



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Zona: Poza Rica -Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

Contribución del manglar de Tumulco, Veracruz en la
Reducción de Emisiones por Deforestación y
Degradación (REDD+) por flujo interno y externo de
carbono

TESIS

Que para obtener el título de:
Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

PRESENTA:

Biol. Mar. Diana Ivonne Valencia López

DIRECTOR:

Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz

ASESORA:

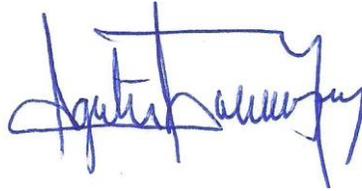
Dra. Celina Naval Ávila

Tuxpan, Veracruz

Mayo, 2021

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, a 09 de noviembre de 2020

El Presente Proyecto titulado “**Contribución del manglar de Tumilco, Veracruz en la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) por flujo interno y externo de carbono**” realizado por la C. **Biol. Mar. Diana Ivonne Valencia López** bajo la Dirección 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:



Agustín de Jesús Basáñez Muñoz

Nombre del Director

DIRECTOR

La presente Tesis titulada "Contribución del manglar de Tumiaco, Veracruz en la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) por flujo interno y externo de carbono", realizado por la C. Biol. Marina Diana Ivonne Valencia López, ha sido aprobada y aceptada para tramitar la presentación del examen de grado de: **MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS.**

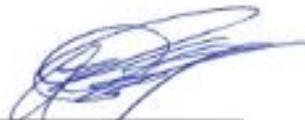
COMISIÓN LECTORA:



Dr. Arturo Serrano Solís
LECTOR



Dr. Fernando A. González Fariás
LECTOR



Dr. Arturo Domínguez Arosemena
LECTOR

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, 10 de febrero de 2021

Dedicatoria

El ingenuo frenesí, las expectativas y todos los efectos que surgen al pensar en un posgrado aportan emociones a tu formación profesional, sin pensar que en el camino conocerás la fortaleza, dedicación y perseverancia que integran a ese profesionista.

Diana Ivonne Valencia López

Al creador universal.

A mi familia.

A mis amigos y maestros.

AGRADECIMIENTOS

Al Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz

Por la humildad y carisma con la que me ha tratado desde siempre, pero sobre todo por compartir sus conocimientos y gusto por el manglar y animarme a cursar un posgrado para seguir dedicándome a su investigación, como lo ha hecho desde la licenciatura. Risas y experiencias se quedan en el campo, pero sobre todo en el corazón, muchas gracias por el bonito vínculo formado y por sus consejos acertados que ayudaron a concluir este trabajo.

Mi comisión lectora:

Al Dr. Arturo Serrano Solís, Dr. Arturo Dominici Arosemena y Dr. Fernando Antonio González Farías, gracias por la aportación de sus experiencias y conocimientos, pero sobre todo por mostrar la mejor disposición y actitud para lograr sacar adelante este trabajo.

Por el apoyo concedido:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado una beca y así poder sacar adelante mis estudios de posgrado. Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), en especial a la Mtra. Martha y a la Dra. Julia Prince, por haberme abierto las puertas de sus laboratorios.

Por su amistad y apoyo incondicional

Por acompañarme de nuevo en esta travesía que implica adentrarse a un manglar en días soleados y lluviosos, pero siempre demostrando la mejor disposición y actitud, gracias por siempre estar al pie del cañón, Rubí, David, Edmundo y todos aquellos que se sumaron más de una vez a los muestreos este trabajo: Diana, Pedro, Gil, Nancy, Carlo, Jorge, Brianda, Sergio, Manuel. Gracias amigos. Siempre la mejor vibra.

ÍNDICE

Pág.

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN	6
II. ANTECEDENTES	9
2.1. Producción de carbono por caída de hojarasca	9
2.2. Producción de carbono por pérdida de materia orgánica ..	11
2.3. Exportación de materia orgánica, COD y CID	13
III. OBJETIVOS	15
3.1. Objetivo general	15
3.2. Objetivos particulares	15
IV. ÁREA DE ESTUDIO	16
V. MATERIAL Y MÉTODOS	19
5.1. Flujo interno de carbono por caída de hojarasca	19
5.2. Flujo interno de carbono con base a la pérdida de materia orgánica	20
5.3. Flujo externo: Carbono Orgánico Disuelto (COD) y Carbono Inorgánico Disuelto (CID) exportado de los canales	22
5.4. Flujo externo: materia orgánica particulada	23
VI. RESULTADOS	25
6.1. Producción de hojarasca	25
6.2. Flujo interno de carbono por caída de hojarasca	27

6.3. Flujo interno de carbono con base a la pérdida de materia orgánica.	31
6.4. Carbono orgánico disuelto (COD) y carbono inorgánico disuelto (CID) estacional de los dos canales	34
6.5. Materia orgánica particulada	37
VII.DISCUSIÓN	41
7.1. Flujo interno de carbono por caída de hojarasca	41
7.2. Flujo interno de carbono con base a la pérdida de materia orgánica.	43
7.3. Carbono orgánico disuelto (COD) y carbono inorgánico disuelto (CID) estacional	46
7.4. Materia orgánica particulada	47
VIII. CONCLUSIÓN	49
IX. APLICACIÓN PRÁCTICA	52
X. BIBLIOGRAFÍA	55

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Área de estudio del bosque de manglar de Tumulco.	16
Figura 2. Ubicación de los canales dentro del manglar de Tumulco....	18
Figura 3. Esquema de la posición de los puntos de muestreo para las trampas de hojarasca y las bolsas de descomposición (Litter bags), en los dos canales del manglar del estero de Tumulco.	22
Figura 4. Precipitación de diciembre 2018 a octubre 2019.	26
Figura 5. Caída de hojarasca del canal 1 y canal 2 de diciembre del 2018 a noviembre del 2019.	26
Figura 6. Peso seco (g) de caída de hojarasca de los canales 1 (sur) y 2 (norte) en el manglar de Tumulco, Tuxpan, Veracruz.....	27
Figura 7. Caída de hojarasca del canal 1, respecto a la ubicación de las canastas en el bosque.....	28
Figura 8. Caída de hojarasca del canal 2, respecto a la ubicación de las canastas en el bosque.....	29
Figura 9. Carbono por caída de hojarasca en los meses muestreados con relación a los canales 1 y 2 en el manglar de Tumulco.	30
Figura 10. Degradación de hojarasca en el canal 1 respecto a la ubicación de las bolsas (litter bags).....	31

Figura 11. Degradación de hojarasca en el canal 2 respecto a la ubicación de las bolsas (litter bags).....	32
Figura 12. Degradación de hojarasca en los meses muestreados con relación a los canales 1 y 2 en el manglar de Tumilco.....	34
Figura 13. Concentraciones de COD y CID del canal 1.	36
Figura 14. Concentraciones de COD y CID del canal 2	36
Figura 15. Materia orgánica particulada exportada por ciclo de marea de los dos canales al estero de Tumilco.....	38
Figura 16. Materia orgánica particulada exportada por ciclo de marea de los dos canales al estero de Tumilco.....	38
Figura 17. MOP exportada de los canales 1 y 2 del manglar al estero de Tumilco.....	39
Figura 18. Materia orgánica exportada al mes del canal 1 y 2.....	40

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Concentraciones de COD y CID de los dos canales.....	35
Cuadro 2. Materia orgánica particulada por ciclo de marea al mes (g/m ³ /ciclo de mareas) de los canales 1 y 2.....	37
Cuadro 3. Materia orgánica particulada exportada al mes (t peso seco/mes de MOP)	39

Contribución del manglar de Tumulco, Veracruz en la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) por flujo interno y externo de carbono

Diana Ivonne Valencia López

RESUMEN

Los sistemas de manglar brindan múltiples servicios ambientales, así mismo, juegan un papel importante en el ciclo del carbono y tienen su interés en la mitigación del cambio climático. Para conocer la contribución que pudiesen tener en estrategias como la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) se cuantificaron los flujos internos y externos de carbono dentro de dos canales internos del manglar de Tumulco. Se estableció un cuadrante de 10 x 100m en las orillas de cada canal y se colocaron a los 0, 10, 30, 70, 85 y 100 m trampas y bolsas de hojarasca, que sirvieron para cuantificar el flujo interno respecto a la caída de hojarasca y la pérdida de materia orgánica. En los meses de junio y octubre del 2019 y febrero del 2020 se tomaron muestras de agua y se enviaron al IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) para determinar el COD y CID. Se colocó cada mes, de junio del 2019 a febrero del 2020, una red durante las mareas bajas para tomar muestras de agua y determinar la materia orgánica particulada, estos últimos para estimar el flujo externo. La producción anual de hojarasca fue de 20.69 Mg de Peso Seco $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, equivalente a 9.1 Mg C $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$. Se obtuvo una pérdida de MO del 95%, con una rápida disminución los primeros tres meses. El COD y CID obtuvieron alta concentración en temporadas de baja precipitación. La MOP reportó en temporadas de alta precipitación la menor exportación con un valor de 8069.6 toneladas de peso seco durante todo el tiempo de muestreo. Es así que el manglar de Tumulco destaca el beneficio funcional como exportador de carbono.

Palabras claves: flujos internos, flujos externos, Tumulco, exportación de carbono, hojarasca.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas estuarinos son los ecosistemas costeros más importantes, en ellos ocurre el mayor intercambio de Materia Orgánica (MO) entre el continente y las zonas marinas adyacentes, por ejemplo, a los arrecifes coralinos (McCallisters *et al.*, 2006). En zonas tropicales y subtropicales, estos ecosistemas se encuentran dominados en gran parte por el ecosistema de manglar (Orihuela *et al.*, 2004).

Al igual que otros ecosistemas, los manglares son reconocidos por almacenar y hacer fluir diversos elementos, entre los principales se encuentra el carbono (C), el cual presenta una gran importancia e interés por la relación con los gases de efecto invernadero (Herrera *et al.*, 2016). Además, los manglares son los sumideros de carbono más eficientes del mundo (Sasmito *et al.*, 2016) en comparación con otros bosques tropicales, ya que almacenan más C por unidad de superficie (Matthew *et al.*, 2016). Representan aproximadamente el 1% de captura de carbono por parte de los bosques del mundo, pero como hábitats costeros representan el 14% de la captura global de carbono por el océano (Alongi, 2014).

Desde esta perspectiva, los manglares tienen un papel destacable en el ciclo del carbono, ya que tienen la capacidad de almacenar Carbono orgánico (Corg) en los sedimentos y hacer fluir el Corg disuelto y particulado (Herrera *et al.*, 2016). La caída

y descomposición de hojarasca, la exportación e importación de carbono orgánico e inorgánico particulado y carbono orgánico disuelto a consecuencia de la hidrología (fuente de agua, hidropériodo, dirección y velocidad de flujos de agua) son los flujos más comunes que se llevan a cabo en este medio (Dittmar *et al.*, 2001).

Los flujos o tasas son la transferencia de masa y energía en un tiempo y espacio determinado. Los flujos se pueden clasificar en internos (entre los reservorios del ecosistema) y externos, (entre el ecosistema y otro ecosistema, el océano o la atmósfera) (Alongi y Mukhopadhyay, 2015).

Los principales flujos internos son: a) la hojarasca, en la cual las hojas, flores, ramas y propágulos son integradas al suelo del manglar; b) la descomposición del mantillo, que se refiere a cuando la hojarasca es descompuesta sobre el suelo forestal; y, por último, c) la integración de las raíces muertas al carbono del suelo (Rivera *et al.*, 2013).

Los flujos externos, bajo la influencia de la marea, redistribuyen la hojarasca del manglar constantemente debido a la circulación que causa, en las zonas estuarinas, la unión del océano y los ríos. Esta área de confluencia se caracteriza por tener mareas intensas, gran turbulencia y batimetría heterogénea. (MacCready y Geyer, 2010).

En este contexto, debido al destacable papel de los manglares en el ciclo de carbono, el conocimiento de los flujos internos y externos del carbono contribuyen como línea base para futuros trabajos de monitoreo en el área, ya que, para estimar la contribución de los manglares, a escala local, regional y de país, en estrategias como la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+), es indispensable determinar los almacenes de carbono orgánico (Corg) como línea base de emisiones (Herrera *et al.*, 2016).

Todas estas características convierten a los manglares en grandes exportadores de carbono, influyendo en gran medida en la vida de otros organismos, así también, por los servicios ambientales que presta en la sociedad en general. Por lo que esta función se debe considerar en la toma de decisiones y reconocer como parte del interés de conservación mundial (De la Peña *et al.*, 2010).

En este contexto, el presente estudio cuantificó los flujos de carbono internos y externos ($\text{Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) tomando de referencia dos canales internos del manglar que desembocan en el estero de Tumilco, este a su vez, al río Tuxpan y por esta vía, a la zona estuarina y a mar abierto, estableciendo como hipótesis que, se presenta un mayor aporte en la concentración de los flujos en los meses con mayor precipitación, en virtud de que el flujo de entrada y salida de agua superficial se relaciona con la temporada de lluvias y su relación con las escorrentías del río.

