puede estar incidiendo en la mayor caída de frutos, es la condición del sitio, puesto que fue esta zona la que presentó mayor nivel de inundación y menores valores de salinidad y temperatura, condiciones que son favorables para el manglar.

#### **7.4. Atributos de servicio**

Los tensores ambientales como la salinidad, la precipitación y las temperaturas altas o bajas alteran el metabolismo de las plantas y afectan la función para captar CO<sub>2</sub> (Martínez-Ballesta *et al.*, 2009). Esto explica el comportamiento observado, ya que se registró una menor captura de CO<sub>2</sub> y flujo de carbono en junio, momento en que la temperatura ambiente, la temperatura del agua y la salinidad fueron mayores.

Mientras que, se alcanzó el pico en octubre donde hubo un aumento de la precipitación y disminución de la temperatura ambiente y de la temperatura del agua y de la salinidad. Condiciones que provocan menos estrés y permiten que los árboles realicen de manera más eficiente el servicio de regulación.

Espacialmente, el sitio próximo del estero presentó una alta densidad de brinzales y latizales y poca de fustales, lo que influyó en una menor captación de CO<sub>2</sub> y flujo de carbono. Mientras que, en el sitio alejado se registró una mayor densidad de fustales y eso se reflejó en una mayor captación de CO<sub>2</sub> y flujo de carbono. Entendiéndose entonces, que existe una relación directamente proporcional entre los servicios de regulación que ofrece el manglar y el desarrollo estructural de los árboles. A la misma conjetura llegaron Zuluaga-Zuluaga y Castro-Escobar (2018). Cabe resaltar también a que las condiciones del sitio alejado al estero son más favorables, debido a que se reportaron menores valores de salinidad y temperatura y mayores niveles de inundación.

El manglar estudiado corresponde a un manglar tipo cuenca y presentó un valor de flujo de carbono de 3.17 MgC/ha/año, el cual fue cercano al reportado por Herrera-Silveira *et al.* (2017) de 3.60 MgC/ha/año para el mismo tipo ecológico de manglar. Cuando se compara el valor de flujo de carbono y captura de CO<sub>2</sub> de este estudio de 3.17 MgC/ha/año y 11.68 MgCO<sub>2</sub>/ha/año con otras investigaciones, se observa que, los valores difirieron de los reportados por Orihuela *et al.* (2005) en un manglar de Chiapas, por Félix-Pico *et al.* (2005) y por Ochoa-Gómez (2014) en Baja

California Sur, estimando valores de 5.87 MgC/ha/año, 1.86 MgC/ha/año y 2.26 MgC/ha/año para flujo de carbono y 21.54 MgCO<sub>2</sub>/ha/año, 6.82 MgCO<sub>2</sub>/ha/año y 8.26 MgCO<sub>2</sub>/ha/año para captura de CO<sub>2</sub>, respectivamente. Estas variaciones pueden estar asociadas a la latitud. Los valores de flujo de carbono y captura de CO<sub>2</sub> reportados en Baja California resultaron inferiores al registrado en este estudio. Este manglar se encuentra en la zona norte del país y, por lo tanto, está más alejado del Ecuador. Mientras que, en el manglar de Chiapas localizado al sur del país y más próximo al Ecuador se registraron valores de flujo de carbono y CO<sub>2</sub> superiores a los de este estudio. Flores-Verdugo *et al.* (1992) señalan que en regiones cercanas al Ecuador las condiciones ambientales propician una mayor productividad en los manglares que se ve reflejada en un mayor flujo de carbono, debido a una mayor captación de CO<sub>2</sub>.

## VIII. CONCLUSIONES

La condición del manglar con relación a los atributos estructurales, funcionales y de servicios fue diferente entre sitios próximos y alejados del estero de Tumilco atribuida a los parámetros fisicoquímicos del agua y al nivel de inundación.

La baja densidad de árboles de DAP menor a los 2.5 cm afecta la sucesión del manglar de Tumilco, ya que no existen suficientes individuos capaces de llegar a las etapas reproductivas.

Las hojas, ramas y misceláneos se presentaron durante todo el año; sin embargo, la cantidad varió con respecto a los meses. Mientras que, los componentes reproductores presentaron temporalidad en su caída, siendo ésta una estrategia de adaptación del manglar a las condiciones ambientales.