II. ANTECEDENTES

La reducción de las emisiones por deforestación y la degradación de los bosques (REDD+), además de la gestión sostenible de los mismos y de la conservación y mejora de las reservas de carbono, constituye una parte fundamental de los esfuerzos globales por mitigar el cambio climático. En México, REDD+ es un conjunto de líneas estratégicas que promueven acciones de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI), promoviendo un “Desarrollo Rural Sustentable” (DRS) bajo en carbono (CONAFOR, 2017).

México se ubica en el onceavo lugar a nivel global en la emisión de CO₂ (CDIAC, 2019), razón por la cual es necesario poner en contexto la relevancia de los flujos de C de los manglares en México y su potencial para estar considerado en el pago de servicios ambientales y en los esquemas del programa REDD+, pues en comparación con otros tipos de bosques, en México, el ecosistema de manglar almacena casi 6 veces más Corg, demostrando el potencial que tiene este ecosistema para formar parte de este tipos de programas (Herrera *et al.*, 2016).

2.1. Producción de carbono por caída de hojarasca

Los ecosistemas de manglar son sitios donde se lleva a cabo una intensa producción de materia orgánica, por lo que tienen un alto potencial de impacto en el

presupuesto global de carbono (Dittmar *et al.*, 2006; Herrera, 2016), contribuyendo significativamente en los ciclos biogeoquímicos mediante el almacenamiento, transformación y exportación de materia orgánica.

La productividad de un manglar depende de varias características propias del ecosistema (Grimaldi, 2012; Ribeiro *et al.*, 2019). La producción de hojarasca en los manglares es constante durante todo el año, mas no la cantidad, pues varios factores físicos o químicos pueden influir como son la radiación solar, la temperatura, el tipo de suelo, la fuerza del viento, el grado de inundación de las mareas, la concentración de nutrientes, la concentración de oxígeno y el pH (Jennerjahn *et al.*, 2017). Uno de los factores que probablemente aumenten la producción de hojarasca son los acontecimientos de tormentas, que intervienen en la defoliación y la sustitución acelerada por hojas nuevas, esto también se ha observado en el Mar Caribe (Danielson *et al.*, 2017).

En investigaciones realizadas en manglares de Colombia, Brasil y Venezuela se han reportado que los valores más elevados de producción de hojarasca se presentaron en temporada de lluvias (García-Hansen *et al.*, 2002; Bernini y Rezende, 2010; Querales *et al.*, 2011; Torres *et al.*, 2018).

En México, en la zona del Pacífico Sur y en los manglares de tipo ribereño se han observado los valores más altos (Herrera *et al.*, 2016). En un manglar de la costa de Chiapas, Orihuela *et al.*, 2004, evaluaron el flujo de la materia donde se determinó una producción de hojarasca de 13.7 Mg ha⁻¹, lo equivalente a 7.59 Mg C ha⁻¹ y se determinó que el sistema exporta 4,822.2 Mg C año⁻¹, valores que fueron comparados con los manglares más productivos a nivel ecuatorial.

La medición de la caída de hojarasca es de gran importancia en el cálculo de la energía y los flujos de nutrientes en estos ecosistemas (Mohamed *et al.*, 2008; Srisunont *et al.*, 2017). La hojarasca es un componente pequeño de reserva de carbono de los manglares que concentra el 38% y 49%. Se recomienda medir el carbono en hojarasca utilizando un factor de conversión de 0.45 propuesto por Kauffman *et al.*, 2013 (IPCC, 2003), pues es un factor de conversión que puede ser compatible con diferentes tipos de manglar.

2.2. Producción de carbono por pérdida de materia orgánica

La degradación de la hojarasca está en función de la situación del suelo, cuando estas caen, generalmente la degradación es rápida cuando el suelo está inundado, es así como la marea también influye en este proceso con el arrastre al igual que las épocas de lluvia que desencadenan un proceso de degradación rápido. Sin embargo, el efecto de la marea sobre la degradación depende del tipo de bosque de manglar (Orihuela *et al.*, 2004; Kamruzzaman *et al.*, 2019).

El proceso de degradación se inicia con el lixiviado de la hojarasca, a través del cual se extraen los compuestos solubles, seguido del ataque y colonización de bacterias y hongos acuáticos, también existe un fraccionamiento biológico, ocasionado por la corriente del agua y por invertebrados detritívoros (Loría, 2018).

En la zona del Caribe colombiano, en San Andrés isla, Rozo y colaboradores (2009) llevaron a cabo un estudio de degradación de hojarasca de manglar y evaluaron factores físico-químicos que influyen sobre la descomposición de la materia orgánica vegetal, registrando la mayor pérdida de biomasa en las tres primeras semanas del experimento. Así mismo, señalan que los principales factores que influyen sobre la descomposición de la hojarasca son especie, sustrato y tiempo.

En el Pacífico Norte, en un manglar asociado a una laguna costera, Flores *et al.*, 1987, evaluaron la estructura, productividad, descomposición y la dinámica del detritus, utilizando bolsas para la degradación de la hojarasca y obtuvieron una degradación más rápida en las bolsas que estuvieron en contacto directo con el agua que las que se pusieron en zonas secas.

Los protocolos internacionales recomiendan no estimar el carbono contenido en el “mantillo” (principalmente hojas que tienden a acumularse entre las raíces, transformándose luego en detrito) ya que su aporte al carbono total es alrededor del

0.02%, en caso de ser medidos, convertir biomasa a carbono multiplicando por un factor de 0.5 (IPCC, 2003).

2.3. Exportación de materia orgánica, COD y CID

Los ecosistemas de manglar exportan a lo largo del año, diferentes cantidades de detritus hacia la zona marina (Orihuela *et al.*, 2004). La cantidad de materia orgánica que exportan los manglares va a depender de las tasas de descomposición y degradación de la hojarasca, que también se encuentran reguladas por la profundidad y frecuencia de inundación de las mareas, así como por las condiciones ambientales que se presenten (Ashton *et al.*, 1999). En la actualidad, un considerable esfuerzo de investigación se ha dirigido a estudiar el flujo horizontal de carbono orgánico en manglares (Ohtsuka *et al.*, 2020).

La materia orgánica derivada de las plantas de mangle y su posterior degradación son la fuente principal de carbono orgánico disuelto y de carbono inorgánico disuelto, esto está relacionado con la erosión de los suelos, es por ello que los manglares se identifican como una fuente importante de carbono con exportaciones de $7.3 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Ray *et al.*, 2018).

En la región de la Península de Yucatán, Herrera y Camacho en el 2015 evaluaron la dinámica de hojarasca y el intercambio de Carbono Orgánico Disuelto (COD)

entre el manglar y la laguna costera, en donde la caída de hojarasca en el manglar de la zona oligohalina varió de 6.19 a 4.64 Mg C ha⁻¹ año⁻¹, mientras que en la zona marina fluctuó de 4.91 a 3.51 Mg C ha⁻¹ año⁻¹, encontrando diferencias estacionales en el intercambio de COD entre el manglar y la laguna durante los ciclos de marea.

Si bien existen pocos estudios de almacenes de Corg en los manglares de México, lo son aún más los que se relacionan con flujos. Las investigaciones sobre la dinámica de hojarasca (caída, descomposición y exportación) permitirán entender el papel que estos ecosistemas juegan en la productividad de ecosistemas costeros vecinos y el grado de conectividad que tienen con ellos (Herrera y Camacho, 2015).

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Determinar la contribución del manglar de Tumulco, Veracruz en la reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD+) a través de la dinámica de los flujos internos y externos de carbono.

3.2. Objetivos particulares

- Cuantificar la caída de hojarasca y su descomposición como indicador de la reserva de carbono por flujo interno en el manglar de Tumulco, Veracruz.
- Estimar el carbono orgánico disuelto y carbono inorgánico disuelto entre el manglar y el estero de Tumulco como indicador del flujo externo (horizontal) y aporte a cuerpos de agua en Tumulco, Veracruz.
- Establecer la cantidad de detritus exportado al estero de Tumulco como fuente de nutrientes en forma de partículas a cuerpos de agua.

IV. ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se llevó a cabo en el manglar asociado al estero de Tumilco, perteneciente al Sitio Ramsar No. 1602 "Manglares y humedales de Tuxpan", se encuentra entre las coordenadas: N 20° 55.707' y W 97°20.262'. El ejido Cerro de Tumilco es poseedor de más de 150 ha de manglar, que está asociado a las zonas de inundación del estero de Tumilco (Basáñez *et al.*, 2006).

Las principales especies de mangle encontrados en el sistema estuarino "Estero de Tumilco" son las siguientes; *R. mangle* (mangle rojo), *L. racemosa* (mangle blanco) y *A. germinans* (mangle negro) (INEGI, 2001).

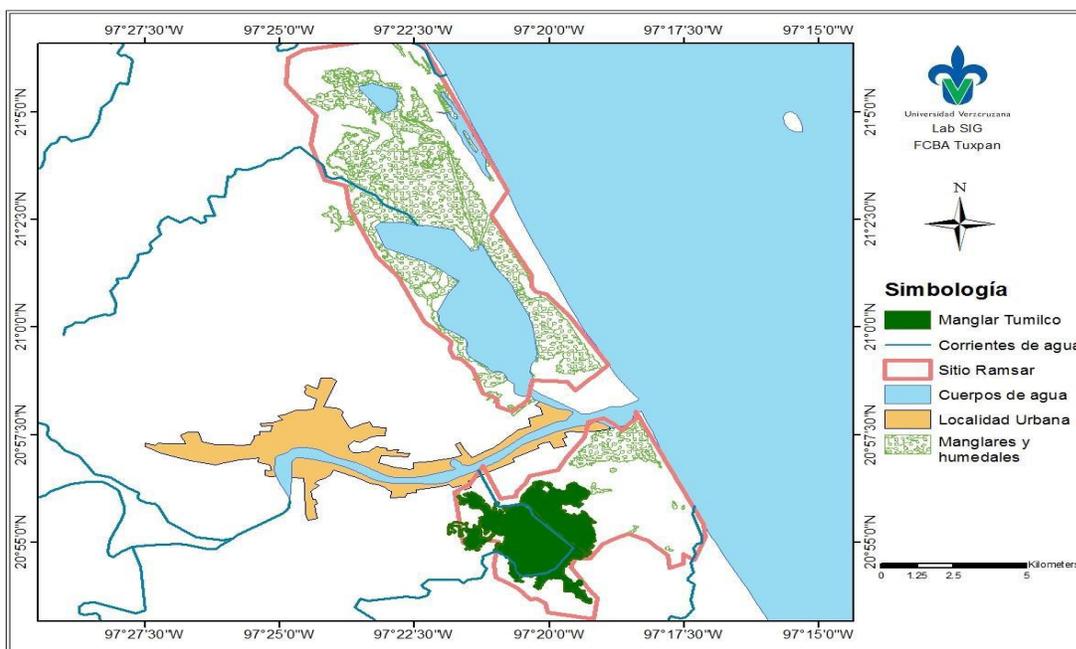


Figura 1. Área de estudio del bosque de manglar de Tumilco.

El área de estudio (Figura 1) recibe aguas del río Tuxpan, éste pertenece a la región hidrológica 27 Tuxpan-Nautla. La región hidrológica se ubica en el centro de la vertiente del golfo de México, tiene una superficie de 27,461 km² y su escurrimiento medio anual es de 14,193 x 10⁶ m³ (Basáñez *et al.*, 2006).

Los suelos en el municipio de Tuxpan son de tipo regosol (41.64%), vertisol (22.59%), Clacisol (19.67%), Cambisol (5.94%), Solonchak (4.99%) y Phaeozem (0.13%) (Fig. 4). Los suelos del área de manglar son preferentemente de tipo Regosol y se caracterizan por no presentar capas distintas, en general son de tono claro, también se encuentran en las playas y dunas. Las condiciones edáficas donde se desarrollan las especies de mangle corresponden a suelos profundos con elevada composición arcillosa, compacta y con poca aireación. Estos están formados por deposición de arcilla, limo, materia orgánica y fracciones de arena de mar (SEMARNAT-CONABIO, 2019).

La precipitación anual se reporta de 1,400 a 160 mm (Gobierno del estado de Veracruz, 2019). El tipo de clima, A(w2) corresponde al cálido subhúmedo con lluvias en verano y es el más húmedo de los cálidos subhúmedos. La temperatura media anual en el municipio de Tuxpan es de 24.6 °C, aunque se dan temperaturas extremas por cortos períodos de tiempo ya que se pueden presentar temperaturas altas de hasta 43.4°C por hasta 5 días en el mes de mayo y bajas de hasta 11.0°C por 4 días en diciembre (SEMARNAT-CONABIO, 2019).

El manglar asociado al estero de Tumilco, presenta dos canales que sirven de entrada y salida del agua. Los canales que se encuentran en este manglar cuentan con un ancho y una profundidad de 7.60 m y 1.13 m, respectivamente para el canal más cercano al río Tuxpan (canal uno) y 5 m de ancho por 1.26 m de profundidad, para el canal más alejado (canal dos), presentando pequeños cambios de nivel en los meses con mayor precipitación (Figura 2).

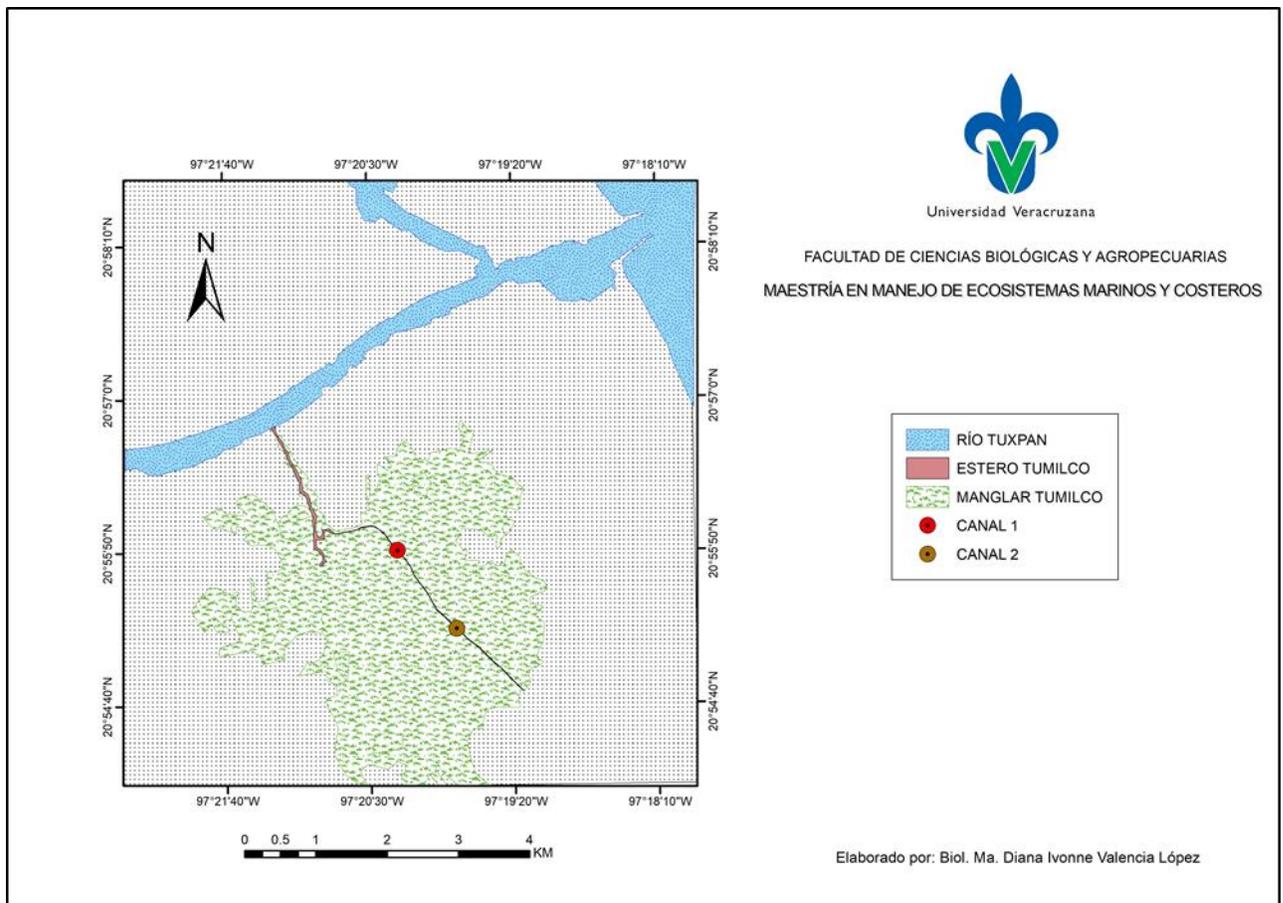


Figura 2. Ubicación de los canales dentro del manglar de Tumilco.

V. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Flujo interno de carbono por caída de hojarasca

La cuantificación de la caída de hojarasca en el manglar de Tumilco se realizó mensualmente a partir de diciembre del 2018 hasta noviembre del 2019, en los canales o flujos de agua hacia el estero de Tumilco. En cada una de las orillas de los dos canales, se estableció, en paralelo, un cuadrante de 10 x 100 m, dentro de estos se colocaron seis trampas de hojarasca de 0.5 m x 0.5 m, construidas con malla de nylon de 1 mm x 1 mm, las trampas fueron colocadas en árboles cercanos al canal a los 0, 10, 30, 70, 85 y 100 m de la orilla del estero. En total se tuvieron cuatro sitios de muestreo (Figura 3). El material colectado se colocó en bolsas debidamente etiquetadas, llevado al laboratorio y pesado en húmedo, para posteriormente secarlo durante 72 horas a 60 °C (Cintrón y Schaeffer, 1981). Los resultados se presentan como Megagramos de peso seco/ha/año (Mg PS ha⁻¹ año⁻¹) y para determinar el flujo de carbono, se transformaron a gramos de carbono usando el factor de conversión de 0.45 de C (IPCC, 2003) propuesto por Kauffman *et al.*, (2013).

Se utilizó la prueba paramétrica de Análisis de Varianza (ANOVA) de dos vías para determinar la existencia de diferencias significativas de flujo de carbono producido entre los dos canales y la comparación por meses, con un nivel de confianza de 95% ($p < 0.05$). El software utilizado para el análisis fue Past 3.10.

5.2. Flujo interno de carbono con base a la pérdida de materia orgánica

Para evaluar las tasas de pérdida de materia orgánica de la hojarasca dentro del bosque de manglar se siguió la técnica de bolsas de hojarasca (*litter bags*) propuesta por Wieder y Lang (1982) y Twilley *et al.*, (1985). Mackey y Smail (1996) proponen que el llenado de las bolsas se debe realizar con hojas amarillas senescentes, mismas que se obtuvieron del área de estudio y fueron secadas al aire durante 20 días. Estas bolsas se colocaron en sitios próximos a los canales durante un año a partir del mes de diciembre de 2018, con una colecta inicial en el mes de enero y una colecta final en el mes de diciembre del 2019.

Las bolsas de descomposición de hojarasca fueron elaboradas con malla de nylon de 1 x 1 mm de malla y un tamaño de 20 x 20 cm, éstas se llenaron con 10 g de las hojas de mangle; se tuvo una bolsa testigo a la cual se le determinó la cantidad de carbono inicial mediante el secado a 60°C por 90 horas (Orihuela *et al.*, 2004). Cada bolsa representó una Unidad Experimental (UE).

Se instalaron 360 bolsas de hojarasca, 90 para cada uno de los cuatro sitios. En cada sitio se colocó una serie de 15 bolsas a los 0, 10, 30, 70, 85 y 100 m paralelos al cuerpo de agua, su colocación fue del interior del bosque a la orilla de los canales (Figura 3). Se colectó mensualmente una bolsa de cada una de las series, se llevaron al laboratorio, se enjuagaron con agua fresca para retirar el exceso de

sedimento y los microorganismos que se encontraban adheridos a la hojarasca, posteriormente, se pesó en húmedo. Por último, el material fue secado a 60°C durante aproximadamente 90 horas (Orihuela *et al.*, 2004). Se cuantificó el cambio del peso de las UE en el tiempo (12 meses) y se convirtió a C empleando el factor 0.5, según lineamientos técnicos descritos por la IPCC, según Rüginitz *et al.*, (2009).

Los datos obtenidos fueron analizados con el programa de análisis estadístico Past 3.10 con una prueba ANOVA de dos vías para comprobar si existen diferencias significativas de flujo de carbono por pérdida de MO entre los meses de muestreo y entre el canal 1 y canal 2, con un nivel de confianza de 95% ($p < 0.05$).

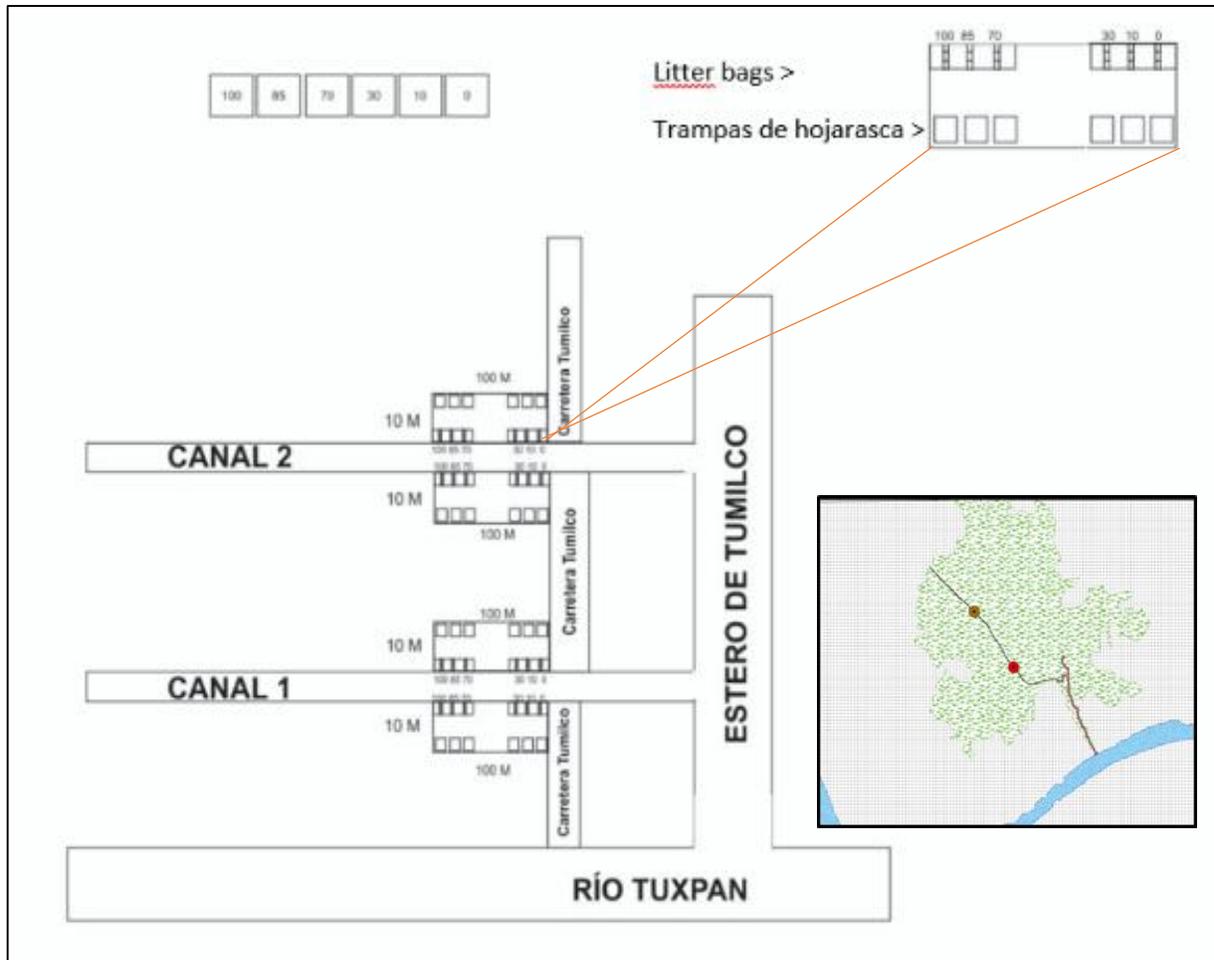


Figura 3. Esquema de la posición de los puntos de muestreo para las trampas de hojarasca y las bolsas de descomposición (Litter bags), en los dos canales del manglar del estero de Tumilco.

5.3. Flujo externo: Carbono Orgánico Disuelto (COD) y Carbono Inorgánico Disuelto (CID) exportado de los canales

Para el análisis de carbono orgánico disuelto (COD) y carbono inorgánico disuelto (CID) se tomaron muestras de agua de ambos canales. Estas pruebas se llevaron a cabo cada cuatro meses, realizando la primera colecta en el mes de junio, la segunda en octubre del 2019 y la última en febrero del 2020.

De cada punto de salida de los canales al estero se obtuvo una muestra de agua con un recipiente de 1 litro de capacidad, con ayuda de una jeringa de 100 ml se llenaron dos frascos ámbar de 250 ml (un frasco por canal), esta agua fue filtrada con un equipo Whatman con membrana de 0.45 μm –47 mm, posteriormente, las dos muestras se preservaron con 2 ml de ácido sulfúrico y fueron debidamente etiquetadas.

Estos dos frascos se depositaron en una hielera para posteriormente ser enviados al Laboratorio de Calidad del Agua en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), en donde se analizaron los parámetros de COD y CID con un Analizador de Carbono Orgánico Total –TOC-L, marca Shimadzu.

5.4. Flujo externo: materia orgánica particulada

Dentro de los dos canales que presenta el manglar hacia el estero de Tumilco, cada mes, de junio de 2019 a febrero de 2020, durante las mareas bajas se colocó por 5.5 horas, una red cónica de 1 m de diámetro y de 1.50 m de largo, con malla de nylon de 1 mm x 1 mm, sujetando al final un frasco de vidrio para la colecta de muestra de agua. Las redes estuvieron sujetas a 90 cm de la superficie con dos postes enterrados colocados en el centro de los canales (Orihuela *et al.*, 2004).