Con este trabajo se resalta la contribución del manglar de Tumilco en la mitigación del cambio climático, estimándose una captura de 11.68 MgCO<sub>2</sub>/ha/año.

## IX. APLICACIÓN PRÁCTICA

Durante el transcurso de esta tesis se ha aportado información que permite describir los atributos estructurales y funcionales de *Avicennia germinans*. Dicha aportación combina, por una parte, información sobre la condición general del manglar y, por otro lado, resultados que estiman cuantitativamente uno de los servicios ecosistémicos que brindan los manglares. El conocimiento de la cantidad de biomasa aérea contenida en los manglares permite calcular la cantidad de carbono almacenado. Esta estimación expresa la cantidad de bióxido de carbono que esta especie remueve de la atmósfera (Brown, 1997).

Los datos de parámetros estructurales constituyen un elemento esencial para la planificación de acciones para un manejo adecuado de este ecosistema (Alvis-Gordo, 2009).

Lo anterior se justifica ante el hecho de que en el manglar de Tumilco se siguen talando árboles de mangle principalmente para leña, cercado y para la construcción de artes de pesca (*com. pers.* Pedro Sánchez). Por lo tanto, resalta la necesidad de promover un aprovechamiento sostenible de los bienes y servicios que ofrece este ecosistema, incorporando acciones de manejo forestal mediante la participación de los usuarios de los recursos (Varela-Hernández, 2010). Entre las acciones que se podrían ejecutar para garantizar el aprovechamiento sostenible están: establecer un volumen anual de extracción de madera, extraer árboles de forma selectiva

considerando en primer lugar los árboles caídos, árboles muertos en pie, árboles dañados por causas mecánicas, árboles enfermos, árboles deformes y árboles que impidan la regeneración natural, establecer áreas anuales de extracción con rotación cada cinco años y el establecimiento de diámetros mínimos de extracción (Domínguez-Domínguez *et al.*, 2011).

La Convención Ramsar menciona que el secuestro de carbono por parte de los manglares constituye una función de regulación que permite evaluar aspectos socioeconómicos de los humedales con vistas a la planificación del manejo (Convención Ramsar COP8, 2002).

Las estimaciones realizadas sobre esta función de regulación podrían formar parte de la base de datos tanto del Centro de Excelencia Virtual en Monitoreo Forestal en Mesoamérica como del Programa Mexicano de Carbono. Los datos también podrían ser incorporados al Sistema de Monitoreo de Manglares de México (SMMM), el cual integra cuatro componentes del manglar incluyendo su caracterización (estructura y productividad primaria).

Así mismo, la información obtenida contribuye a fortalecer la base de datos sobre carbono en manglares en México. De acuerdo con Herrera-Silveira y Teutli-Hernández (2017) no hay suficientes datos que estimen el carbono en manglares a nivel regional o local con la suficiente precisión y valor de incertidumbre para ser considerados en un programa de pago de bonos de carbono.

Además, con el conocimiento de la cantidad de CO<sub>2</sub> capturado y el flujo de carbono del manglar, se podría incorporar este ecosistema al programa de Pagos por Servicios Ambientales (PSA), estrategia adoptada por México como instrumento para el desarrollo de la estrategia REDD+ en el país a través de la CONAFOR (CONAFOR, 2011). El objetivo de este programa es incentivar económicamente a ejidos, a comunidades o a pequeños propietarios que cuenten con áreas forestales para apoyar de esta manera prácticas de conservación, evitando así el cambio de uso de suelo (CONAFOR, 2011).

De manera puntual, la caída de hojarasca permite evaluar los patrones reproductivos a lo largo del año. Mantovani *et al.* (2003) argumentan la utilidad de esta información, ya que permite conocer los periodos apropiados para la recolección de propágulos. Conocimiento que permitiría que los miembros de la comunidad del Ejido de Tumilco, con previa asesoría de la CONAFOR, implementen actividades de reforestación en zonas de manglar deterioradas, mediante el cultivo de plántulas de mangle en vivero. Esta acción podría dar origen a proyecto comunitario, con la implementación de un vivero con capacidad para cultivar plántulas que podrían ser comercializadas a empresas que requieran atender recomendaciones en materia de compensación ambiental. Esta clase de experiencias a nivel comunal ha sido llevada con éxito en el Ejido Tarachi en el municipio de Alvarado. Además de la venta de plántulas, el proyecto podría operar como un atractivo turístico rural, al momento que las personas conozcan todo el

proceso que conlleva la generación de las plántulas. Estas acciones generarían un sustento económico para las familias de la comunidad del ejido de Tumulco.