Las redes se sacaron en función al tiempo establecido, colectando el material del frasco de vidrio y depositándolo en botellas de plástico debidamente etiquetadas. Las muestras se transportaron al Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, se filtraron en papel filtro de 150 mm y de los residuos se obtuvo el peso fresco (Orihuela *et al.*, 2004).

Para calcular la cantidad de materia orgánica exportada al mes, se hicieron los cálculos en función del volumen de agua filtrada en la red de malla, se calculó el volumen de agua exportado y se tomó el ciclo de marea baja. Para el cálculo del volumen de agua exportado, se tomó el menor volumen del río Tuxpan, los segundos que tiene una hora y la duración del ciclo de marea baja (5.5 horas), teniendo de referencia los cálculos de Orihuela *et al.*, (2004).

Los datos obtenidos fueron analizados con el programa de análisis estadístico Past 3.10, con una prueba de U de Mann Whitney para comprobar si existen diferencias significativas de la MOP entre los meses de muestreo y entre el canal 1 y canal 2, con un nivel de confianza de 95% ($p < 0.05$).

VI. RESULTADOS

6.1. Producción de hojarasca

En los sitios de muestreo relacionados con los canales que se encuentran dentro del manglar de Tumilco, se observó variación mensual de producción de hojarasca en peso seco. Los sitios relacionados con el canal 1 fueron los que presentaron la menor producción de hojarasca con 9.79 Mg de Peso Seco $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, registrando la mayor caída en los meses de septiembre a noviembre, los cuales están relacionados con las precipitaciones más altas del año (Figura 4), siendo el mes de septiembre donde se presenta el pico más alto de producción, mientras que, en el mes de enero, se registra la menor producción (Figura 5).

El canal 2 presentó una producción de 10.90 Mg de Peso Seco $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, siendo los meses de octubre y noviembre los de mayor caída de hojarasca y diciembre hasta abril los meses en lo que se encontró el nivel de producción más bajo (Figura 5), coincidiendo con las temporadas en las que se contó con la menor precipitación en la zona (diciembre- abril) (Figura 4).

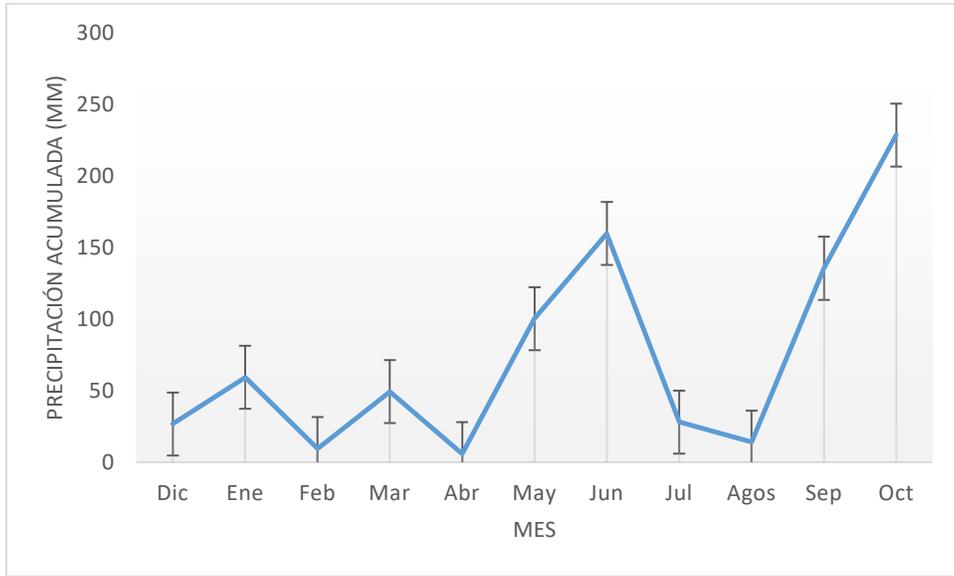


Figura 4. Precipitación de diciembre 2018 a octubre 2019.

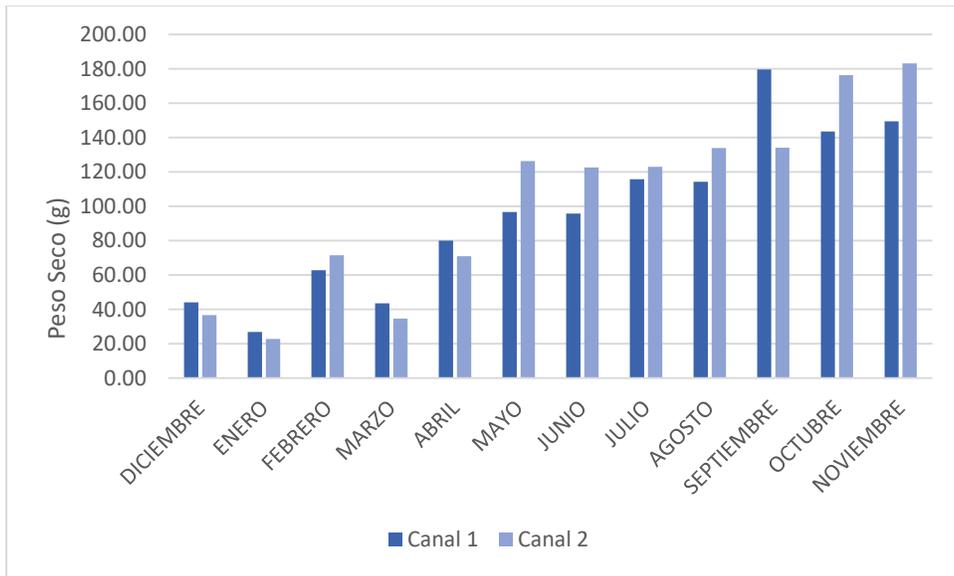


Figura 5. Producción de hojarasca del canal 1 y canal 2 de diciembre del 2018 a noviembre del 2019.

Al realizar la prueba U de Mann-Whitney, se observó que no se presentan diferencias significativas entre los canales ($z = 0.7004$; $p = 0.4836$). Los valores promedio del peso seco de caída de hojarasca están en 23.87 ± 15.23 g para el canal 1 y 25.86 ± 18.16 g en el canal 2 (Figura 6).

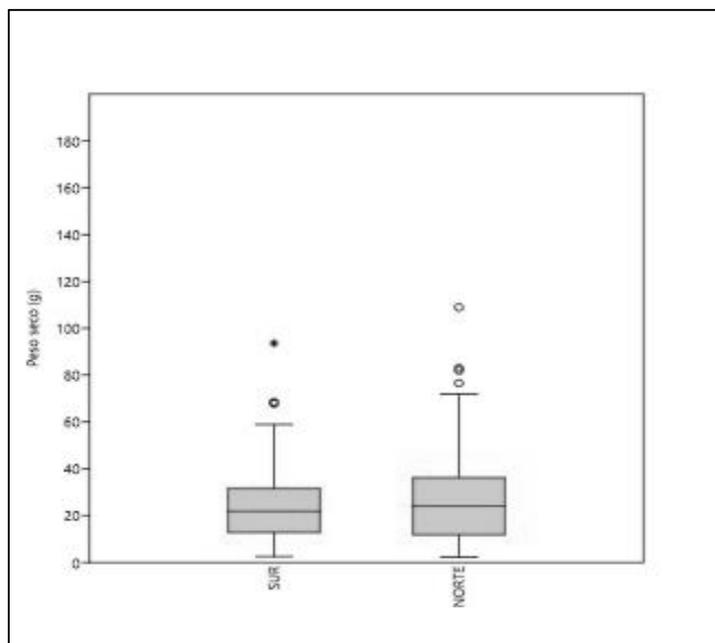


Figura 6. Peso seco (g) de caída de hojarasca de los canales 1 (sur) y 2 (norte) en el manglar de Tumulco, Tuxpan, Veracruz.

6.2. Flujo interno de carbono por caída de hojarasca

La producción de carbono por caída de hojarasca varió entre meses a lo largo de cada canal. En el canal 1, la caída se comportó similar del mes de diciembre a julio y en los meses de agosto a octubre se hizo notorio el aumento de la caída, siendo a los 70, 85 y 100 m en donde se lleva a cabo la mayor caída de hojarasca. En el mes de noviembre las distancias con menor caída fueron a los 30 y 85 m (Figura 7).

Para conocer las diferencias significativas existentes de la producción de carbono por caída de hojarasca en el canal 1 entre los meses muestreados y las distancias se aplicó una prueba paramétrica ANOVA que mostró que no hay diferencias significativas por distancias ($F= 0.4585$, $p= 0.8057$), pero si las hay por mes ($F=16.08$, $p< 0.01$).

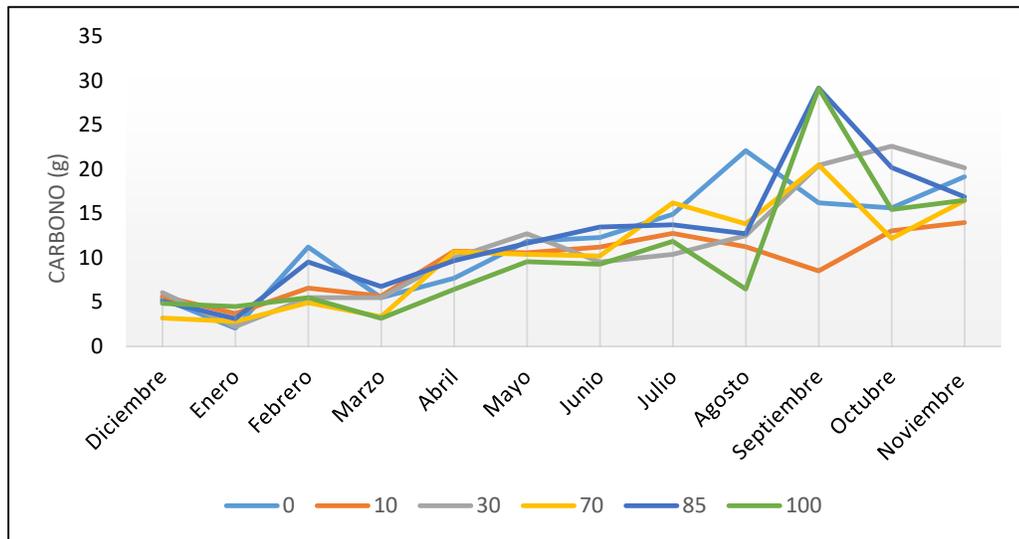


Figura 7. Producción de carbono (g) por caída de hojarasca respecto a las distancias en las que fueron colocadas las canastas en el canal 1, del mes de diciembre del 2018 a noviembre del 2019.

En el canal 2, la producción de carbono por caída de hojarasca fue similar en todas las distancias desde el mes de diciembre hasta el mes de mayo, en junio y julio los valores a los 30 m se vuelven más altos y ocurre un ligero descenso en las demás distancias. A partir de agosto el comportamiento en todas las distancias se registraron de manera variable hasta el mes de noviembre (Figura 8).

Así mismo, al aplicar de nuevo la prueba paramétrica ANOVA, el canal 2 mostró que no hay diferencias significativas en la producción de carbono por caída de hojarasca por distancias ($F= 1.442$, $p= 0.221$), lo contrario a lo que mostró la relación por mes, donde sí se encontraron diferencias significativas ($F=11.24$, $p< 0.01$).

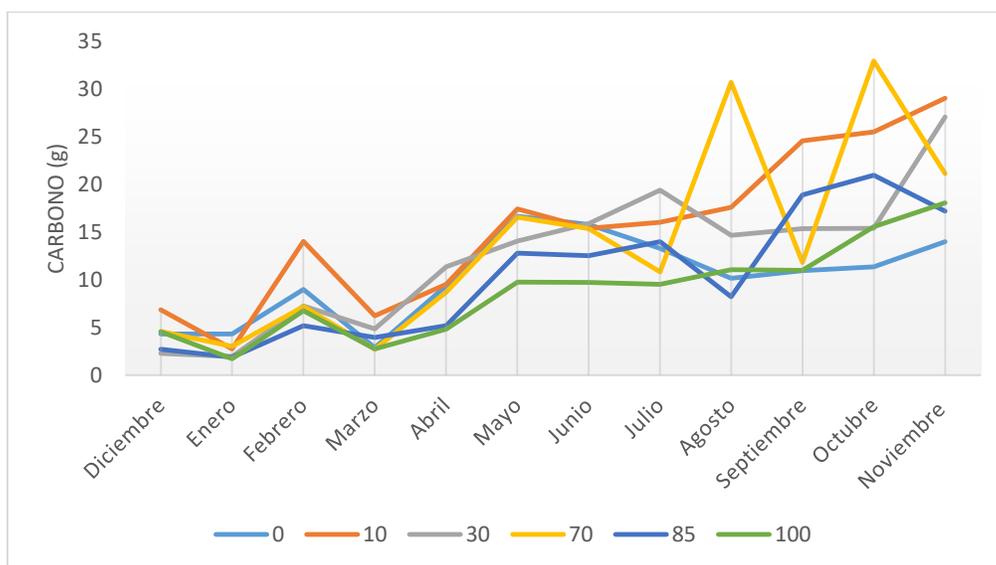


Figura 8. Producción de carbono (g) por caída de hojarasca respecto a las distancias en las que fueron colocadas las canastas en el canal 2, del mes de diciembre del 2018 a noviembre del 2019.

En la Figura 9, se puede observar el comportamiento de la producción de carbono por caída de hojarasca en el canal 1 y 2 del mes de diciembre de 2018 al mes de noviembre de 2019, siendo notoria la relación entre los promedios de peso en gramos durante los meses de diciembre a abril; en el mes de mayo y junio, se observa una separación entre los canales, siendo el canal 2, el que presenta valores más altos, con una producción de carbono de 4.7 Ton C ha⁻¹ año⁻¹, es en julio y

agosto donde los valores vuelven a tener similitudes. Sin embargo, para los últimos meses de muestreo (septiembre, octubre y noviembre) se presenta de nuevo una separación de canales, en donde el canal 1 presenta valores de producción de carbono total por caída de hojarasca de 4.40 Ton C ha⁻¹ año⁻¹.

Para determinar la existencia de diferencias significativas entre los dos sitios (canal 1 y canal 2) y diferencias entre los meses de muestreo se utilizó la Prueba paramétrica ANOVA de dos vías, en la cual se encontró que hay diferencias significativas de producción de carbono por caída de hojarasca al mes ($F = 25.02$, $p < 0.01$), en contraste, no se encontraron diferencias significativas por canal ($F = 4.946$, $p = 0.0269$), ni entre la interacción canal-mes ($F = 1.002$, $p = 0.4452$) (Figura 9).

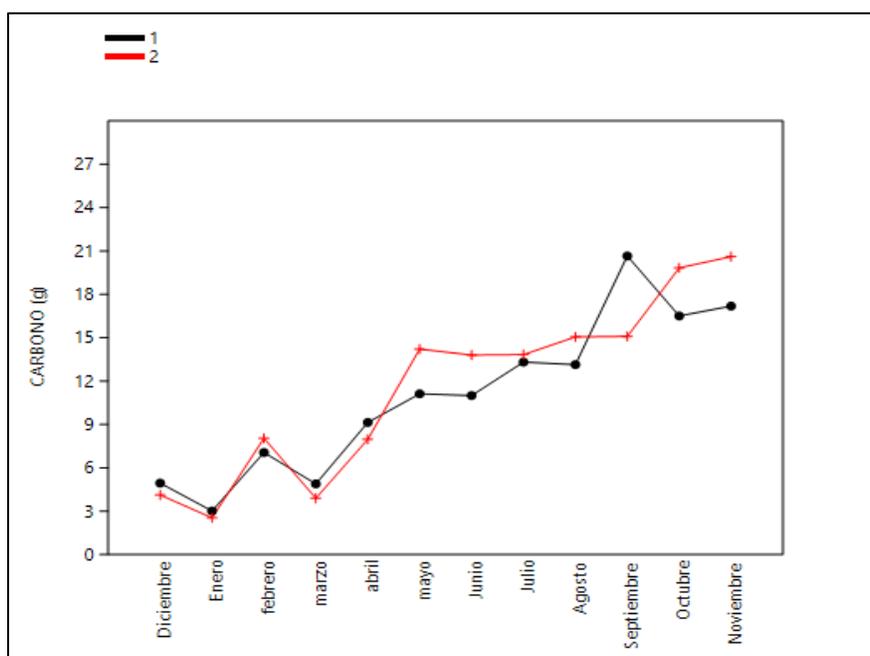


Figura 9. Producción de carbono (g) por caída de hojarasca del canal 1 y canal 2 del mes de diciembre del 2018 al mes de noviembre del 2019.

6.3. Flujo interno de carbono con base a la pérdida de materia orgánica.

En la Figura 10 se observan los valores de la pérdida de la materia orgánica del canal 1 por los meses y distancias en las que fueron colocadas las bolsas de degradación (Litter bags). Desde el mes de enero hasta abril se nota una variación en la pérdida de materia orgánica, pero a partir del mes de mayo los valores comienzan a comportarse constantes y cada vez más a la baja.

Para determinar la existencia de diferencias significativas de la pérdida de materia orgánica en el canal 1 entre las distancias y los meses, se utilizó la prueba paramétrica ANOVA, en la cual no se encontraron diferencias significativas por distancias ($F= 0.4115$, $p= 0.8391$), pero si por mes ($F = 49.67$, $p < 0.01$).

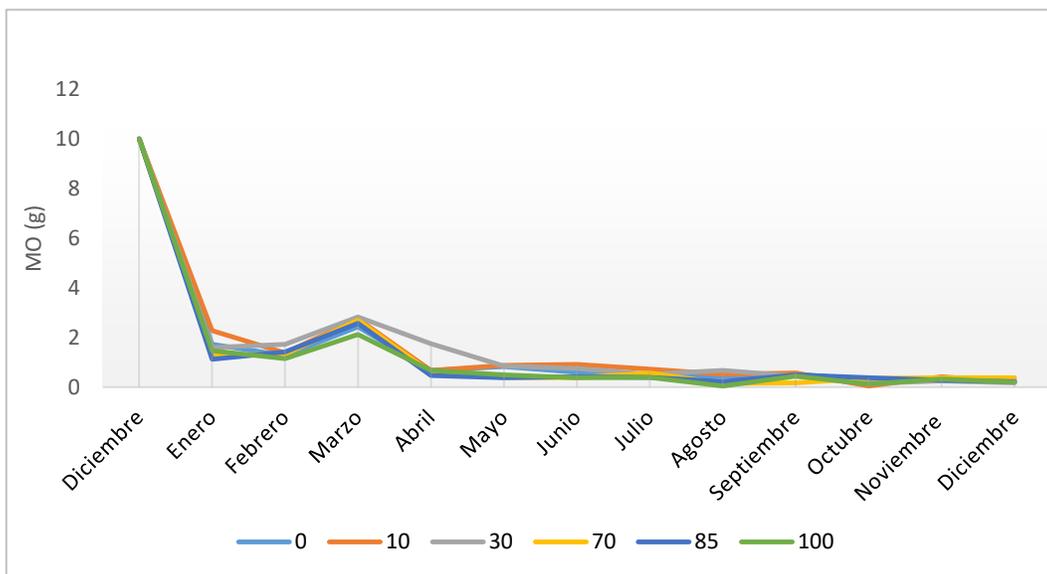


Figura 10. Pérdida de MO respecto a las distancias en las que fueron colocadas las bolsas de degradación en el canal 1, del mes de diciembre del 2018 a diciembre del 2019.

La pérdida de MO en el canal 2 se comportó de manera similar de diciembre del 2018 a diciembre del 2019. Febrero y marzo presentan una elevación ligeramente a los 30 m. De octubre a diciembre del 2019 los promedios entre las distancias muestran una mayor similitud en la pérdida de MO (Figura11).

La prueba ANOVA aplicada para conocer las diferencias significativas de la pérdida de MO de las bolsas (Litter bags) entre las diferentes distancias dentro del canal 2 no muestran diferencias significativas ($F=0.0455$, $p=0.9986$), pero si se encontraron diferencias significativas por mes ($F= 66.7$, $p <0.01$).

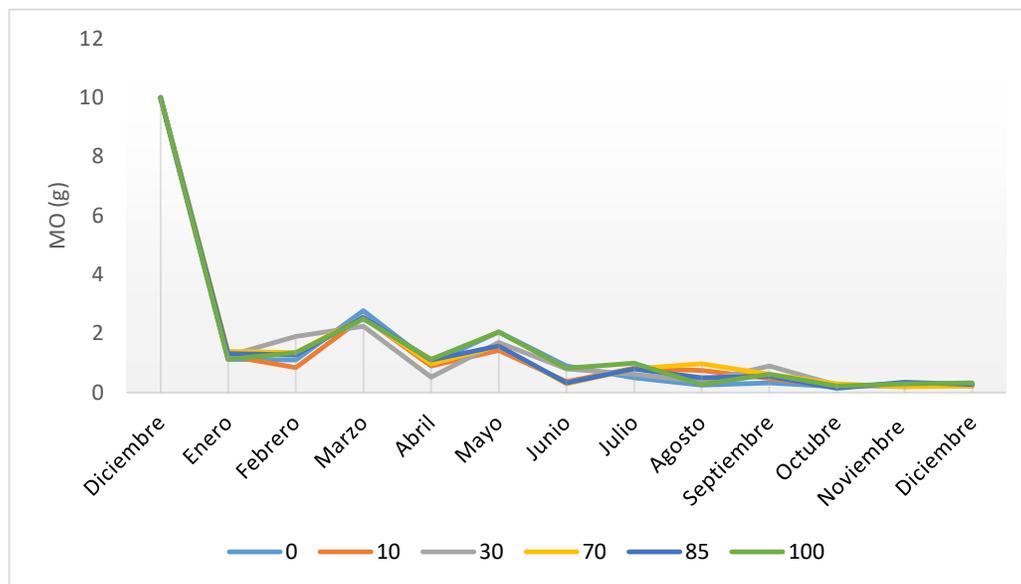


Figura 11. Pérdida de MO respecto a las distancias en las que fueron colocadas las bolsas de degradación en el canal 2, del mes de diciembre del 2018 a diciembre del 2019.

En la Figura 12, se muestra el promedio por canal de la materia orgánica perdida, cabe destacar que los valores de las bolsas del mes de abril del canal 2 presentaron promedios por encima de los valores del mes de enero y febrero, aunque en el mes de mayo se vuelven a ajustar los valores a la baja en la degradación de la hojarasca. Se hace notar que a partir del mes de octubre a diciembre los promedios de degradación fueron similares. Al finalizar el muestreo, las bolsas colocadas en el canal 1 presentaron en promedio 0.48 g de los 10 g iniciales, lo que equivale a una pérdida del 95.2% de MO en el tiempo de estudio. Por su parte, el canal dos registró 0.52 g, lo equivalente al 94.8% de pérdida de MO.

Con la aplicación de la prueba paramétrica ANOVA de dos vías para determinar la existencia de diferencias significativas de la pérdida de MO entre los dos sitios (canal 1 y canal 2) no se encontraron diferencias significativas por canal ($F = 4.946$, $p = 0.0269$) ni entre la interacción canal-mes ($F = 6.957$, $p = 2.55$), pero si por mes ($F = 8.411$, $p < 0.004$).

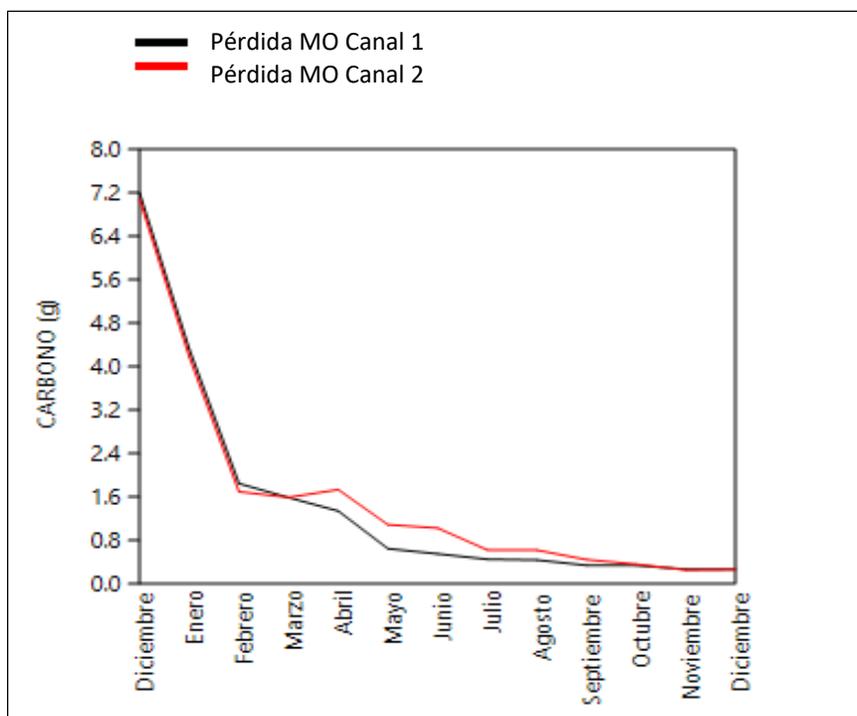


Figura 12. Pérdida de MO de las bolsas de degradación del canal 1 y canal 2, del mes de diciembre del 2018 a diciembre del 2019.

6.4. Carbono orgánico disuelto (COD) y carbono inorgánico disuelto (CID) estacional de los dos canales

Se tomaron muestras para registrar la variación del carbono orgánico disuelto (COD) y el carbono inorgánico disuelto (CID) en los meses de junio y octubre de 2019 y febrero del 2020, los cuales coinciden con los meses de menor y mayor precipitación en la zona. En el cuadro 1 se expresan los valores obtenidos de COD y CID en mg/L, del canal 1 y canal 2, de los meses muestreados.

Cuadro 1. Concentraciones de COD y CID de los dos canales.