Por otra parte, la Política Nacional de Mares y Costas (PNMC), señala que es fundamental asegurar que la estructura y función de este ecosistema marino-costero no sufra alteraciones irreversibles. Por lo tanto, los resultados de esta tesis aportan datos al Inventario Nacional Costero, describiendo espacialmente los recursos naturales costeros para el municipio de Tuxpan (CIMARES, 2011). Por lo que los datos de este estudio (estructura, flujo de carbono y captura de CO<sub>2</sub> de *Avicennia germinans*) constituyen información valiosa que podría ser incorporada a ese inventario.

El conocer la variación de las características estructurales, funcionales y de servicios de un manglar entre sitios próximos y alejados a un cuerpo de agua, proporciona datos importantes que permiten promover un manejo adecuado de los cuerpos de agua, así como el ordenamiento de las actividades que se realizan en torno al mismo. Además, permite fomentar actividades de restauración enfocadas a restablecer el flujo hídrico en zonas donde éste se ha interrumpido.

Finalmente, este estudio sería de utilidad para tesis futuras, como un estudio base para evaluar cambios a nivel estructural o variabilidad de la caída de hojarasca, en el flujo de carbono y en la captura de CO<sub>2</sub> ante presiones antrópicas de un



ecosistema protegido por la NOM-022-SEMARNAT-2003, y en específico de uno de los cuatros especies de mangle protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2010.

## X. BIBLIOGRAFÍA

Agraz-Hernández, C. M., 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 p.

Agudelo-Ramírez, C. P. 2000. Estructura de los bosques de manglar del departamento de Bolívar y su relación con algunos parámetros abióticos. Tesis de Licenciatura. Universidad de Bogotá.

Agudelo, M. C., Bolívar, J., Polanía, J., Urrego, L., Yepes, A. y Sierra, A. 2015. Estructura y composición florística de los manglares de la bahía de Cispatá, Caribe colombiano. *Revista de Biología Tropical* 63 (4): 1137-1147.

Ajbilou, R., Marañón, T., Arroyo, J. 2003. Distribución de clases diamétricas y conservación de bosques en el norte de Marruecos. *Invest. Agrar: Sist. Recur. For* 12(2): 111-123.

Alfaro-Sibaja, L., Barquero-Salgado, D., Fonseca, A., Montoya-Solano, R., Morales-Cerdas, V. y Ramírez-Arce, D. 2015. Estructura y composición vegetal del manglar Palo Seco, Quepos, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED* 7(2): 325-332.

- Alongi, D. M. 2009. The energetics of mangrove forests. Springer. 213 pp.
- Alvis-Gordo, J. F. 2009. Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del municipio de Popayán. Facultad de Ciencias Agropecuarias 7(1): 116-122.
- Basáñez-Muñoz, A. 2005. Ficha Informativa de los Humedales Ramsar (FIR). Oficina de la Convención de Ramsar. Gland, Suiza. 12 pp.
- Basáñez-Muñoz, A., Olmedo-Pérez, G. y Rojas-Mencio, P. 2006. Características estructurales y uso del manglar en el ejido Cerro de Tumilco, Tuxpan, Veracruz. México. Revista UDO Agrícola 6(1): 114- 120.
- Begon, M., Townsend, C. y Harper, J. 2006. Ecology: From individuals to ecosystems. Blackwell Publishing. United Kingdom. 746 pp.
- Bernini, E. y Rezende, C. E. 2010. Litterfall in a mangrove in southeast Brazil. Pan-American Journal of Aquatic Sciences 5(4):508-519.
- Brown, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. FAO Forestry Paper. 55 pp.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (CATIE). 2000. Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. 200 p.

Cintrón, G. y Schaeffer-Novelli, Y. 1984. Methods for studying mangrove structure. 91-113. Citado en Chicas-Batres, F. A, González-Leiva, J. A. y Sayes, J. A. 2016. Composición florística y estructura del manglar de la Bahía de La Unión, El Salvador. Rev. COMUN. Cient. Tecnol 2(1): 52-64.