CONCENTRACIÓN DE COD (mg/L,)			
	JUN	OCT	FEB
CANAL 1	59.1	5.178	34.17
CANAL 2	42.04	5.833	43.21
CONCENTRACIÓN DE CID (mg/L,)			
CANAL 1	16.66	9.016	17.51
CANAL 2	12.15	16.251	18.06

Se observó que, en el canal 1 (Figura 13) las concentraciones de COD y CID se encuentran en mayor concentración en los meses de junio y febrero, siendo octubre el mes donde se registra la menor concentración. El canal 2 (Figura 14) presentó un comportamiento similar al canal 1 respecto a las concentraciones de COD, que muestran los valores más altos en los meses de junio y febrero y el más bajo en octubre, sin embargo, los valores de CID en el canal 2 marcaron la diferencia en el comportamiento, ya que febrero y octubre fueron los meses con mayor concentración y el mes de junio tuvo los valores más bajos.

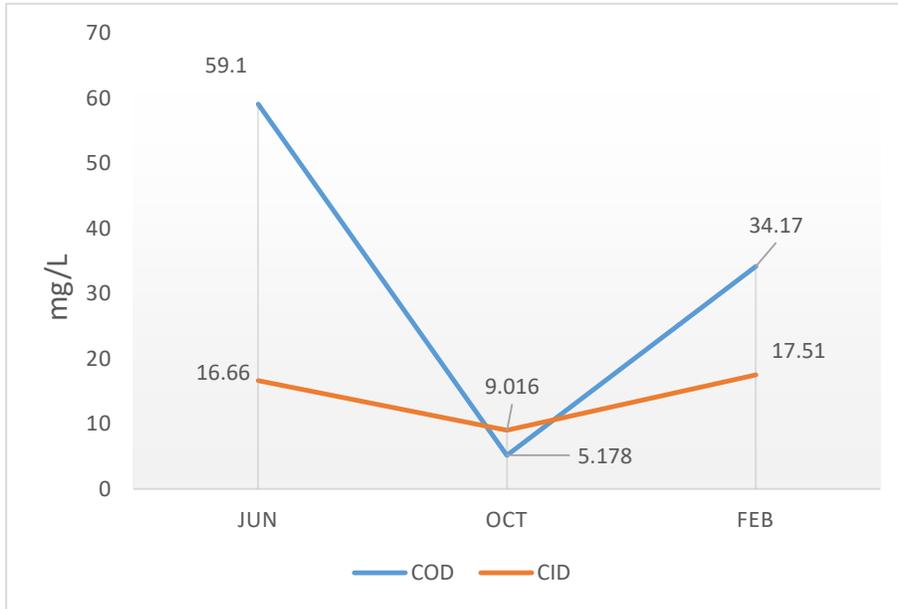


Figura 13. Concentraciones de COD y CID del canal 1.

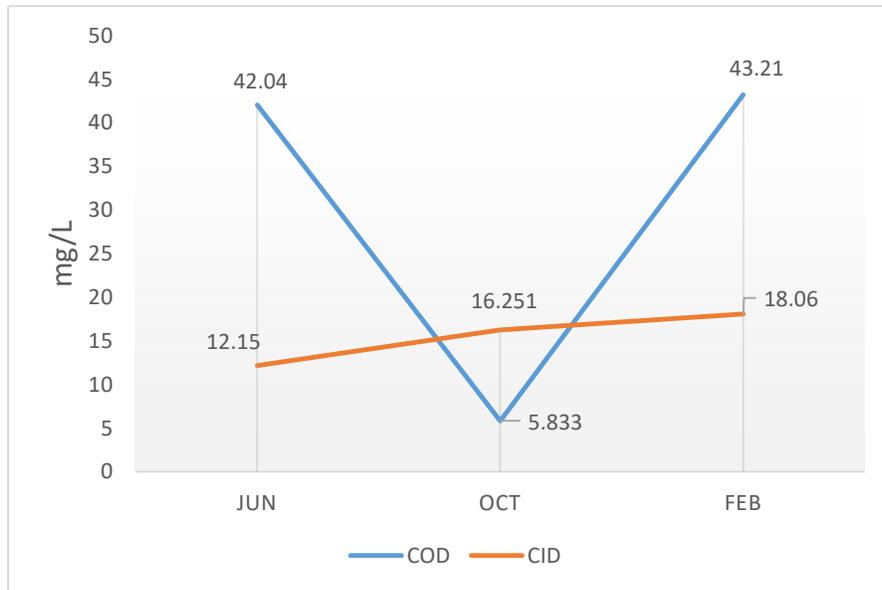


Figura 14. Concentraciones de COD y CID del canal 2.

6.5. Materia orgánica particulada

Un aspecto importante que completa el flujo del carbono es toda la materia orgánica particulada que es exportada directamente al cuerpo de agua (canales 1 y 2). En este sentido, de los muestreos que se realizaron del mes de junio del 2019 a febrero del 2020, se obtuvieron los siguientes valores de materia orgánica particulada exportada por ciclo de marea de los dos canales (expresada en g/m³/ciclo de mareas) (Cuadro 2):

Cuadro 2. Materia orgánica particulada exportada por ciclo de marea (g/m³/ciclo de mareas) de los canales 1 y 2.

	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
CANAL 1	80.1	54	104.4	82.5	18.3	33.6	77.7	100.8	105.9
CANAL 2	113.7	54	108.3	77.1	20.4	21.3	77.1	93	96.9

La Figura 15 muestra el comportamiento en los valores de exportación de cada canal del mes de junio a febrero, la exportación de MOP por canal se comportó de manera similar, los valores de materia orgánica particulada variaron por mes, siendo los meses de octubre y noviembre los que presentaron la menor exportación en ambos canales. La mayor exportación ocurrió en el mes de febrero en el canal 1 y en el canal 2, fue en junio.

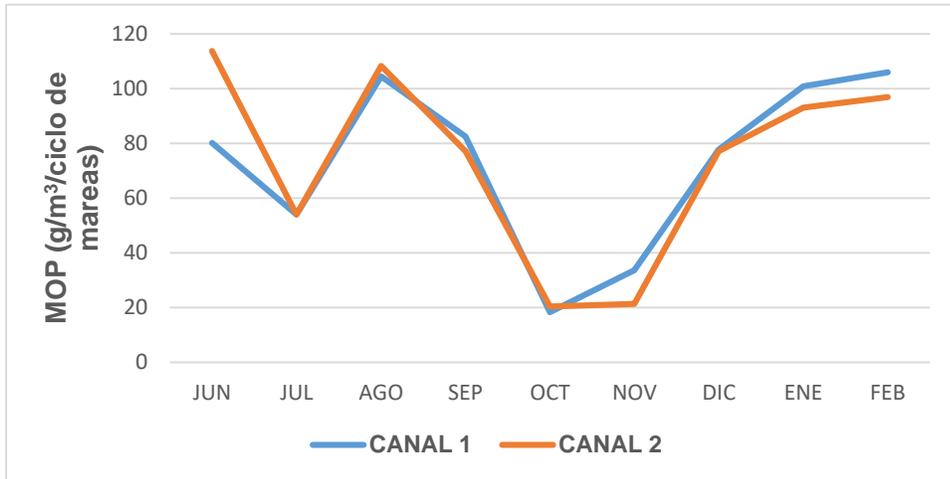


Figura 15. Materia orgánica particulada exportada por ciclo de marea de los dos canales al estero de Tumilco.

Al realizar la prueba U de Mann-Whitney, se observó que no se presentan diferencias significativas entre los canales y la materia orgánica particulada exportada por ciclo de marea ($z = 0.0441$; $p = 0.9647$) (Figura 16).

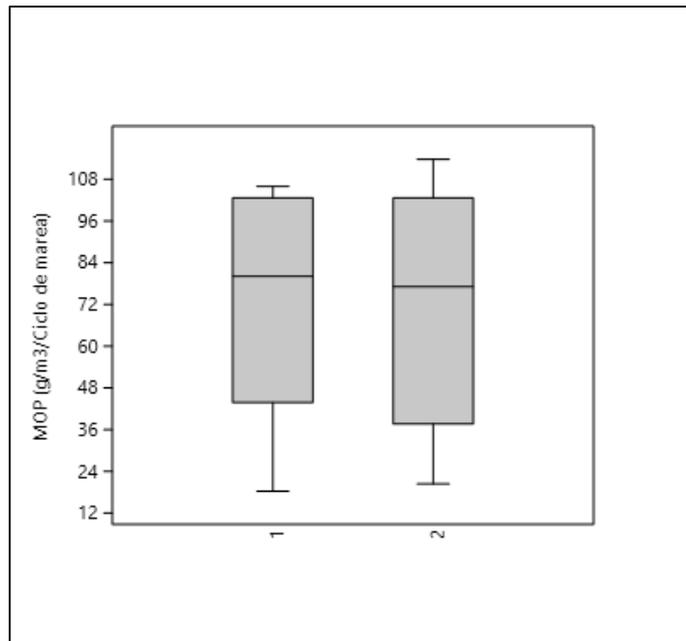


Figura 16. Materia orgánica particulada exportada por ciclo de marea de los dos canales al estero de Tumilco.

Los siguientes valores corresponden a la materia orgánica particulada exportada al mes en un periodo de 5.5 horas (marea baja) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Materia orgánica particulada exportada al mes (t peso seco/mes).

	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
CANAL 1	489.9	330.3	638.7	504.7	111.9	205.5	475.3	616.7	647.9
CANAL 2	695.6	330.3	662.6	471.7	124.8	130.3	471.7	568.9	592.8

En la Figura 17 se observan las variaciones de exportación que hubo en los diferentes meses, siendo octubre y noviembre los que representan los valores más bajos de exportación de MOP en ambos canales. Las exportaciones más altas en los dos canales variaron, febrero muestra su nivel más alto en el canal 1 y junio presenta su valor más alto en el canal 2.

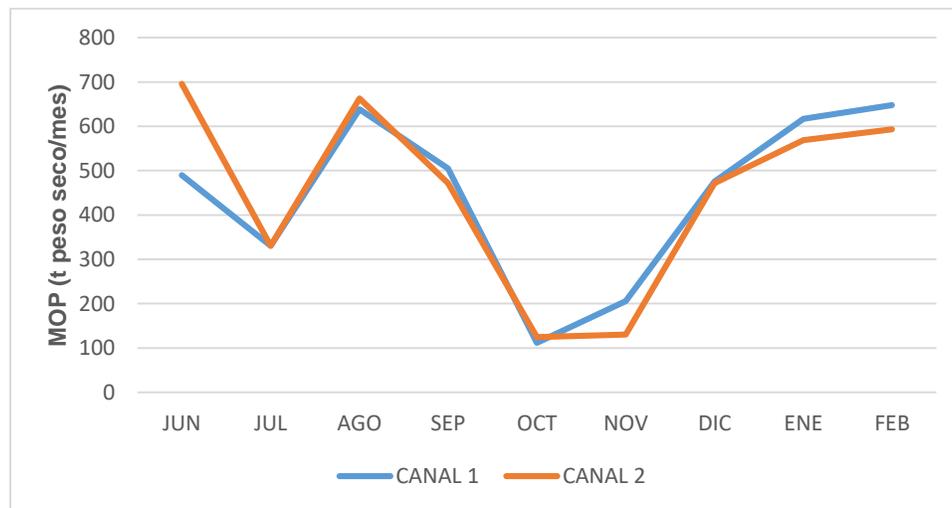


Figura 17. MOP exportada de los canales 1 y 2 del manglar al estero de Tumilco.

Al realizar la prueba U de Mann-Whitney, se observó que no se presentan diferencias significativas entre los canales y la materia orgánica particulada exportada por mes ($z = 0.0441$; $p = 0.9647$) (Figura 18).

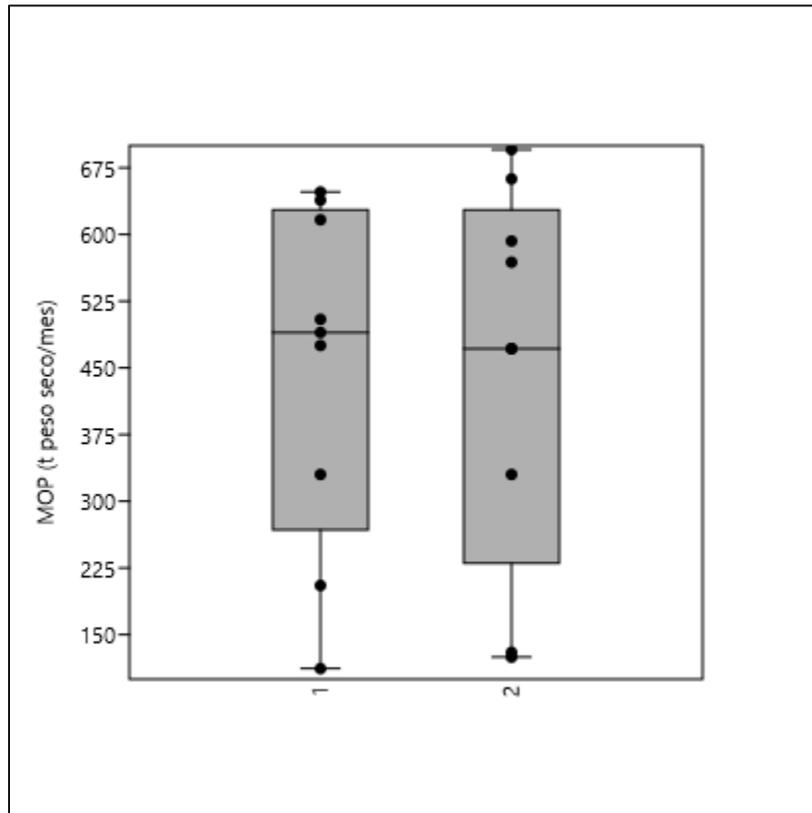


Figura 18. Materia orgánica exportada al mes del canal 1 y 2.