Cintrón, G. y Schaeffer-Novelli, Y. 1992. Ecology and Management of New World Mangroves. Citado en Samper-Villarreal, J., Silva-Benavides, A. M. 2015. Complejidad estructural de los manglares de Playa Blanca, Escondido y Rincón de Osa, Golfo Dulce, Costa Rica. Revista de Biología Tropical 63(1): 199-208.

Convención Ramsar COP8. 2002. Resolución VIII.14 Nuevos lineamientos para la planificación del manejo de los sitios Ramsar y otros humedales. 40 pp.

Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas (CIMARES). 2011. Política Nacional de Mares y Costas de México. 65 pp.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2011. Servicios ambientales y cambio climático. 33 pp.

Dittmar, T., Hertkorn N., Kattner, G. y Lara, R. J. 2006. Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans. *Global Biogeochem. Cycles* 20. Citado en Herrera-Silveria, J. A., Camacho-Rico, A., Pech, E., Pech, M., Ramírez-Ramírez, J. y Teutli-Hernández, C. 2016. Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México. *Terra Latinoamericana* 34(81): 61-72.

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

Estrada-Durán, G., Cupul-Magaña, F. G. y Cupul-Magaña, A. L. 2001. Aspectos de la estructura y producción de hojarasca del bosque de manglar del estero El Salado, Puerto Vallarta, Jalisco. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara, México. 12 pp.

Félix-Pico, E., Holguín-Quñones, O., Hernández-Herrera, A. y Flores-Verdugo, F. 2006. Producción Primaria de los mangles del estero El Conchalito en Bahía de La Paz (Baja California Sur). Universidad Autónoma de Baja California. México. *Ciencias Marinas* 32(1): 53-63.

Flores-Verdugo, F. J., González-Farías, F., Zamorano, D. S. y Ramírez-García, P. 1992. Mangrove ecosystem of the Pacific coast of México: Distribution, structure,

litterfall, and detritus dynamics. Citado en Ochoa-Gómez, J. G. 2014. Estructura y productividad del manglar de Balandra, BCS. México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur.

García-Hansen, I., Gaviria-Chiquazuque, J. F., Prada-Triana, M. y Álvarez-León, R. 2002. Producción de hojarasca de los manglares de la Isla de San Andrés, Caribe Colombiano. *Revista de Biología Tropical* 50(1): 273-291.

Grimaldi, C. S. 2012. Productividad primaria y retorno de nutrientes al ecosistema de manglar de las islas colindantes al canal El Zapatero, área natural protegida barra de Santiago, departamento de Ahuachapán. Tesis de Licenciatura. Universidad de El Salvador. El Salvador.

Herrera-Silveria, J. A., Camacho-Rico, A., Pech, E., Pech, M., Ramírez-Ramírez, J. y Teutli-Hernández, C. 2016. Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México. *Terra Latinoamericana* 34(81): 61-72.

Herrera-Silveira, J. A y Teutli-Hernández, C. 2017. Carbono azul, manglares y política pública Elementos para Políticas Públicas. Programa Mexicano del Carbono 1(1): 43-52.

Hong, P. N. y San, T. H. 1993. *Mangroves of Vietnam*. IUCN. 173 pp. Citado en: Nga, B.T., Tinh, H. Q., Tam, D. T., Scheffer, M. y Roijackers, R. 2005. Young

mangrove stands produce a large and high quality litter input to aquatic systems. *Wetlands Ecology and Management* 13: 569–576.

Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M. y Pidgeon, E. 2014. Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA. 184 pp.

Imaña, J. y Encinas O. 2008. *Epidometria Forestal*. Universidad de Brasilia, Departamento de Engenharia Florestal. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. Brasilia, Mérida. 66 pp.

INECC-PNUD. 2017. Estudio para la identificación, caracterización y evaluación del balance entre las emisiones de GEIs y las zonas de captura y almacenamiento de carbono en zonas de ecosistemas costero/marinos del Pacífico, Golfo de México y la Península de Yucatán (Carbono azul). Proyecto 85488 “Sexta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, Programa Mexicano del Carbono, A.C. México. 430 pp.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2001. Cuaderno Estadístico Municipal. Gobierno del Estado de Veracruz e Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México. 18 pp.

Kamrani, A., Jalili, A., Naqinezhad, A., Attar, F., Asghar, M. A. y Shaw, C. S. 2011. Relationships between environmental variables and vegetation across mountain wetland sites. Irán, VERSITA, Section Botany 1(76):1-12.

Kamruzzaman, M., Ahmed, S. y Osaa, A. 2017. Biomass and net primary productivity of mangrove communities along the oligohaline zone of Sundarbans, Bangladesh. *Forest Ecosystems* 4(16): 1-9.

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. 48 pp.

Kauffman, J. B., Hernández-Trejo, H., Jesús-García, M., Heider, C. y Contreras-Sánchez, W. 2014. Cálculo de las reservas de carbono en los ecosistemas de marismas y manglares de Pantanos de Centla, México. 18 pp.

Lacerda, L. D., Schaeffer-Novelli, Y. 1992. Mangroves of Latin America: the need for conservation and sustainable utilization. *Mangroves Newsletter* 5-8.

Lara-Domínguez, A. L., López-Portillo, J., Ávila-Ángeles, A. y Vázquez-Lule, A. D. 2009. Caracterización del sitio de manglar Tuxpan, en Comisión Nacional para el



Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. México, D.F. 18 p.

Lema-Vélez, L. F., Polanía, J. y Urrego-Giraldo, L. E. 2003. Dispersión y establecimiento de las especies de mangle del Río Ranchería en el período de máxima fructificación. Rev. Acad. Colomb. Cienc 27(102): 93-103.

López, B., Barreto, M. B. y Conde, J. E. 2011. Caracterización de los manglares de zonas semiáridas en el noroccidente de Venezuela. Asociación Interciencia 36(12): 888-893.

López-Portillo, J. y Ezcurra, E. 1985. Litterfall of *Avicennia germinans* L. in a one year cycle in a mudflat at the Laguna de Mecoacan, Tabasco, Mexico. Biotropica 17(3): 186-19.

Lugo, A. E. y Snedaker, S. C. 1974. The ecology of mangroves. Annual review of ecology and systematics 5: 39-64.

Luttge, U. 2008. Physiological ecology of tropical plants. Germany (DE): Springer. 458p. Citado en Grimaldi, C. S. 2012. Productividad primaria y retorno de nutrientes al ecosistema de manglar de las islas colindantes al canal El Zapatero, área natural

protegida barra de Santiago, departamento de Ahuachapán. Tesis de Licenciatura. Universidad de EL Salvador. El Salvador.

Mantovani, M., Ruschel, A. R., Sedrez-dos Reis, M., Puchalski, A. y Nodari, R. O. 2003. Fenología reproductiva de especies arbóreas em uma formação secundária da floresta Atlántica. *Sociedade de Investigações Florestais* 27(4): 451-458.

Margalef, R. 1980. *Ecología*. Ediciones Omega. Barcelona. España. 968 pp.

Martínez-Ballesta, M., López-Pérez, L., Muries, B., Muñoz-Azcarate, O. y Carvajal, M. 2009. Climate change and plant water balance. The role of aquaporins. *Sustainable Agricultural Reviews* 2: 71-89.

Martínez-Ballesteros, A. J., Plaza-Rodríguez., C. M. y Guevara G, 2014. Aporte de hojarasca del mangle negro (*Avicennia germinans L.*) en el Caribe Colombiano. *Rev. Luna Azul* 38: 218-230.

Martínez-Cortés, E. 2018. Producción y descomposición de la hojarasca del manglar y abundancia de peneidos en la ciénega de Tuxpan, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. México.

Melo, O., Vargas, R. 2003. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Universidad del Tolima. Colombia. 183 pp.

Méndez, C. y Jiménez, J. 2014. Análisis de la asociación entre la estructura y composición de la comunidad vegetal de manglar, y los parámetros físico-químicos del agua en la Bahía La Graciosa, Izabal, Guatemala. Revista Científica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia 25(1):15-64.

Mendoza-Morales, A., González-Sansón, G. y Aguilar-Bethancourt, C. 2015. Producción espacial y temporal de hojarasca del manglar en la laguna Barra de Navidad, Jalisco, México. Revista de Biología Tropical 64(1): 259-273.