VII. DISCUSIÓN

7.1. Flujo interno de carbono por caída de hojarasca

De acuerdo con los datos obtenidos en este trabajo, con respecto a la producción de hojarasca, no se encontraron diferencias significativas por sitio, pero si se encontraron diferencias por mes. Esta caída de hojarasca se presentó de manera continua durante todo el tiempo de muestreo, elevándose en los meses con mayor precipitación, registrados para la zona, coincidiendo con datos de otros autores que obtienen la mayor producción de hojarasca en sus muestreos durante los meses correspondientes a las temporadas de lluvias (Félix-Pico *et al.*, 2006, Querales *et al.*, 2011 y Rodríguez *et al.*, 2012). En contraste, de acuerdo a lo registrado en los trabajos de Ake-Castillo *et al.* (2006) y Mendoza *et al.* (2016), la producción de hojarasca aumentó su aporte a lo largo de la época de secas, alcanzando un máximo en mayo y presentando una tendencia a disminuir su aporte de forma progresiva a lo largo de la época de lluvias, el primero de estos se llevó a cabo en 2006, en el centro de Veracruz, los autores destacan dos meses de máxima producción, marzo y principios de octubre, sin embargo, la alta producción de marzo se debió a la entrada de un fuerte “norte” y con relación al pico de octubre, algunos autores consideran a este mes como época lluviosa; con relación al trabajo de Mendoza *et al.* (2016), este se realizó en Barra de Navidad, Jalisco, sitio de un clima seco, con eventuales lluvias en los meses de agosto a octubre. La producción de mayor hojarasca en el mes de mayo se puede explicar en función a lo establecido por López-Portillo y Ezcurra (1985), quienes determinan que los manglares de áreas

secas, pierden sus hojas durante los meses más secos como una estrategia ante estrés hídrico. Con relación a las características de la caída de hojarasca en los manglares, se puede retomar lo establecido por Ochoa (2004), en el sentido de que los factores que controlan la producción de hojarasca varían en el tiempo y el espacio.

Los valores totales de producción anual de hojarasca que aportan los manglares de la especie *R. mangle*, *A. germinans* y *L. racemosa* que se encontraron distribuidos cerca de los canales estudiados fue de 20.69 Mg de Peso Seco ha⁻¹ año⁻¹ que convertidos a unidades de carbono equivale a 9.1 Mg C ha⁻¹ año⁻¹. Así mismo, de acuerdo a las cifras que se reportan en este estudio, se encuentran cercanas las obtenidas por Orihuela *et al.* (2004), donde la producción de hojarasca fue de 13.7 Mg de Peso Seco ha⁻¹ año⁻¹, lo que equivale a 7.59 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ y que a su vez compara con los manglares más productivos a nivel ecuatorial. Estos resultados podrían deberse al ciclo vital de cada especie, así como los factores espaciales y temporales que presentan. Autores como Lugo y Snedake (1974) y Odum y Heald (1975) señalan que manglares que se encuentran relacionados con canales de marea al interior de los manglares, garantizan una disolución permanente de sales y existe un aporte constante de nutrientes, por lo que son sitios con alta productividad. Este aspecto es característico de los sitios de muestreo del presente trabajo, al hacer la colecta de hojarasca en árboles cercanos a los canales de estero de Tumilco.

7.2. Flujo interno de carbono con base a la pérdida de materia orgánica.

Otro aspecto a destacar, son los resultados referentes a la pérdida de materia orgánica (MO), en donde se obtuvo una disminución de la materia de hasta el 95%. Así mismo, de acuerdo a los datos obtenidos en esta investigación, los valores de disminución de MO se encuentran parecidos a los de Flores- Verdugo *et al.* (1987), que reporta una disminución del 73% en 6 meses de estudio, y los de Orihuela *et al.* (2004), con 82.2% de disminución de la cantidad inicial de sus bolsas. En el presente trabajo, a los seis meses, ya se tenía un 90% de degradación, la diferencia con lo reportado por Flores-Verdugo *et al.* (1987), radica nuevamente con la ubicación, en la laguna Verde en Sinaloa, se presenta un clima seco, con una precipitación media anual de 630 mm. Otro aspecto a destacar, es el experimento que realizaron Orihuela *et al.* (2004), lo cuales iniciaron su proceso de degradación con 30 g de hojas y no con 10 g como el presente estudio. Estos dos aspectos pueden haber influenciado en las diferencias de degradación. Los mismos autores mencionan que la degradación de las hojas depende de la condición de inundación del suelo, muy rápida si está inundado y lenta si no contiene suficiente humedad. Por lo que tanto la caída de hojarasca como su degradación, fueron condicionadas por la ubicación de las canastas y las bolsas de degradación.

Respecto a la velocidad de pérdida de MO en este estudio, la velocidad fue más alta los primeros 3 meses de muestreo, después, los valores de degradación fueron

constantes. Un estudio reciente para esta zona, en la Ciénega de Tuxpan, Veracruz, es el de Martínez (2018), quien reporta una mayor velocidad de descomposición durante los dos primeros meses de muestreo, lo cual se compara con lo registrado. Cabe mencionar que el contenido de cada unidad experimental se llenó con hojas de diferentes especies, factor que pudo influenciar en los resultados obtenidos, pues la pérdida de materia orgánica varía significativamente entre especies, ya que tienen una composición química diferente.

Los datos obtenidos en este trabajo sobre las constantes desintegraciones similares entre canales (donde no se presentaron diferencias significativas a lo largo de los meses muestreados) se deben posiblemente a la pequeña diferencia en la precipitación estacional, pues es cuando los canales se encuentran con un nivel más alto de inundación. Estas bolsas estuvieron situadas casi al borde de cada canal y tuvieron contacto con la marea, donde el nivel alto de esta dependía de las temporadas con mayor precipitación y del flujo de mareas del estero. Esta pérdida constante se debió a que las zonas estuvieron constantemente inundadas, de lo contrario las hojas se degradarían más lentamente (Orihuela *et al.*, 2004). Es así como, los procesos que posiblemente aceleran la degradación son el aumento de las mareas y la temporada de lluvias de la zona, desencadenando un proceso de pérdida de materia orgánica rápida. La constante entre los trabajos de Flores-Verdugo *et al.* (1987), Orihuela *et al.* (2004) y Martínez (2018), es la velocidad de degradación en los primeros meses de la colocación, el porcentaje de pérdida dependerá de la temporada en que son colocadas, en temporada de secas se

tendrá una degradación inicial menor que si las hojas son colocadas en temporada de lluvias, a su vez, también dependerá si las bolsas son sumergidas en el agua o dejadas sobre la superficie del suelo. En todos los casos depende de la colonización inicial de las hojas por hongos y bacterias que inician el proceso de degradación y de los posteriores organismos que aprovechen los azúcares y proteínas producidas, entre estos se encuentran nematodos, anfípodos, gasterópodos, bivalvos y poliquetos, por lo que el proceso de degradación, también se relaciona con la presencia de estos organismos.

Por ejemplo, un aspecto importante de mencionar con respecto a lo observado en el sitio de estudio fue que se encontró con presencia de macroinvertebrados dentro y cerca de las bolsas de degradación, la intervención de este tipo de organismos acelera la descomposición y degradación del tejido vegetal. Es así, como lo observaron también Galeano *et al.* (2010) en el caribe colombiano, en donde especies como *R. mangle* y *A. germinans* pasan por un proceso de degradación con la colonización de hongos y bacterias, así como la presencia de macroinvertebrados en *R. mangle*, que rompen el tejido vegetal facilitando la degradación. Dada la anterior condición, es necesario incorporar en el análisis la actividad de estos invertebrados pues, aunque no se cuantificó su efecto sobre la descomposición de la hojarasca respecto al inducido por los microorganismos y las fuerzas abióticas, todos estos efectos actúan en conjunto para determinar la tasa de pérdida de materia orgánica de la hojarasca, así mismo, integrar información sobre el ciclo de nutrientes para estos ecosistemas, pues factores como la variación estacional en

nitrógeno y fósforo es posiblemente el resultado de cambios en la actividad microbiana (Loría, 2018).

7.3. Carbono orgánico disuelto (COD) y carbono inorgánico disuelto (CID) estacional

Las concentraciones de COD fueron las más altas en junio (mes de alta precipitación en la zona), al igual que el mes de febrero (baja precipitación), sin embargo, el mes de octubre que es el que marca la mayor precipitación anual obtuvo los valores más bajos de COD en este estudio, estas diferencias en las concentraciones de COD entre las estaciones húmedas y secas podrían deberse principalmente a un efecto de dilución por un mayor flujo de agua con concentraciones de COD bajo (Ray *et al.*, 2018). Los autores referidos encontraron una exportación de COD que fue desde los 4.5 a 37 mg/L, teniendo menor concentración durante las estaciones húmedas, estos valores se encuentran cercanos a los que se registraron en este estudio, los cuales fueron de entre 5.178 a 59.1 mg/L, donde también los valores más bajos se encontraron en el mes de mayor precipitación en la zona y para el caso del carbono inorgánico particulado (CID), sus resultados fueron de 0.004 y 2.19 mg/L, los cuales se encontraron en aumento en la estación seca y disminuyó en la temporada de lluvias, resultados que vuelven a asemejarse con los de este trabajo, pues es también en la temporada de baja precipitación que el CID presentó sus valores más altos y en la temporada de

alta precipitación se encontraron los valores más bajos; reportándose valores de CID desde los 9.016 a los 18.06 mg/L para el manglar de Tumilco.

7.4. Materia orgánica particulada

En Tuxpan, la precipitación más alta del 2019 fue en el mes de octubre, mes en el cual este estudio reporta la menor exportación de materia orgánica particulada. Estos resultados comparados con los de Orihuela *et al.* (2004), son distintos, pues ellos observan que la temporada de lluvias influye en la cantidad de la concentración de materia orgánica, ya que el nivel de agua en el manglar forma una inundación continua, haciendo que el detritus se redistribuya, y encuentran un aumento sustancial en la cantidad de detritus en estas temporadas.

Los valores más altos de la materia orgánica particulada exportada se presentaron en el mes de febrero para el canal 1 y en junio para el canal 2, respectivamente. Para calcular los valores de t peso seco/mes se tomó el flujo del agua del río Tuxpan (10 m³/seg) y se trasladó para la representación de los canales del estero de Tumilco, obteniendo un total de exportación de 8069.6 toneladas de peso seco, siendo el canal 2 el que presentó la mayor exportación de MOP durante el tiempo de muestreo. Estos valores difieren con los registros de Orihuela *et al.* (2004), único trabajo en México que hace exportación de detritus, quienes reportan un total de material orgánico particulado durante todo el tiempo de muestreo de 6, 510

toneladas de peso seco, presentando los valores más altos en octubre y los más bajos en mayo. Estos resultados en comparación con los del presente estudio muestran pequeñas diferencias en los valores totales y en los meses de mayor y menor exportación, esto puede deberse a la zona donde se localiza el área de estudio, así mismo se debe de tomar en cuenta que esta exportación también depende de la cobertura del bosque, el nivel de inundación, los ciclos de marea, la producción de hojarasca y de la velocidad de degradación que tiene cada especie como se ha venido expresando. Es así como la exportación de detritus está acompañada de la exportación de materia orgánica disuelta, la cual es una contribución a los sistemas costeros rara vez cuantificada.

VIII. CONCLUSIÓN

La contribución del manglar relacionado con el estero de Tumilco a la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) por flujo interno y externo de carbono, se resume a continuación:

Con los datos obtenidos en este trabajo se llega a la conclusión de que, la producción de hojarasca fue de 20.69 Mg de Peso Seco $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ y que esta es continua durante todo el año, así también que las temporadas de precipitación alta y los eventos de norte contribuyen en la caída de hojarasca. Es así como los valores encontrados de carbono pudieran ser más altos o bajos debido a la cantidad de hojarasca capturada por mes.

La pérdida de materia orgánica que se obtuvo siguió un patrón similar al de diversos estudios, dado que la degradación fue rápida en el agua los primeros meses de muestreo y después continuó una degradación lenta, teniendo el mismo comportamiento en ambos canales del manglar.

La exportación de carbono interno respecto a la producción de hojarasca fue de 9.1 Mg C $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ y que a mitad del tiempo de estudio (6 meses) ya se observaba una

disminución del 90%, datos que contribuyen a futuras investigaciones sobre flujos de carbono internos de este sitio.