Mohamed, O. S., Mangion, P., Mwangi, S., Kairo, J., Dahdouh, F. G. y Koedam, N. 2008. Productivity in a peri-urban mangrove: Does sewage exposure have an impact? Hydrobiologia: 82-101.

Mollinedo, M., Ugalde, L., Alvarado, A., Verjans, J. M. y Rudy, L. C. 2005. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis*), en la zona oeste de la cuenca del canal de Panamá. Agron Costarric 29(1):67–75.

Moreno-Casasola, O., Rojas-Galaviz, J. L., Zárate-Lomelí, D., Ortiz-Pérez, M. A., Lara-Domínguez, A. L., Saavedra-Vásquez, T. 2002. Diagnóstico de los manglares

de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. *Madera y Bosques* Número especial: 61-88.

Navarrete-Ramírez, S.M. y Rodríguez-Rincón, A. M. 2014. Protocolo Indicador Condición Tendencia Bosques de Manglar (ICTBM). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). INVEMAR, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del INVEMAR No. 67, Santa Marta. 40 p.

Nga, B. T., Tinh., H. Q., Tam, D. T., Scheffer, M. y Roijackers, R. 2005. Young mangrove stands produce a large and high quality litter input to aquatic systems. *Wetlands Ecology and Management* 13: 569–576.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003. Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. *Diario Oficial de la Federación*, 10 de abril de 2003, 22 p.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Que establece la protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de diciembre de 2010, 78 p.

Ochoa-Gómez, J. G. 2014. Estructura y productividad del manglar de Balandra, bcs. México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México.

Orihuela-Belmonte, D., Tovilla-Hernández, C., Vester, F. y Álvarez-Legorreta, T. 2004. Flujo de materia en un manglar de la costa de Chiapas, México *Madera y Bosques* 2:45-61.

Orjuelas-Rojas, A. M., Villamil, C. A. y Sanjuan-Muñoz, A. 2011. Cobertura y estructura de los bosques de mangle en la Baja Guajira, Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost* 40(2): 381-399.

Oviedo, P. R., Menéndez, C. y Guzmán, M. 2006. Flora asociada a manglares y sus ecotonos en Cuba. Citado en Castillo-Elías, B., Gervacio-Jiménez, H. y Bedolla-Solano, R. 2018. Estructura forestal de una zona de manglar en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(45): 66-93.

Pool, D. J., Lugo, A. E. y Snedaker, S, C. 1975. Litter production in mangrove forest of southern Florida y Puerto Rico. *Int. Symp. Biology and management of mangroves*, Institute of Food and Agricultural Sciences :213-212.

Pool, D. J., Sneadaker, S. C. y Lugo, A. E. 1977. Structure of mangrove forest in Florida, Puerto Rico, México and Costa Rica. *Biotropical* 9(3):195-212.

Querales, Y., Barboza, F., Briceño, J. y Medina, E. 2011. Producción de hojarasca de *Rhizophora mangle* en el manglar de Punta Capitán Chico, Estado Zulia-Venezuela. Boletín del centro de investigaciones biológicas 45 (2): 181-194. Ciudad de México. 272 pp.

Rivera-Monroy, V. H., Castañeda-Moya, E. y Barr, J. 2013. Current Methods to Evaluate Net Primary Production and Carbon Budgets in Mangrove Forest. Citado en Rodríguez-Zúñiga, M. T., Villeda-Chávez, E., Vázquez-Lule, A. D., Bejarano, M., Cruz López, M. I., Olguín, M., Villela Gaytán, S. A. y Flores, A. 2018. Métodos para la caracterización de los manglares mexicanos: un enfoque espacial multiescala. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. 272 pp.

Rodríguez, E. Chang, J. y Goti, I. 2012. Productividad primaria del manglar de *Rhizophora mangle* en el canal estuarino de Isla de Cañas, provincia de Los Santos, República de Panamá. Tecnociencia 14(2): 85-99.

Rodríguez-Ramírez, A., Nivia-Ruíz, J. y Garzón-Ferreira, J. 2004. Características estructurales y funcionales del manglar de *Avicennia germinans* en la Bahía de Chengue (caribe colombiano). Bol. Invest. Mar. Cost 33: 223-244.

Rodríguez-Zúñiga, M. T., Villeda-Chávez, E., Vázquez-Lule, A. D., Bejarano, M., Cruz-López, M. I., Olguín, M., Villela-Gaytán, S. A. y Flores, A. 2018. Métodos para la caracterización de los manglares mexicanos: un enfoque espacial multiescala. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Ciudad de México. 272 pp.

Romero-Bermy, E. I., Tovilla-Hernández, C. y Torrescano-Valle, N. 2019. Heterogeneidad estructural del manglar como respuesta a factores ambientales y antrópicos en el Soconusco, Chiapas, México. *Polibotánica* 47: 39-58.

Rossalino-Jiménez, M. 2015. Estructura del mangle y la asociación con características fisicoquímicas de agua y suelo en Tumilco, Mpio. de Tuxpan, Ver. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. México.

Saenger, P. y Snedaker, S. C. 1993. Pantropical trends in mangrove above-ground biomass and annual litterfall. *Oecologia* 96(3): 293-299.

Samper-Villarreal, J., Silva-Benavides, A. M. 2015. Complejidad estructural de los manglares de Playa Blanca, Escondido y Rincón de Osa, Golfo Dulce, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 63(1): 199-208.

Santiago-Molina, L. S. 2018. Estimación del potencial de captura de carbono (C) del bosque de manglar de Tumilco de Tuxpan, Veracruz, México. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana.

Sistema Nacional de Información Municipal (SNIM). 2017. Cuadernillos municipales. Subsecretaría de planeación. Tuxpan. 11 pp.

Snedaker, S. C. 1978. Mangroves: heir value and perpetuation. Nature Resource. UNESCO. 14:6-13.

Spalding, M., Kainuma, M. y Collins, L. 2010. World atlas of mangroves. United Kingdom: Earthscan. 319 pp.

Tovilla-Hernández, C., Orihuela-Belmonte, D. E. y Salas-Roblero, R. L. 2009. Estructura, composición, regeneración y extracción de madera de los bosques de manglar. Citado en: Espinoza-Avalos, J., Islebe, G. A., Hernández-Arana, H. A editores. El sistema ecológico de la bahía de Chetumal/Corozal: costa occidental de Mar Caribe. México: ECOSURA. 45-60.

Twilley, R. y DAY, J. 1999. The productivity and nutrient cycling of mangrove ecosystem. En Grimaldi, C. S. 2012. Productividad primaria y retorno de nutrientes al ecosistema de manglar de las islas colindantes al canal El Zapatero, área natural



protegida barra de Santiago, departamento de Ahuachapán. Tesis de Licenciatura. Universidad de EL Salvador. El Salvador.

Valdez-Hernández, J. I. 2004. Manejo forestal de un manglar al sur de Marismas Nacionales, Nayarit. *Madera y Bosques* Número especial 2:93-104.

Valle-Estrada, A. G. 2007. Estructura del bosque de manglar y algunos aspectos sobre la fauna asociada a las raíces de *Rhizophora mangle* (L., 1773) en la Ciénaga de Cholón, Isla Barú, municipio de Cartagena, Caribe colombiano. Tesis de Licenciatura. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia.

Varela-Hernández, S. 2010. Manejo sustentable de los recursos forestales. *Derecho ambiental y ecología* 6 (36) 51-56.

Véliz-Rodríguez, J. L. 2009. Diversidad y estructura de los manglares de Tecomán, Colima, México. Tesis para obtener el título de Ingeniero Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Navarro.

Villalobos, R., Justavino, J., Enríquez, D., González, A., Sáez, M., Mendoza, H., Ruíz, O. y Goti, I. 1996. Evaluación premilitar de la producción de hojarasca en las Áreas de Chame, Azuero y Chiriquí. INRENARE Panamá. 31 pp.

Yáñez-Arancibia, A., Twilley, R. y Domínguez, L. A. 1998. Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático. *Madera y Bosques* 4(2): 3-19.

Zaldívar-Jiménez, A., Herrera-Silveira, J., Coronado-Molina, C. y Alonzo-Parra, D. 2004. Estructura y productividad de los manglares en la reserva de biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. *Madera y Bosques* 10(2): 25-35.

Zuluaga-Zuluaga, L. y Castro-Escobar, E. S. 2018. Valoración de servicios ambientales por captura de CO<sub>2</sub> en un ecosistema de bosque seco tropical en el municipio de El Carmen de Bolívar, Colombia. *Luna Azul* 47 (1): 1-20