El carbono orgánico disuelto (COD) y el carbono inorgánico disuelto (CID) son parte importante del ciclo del carbono, así como, la materia orgánica exportada de los manglares, que cumple un papel importante contribuyendo como alimento para las zonas marinas adyacentes, son pocas veces tomados en cuenta en las investigaciones, aunque esto también implica que están abiertas múltiples líneas de investigación relacionadas con los ciclos biogeoquímicos en estos ecosistemas.

Contrario a lo que se planteó como hipótesis, las concentraciones más bajas de COD y CID se presentan en la época de lluvias y esto es debido a la dilución, tal vez se exporte una mayor cantidad, pero estaría en función a cálculos de volumen de agua, indicador que no fue medido en el presente trabajo.

La conclusión anterior también es aplicable a la materia orgánica particulada exportada, la cual fue menor en la mayor precipitación, que si bien, una mayor cantidad de agua redistribuye las partículas, esta no se ve reflejada en los recipientes de muestreo.

Es importante considerar el volumen de agua de salida del sistema de manglar para estimar un valor más adecuado de COD, CID y de materia orgánica exportada.

IX. APLICACIÓN PRÁCTICA

Los manglares y humedales pueden llegar a ser reconocidos como sitios Ramsar de protección internacional, debido a que ofrecen servicios tanto ecológicos, socio-culturales, de protección y principalmente económicos al hombre. Dentro de este acuerdo se enfatiza que cada sitio Ramsar debe de desarrollar y aplicar su propio plan de manejo (Resolución 5.7 y VIII.14) que promueva un equilibrio entre la conservación y buen uso de los humedales, así como el cumplimiento de requisitos específicos para obtener este nombramiento.

En México se cuentan con dos disposiciones normativas para la protección de estos ecosistemas. La primera de ella es la NOM-059-SEMARNAT-2010 en la cual se enlista todas las especies en riesgo de fauna y flora silvestre del país, en este caso las cuatro especies de manglar que se reportan para el territorio mexicano forman parte de este listado en calidad de especies amenazadas. La segunda normativa es la declarada mediante la NOM-022-SEMARNAT-2003, en la que se establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros.

Con los resultados de esta tesis, se destaca el beneficio funcional del manglar de Tumilco como exportador de carbono, servicio ambiental que puede ser valorado a través del programa por pago de servicios ambientales.

En México, la CONAFOR es la encargada de gestionar este tipo de recursos económicos, los cuales son otorgados por el gobierno federal a través de un programa llamado ENAREDD+ (Estrategia Nacional para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los bosques), el cual tiene el propósito de contribuir a la meta de mitigación establecida en la Ley General de Cambio Climático (30% para el 2020 con respecto a la línea base y 50% para el 2050 respecto a las emisiones de 2000) para lograr la mitigación del cambio climático desde el sector forestal, cumpliendo así con el precepto constitucional, declarado en el artículo 4, que menciona que “toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar”, disposición que desde la Política de Mares y Costas (2015) debe ser aplicada. Así también, es posible considerar a las organizaciones no gubernamentales (ONG) que tienen la finalidad de dar subvenciones a proyectos que se deriven de los servicios ecosistémicos que proveen los manglares.

En este contexto, la información recabada en este trabajo sobre flujos de carbono internos y externos, junto con otros trabajos que se han realizado en esta área de estudio y que abordan temas similares como el de Santiago (2018), evidencian la

dinámica del ciclo de carbono, así como los factores ambientales que puedan influir en la dinámica de este ciclo biogeoquímico, aportando información de utilidad para autoridades y usuarios al momento de desarrollar el plan de manejo para este sitio.

Dicho esto, se justifica la implementación de las líneas de acción siguientes, mismas que se mencionan en la Estrategia Nacional de Cambio Climático (2013) como:

- Establecer y fortalecer esquemas de manejo sustentable comunitario en ecosistemas forestales, de tal manera que las comunidades aledañas al sitio se involucren, favoreciendo un manejo eficiente de la red de sitios Ramsar.
- Desarrollar herramientas y crear esquemas de valoración económica de los servicios ecosistémicos para el desarrollo de actividades de conservación en la zona.

Sirva esta tesis para aportar datos en futuros trabajos de investigación sobre el comportamiento en la exportación de carbono y materia orgánica e inorgánica de este manglar hacia el estero de Tumilco; así como también, contribuir con datos que sirvan para realizar una valoración económica de este ecosistema por tan importante papel que desempeñan en la mitigación del cambio climático.

X. BIBLIOGRAFÍA

Ake-Castillo J, Vázquez G y López-Portillo J. 2006. Litterfall and decomposition of *Rhizophora mangle* L. in a coastal lagoon in the southern Gulf of México. *Hydrobiologia*. 559:101-111.

Alongi D. 2014. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*. 3: 313-322.

Alongi DM y Mukhopadhyay SK. 2015. Contribution of mangroves to coastal carbon cycling in low latitude seas. *Agricultural and Forest Meteorology*. 213: 266 – 272.

Ashton EC, Hogart PJ y Ormond R. 1999. Breakdown of mangrove leaf litter in managed mangrove forest in Peninsular Malaysia. *Hydrobiologia*. 413: 77-88.

Basáñez-Muñoz A, Olmedo G y Rojas MP. 2006. Características estructurales y usos del manglar en el ejido Cerro de Tumilco, Tuxpan, Veracruz, México. *Revista UDO Agrícola*. 6:1-7.

Bernini E y Rezende CE. 2010. Litterfall in a mangrove in Southeast Brazil. Pan-American Journal of aquatic sciences. 5(4): 508-519.

CDIAC. 2019. The Global Carbon Atlas. Carbon Dioxide Information Analysis Center, USA: CDIAC Resources. Disponible en: <http://www.globalcarbonatlas.org>.

Cintrón G, Schaeffer N. 1981. Roteiro para estudio dos recursos de marismas e manguezais. Int. Oceanog. Sao Paulo 10:1-13.

Danielson TM, Rivera-Monroy VH, Castañeda-Moya E, Briceño H, Travieso R, Marx BD, Gaiser E y Farfán LM. 2017. Assessment of Everglades mangrove forest resilience: implications for aboveground net primary productivity and carbon dynamics. For Ecol Manag 404:115–125.

De la Peña A, Augusto Rojas C y De la Peña M. 2010. Valoración económica del manglar por el almacenamiento de carbono, Ciénaga Grande de Santa Marta. Clío América. Universidad del Magdalena. p.133 –150.

Dittmar T y Lara RJ. 2001. Do mangroves rather than rivers provide nutrients to coastal environments south of the Amazon River? Evidence from long-term flux measurements. *Marine Ecology Progress Series*. 213:67–77.

Dittmar T, Hertkorn, N, Kattner G, y Lara RJ. 2006. Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans. *Global biogeochemical cycles*. 20(1).

Félix-Pico E., Holguín-Quiñones 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, México). *Cien. Mar.* 32(1): 53-63.

Flores VF, Day J. y Briseño Dueñas J. 1987. Structure, litter fall, decomposition, and detritus dynamics of mangroves in a Mexican coastal lagoon with an ephemeral inlet. *Marine Ecology Progress Series*. 35:83-90.

Galeano GE., Mancera PJ y Medina CJ. 2010. Efecto del sustrato sobre la descomposición de la hojarasca en tres especies de mangle en la Reserva de Biosfera Seaflower, Caribe Colombiano. *Caldasia*, 32(2) 411-424.

García-Hansen I., Gaviria-Chiquazuque JF, Prada-Triana M y Álvarez-León R. 2002. Producción de hojarasca de los manglares de la Isla de San Andrés, Caribe Colombiano. *Rev. Biol. Trop.* 50(1): 273-291.

Gobierno del Estado de Veracruz. 2019. Cuadernillos Municipales, 2019. Tuxpan. Sistema de Información Municipal. Subsecretaría de Planeación. Gobierno del Estado de Veracruz. 11 p.

Grimaldi CS. 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-Silveira JA, Camacho A, Pech RE, Pech MJ, Ramírez RC y Teutli H. 2016. Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México. *Terra Latinoamericana.* 34: 61-72.

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

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi (eds.). IPPC/ Institute for Global Environmental Strategies. Kanagawa.

Jennerjahn TC, Gilman E, Krauss KW, Lacerda LD, Nordhaus I y Wolanski E. 2017. Chapter 7: mangrove ecosystems and climate change. In: Rivera-Monroy VH, Lee SY, Kristensen E, Twilley RR (eds) Mangrove ecosystems: a global iogeographic perspective structure, function and ecosystem services. Springer, New York.

Kamruzzaman, Kalayan B, Sumonta KP, Shamim A y Akira O. 2019. Litterfall production, decomposition and nutrient accumulation in Sundarbans mangrove forests, Bangladesh, Forest Science and Technology, 15(1): 24-32.

Kauffman JB, Donato DC y Adame MF. 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.

Koné YJM. 2008. Dissolved inorganic carbon dynamics in the waters surrounding forested mangroves of the Ca Mau Province (Vietnam). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Volume 77. Pages 409-421.

López-Portillo JL y Ezcurra, E. 1985. Litter fall of *Avicennia germinans* L. in a one year cycle in a mudflat at the laguna de Mecoacan, Tabasco, Mexico. *Biotropica*. 17(3), 186-190.

Loría NM y Sibaja C, Jeffrey CJ. 2018. Mangrove Leaf Litter Decomposition in a Seasonal Tropical Environment. *Journal of Coastal Research*. 35. 10.2112/JCOASTRES-D-17-00095.1

Lugo A. y Snedaker S. 1974. The ecology of mangroves. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 5:39-64.

MacCready P y Geyer WR. 2010. Advances in estuarine physics. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 2: 35-58.

Mackey AP y Smail G. 1996. The decomposition of mangrove litter in a subtropical mangrove forest. *Hydrobiologia* 332: 93–98.

Matthew-Costa T, Ezcurra P, Aburto-Oropeza O. 2016. Los manglares almacenan toneladas de carbono. DataMares. Interactive Resource. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.13022/M3PC71>

Martínez CE. 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.

McCallister SL, Bauer JE, Ducklow HW y Canuel EA. 2006. Fuentes de estuario disuelto y partículas de materia orgánica: un enfoque de trazado múltiple. *Geoquímica orgánica*. 37 (4): 454-468.

Mendoza MAJ., González SG y Aguilar BC . 2016. Producción espacial y temporal de hojarasca del manglar en la laguna Barra de Navidad, Jalisco, México. *Revista de Biología Tropical*, 64(1) 275-289. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449/44943437023>

Mohamed OSM, Mangion P, Mwangi S, Kairo JG, Dahdouh-Guebas F y Koedam N. 2008. Productivity in a peri-urban mangrove: Does sewage exposure have an impact? Submitted to *Hydrobiologia*. p. 82-101.

Ochoa GJ. 2014. Estructura y productividad del manglar de Balandra, BCS, México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 55 p.

Odum WE y Heald EJ. 1975. The detritus-based food web of an estuarine mangroves community. En: Cronin LE (Ed.). 1975. Estuarines Research. Academic Press. Nueva York. 265-286.

Orihuela-Belmonte DE, Tovilla-Hernández C, Vester HFM y Álvarez-Legorreta T. 2004. Flujo de materia en un manglar de la costa de Chiapas, México. Madera y Bosque. Núm. Esp. 2: 45-61.

Ohtsuka T, Onishi T, Yoshitake S, Tomotsune M, Kida M, Iimura Y, Kondo M, Suchewaboripont V, Cao R, Kinjo K y Fujitake N. 2020. Lateral Export of Dissolved Inorganic and Organic Carbon from a Small Mangrove Estuary with Tidal Fluctuation. Forests. 11:1041; doi:10.3390/f11101041.

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.

Ray R, Baum AT, Rixen T, Gleixner G y Jana TK. 2018. Exportation of dissolved (inorganic and organic) and particulate carbon from mangroves and its implication to the carbon budget in the Indian Sundarbans, *Science of The Total Environment*. 621:535-547.

Ray R, Michaud E, Aller R, Vantrepotte V, Gleixner W, Romain D, Jérémy, Morvan, S y Thouzeau G. 2018. The sources and distribution of carbon (DOC, POC, DIC) in a mangrove dominated estuary (French Guiana, South America). *Biogeochemistry*. 10.1007/s10533-018-0447-9.

Rivera-Monroy VH, Castañeda-Moya E, Barr J. 2013. Current Methods to Evaluate Net Primary Production and Carbon Budgets in Mangrove Forest. En: *Methods in Biogeochemistry of Wetlands*, DeLaune RD, Reddy KR, Richardson CJ y Megonigal JP (eds.). Soil Science Society of America. Madison, 243- 288.

Ribeiro RDA, Rovai AS, Twilley RR, y Castaneda-Moya E. 2019. Spatial variability of mangrove primary productivity in the neotropics. *Ecosphere* 10(8):e02841. 10.1002/ecs2.2841.

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

Rügnitz MT, Chacón ML, Porro R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. 1. ed. Lima, Perú: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 79. p.

Santiago MLA. 2018. Estimación del potencial de captura de carbono (C) del bosque de manglar de Tumilco de Tuxpan, Veracruz, México. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. México.

Sasmito SD, Taillardat P, Clendenning J, Friess DA, Murdiyarso D y Hutle LB. 2016. Carbon stocks and fluxes associated with land-use and land-cover change in mangrove ecosystems: A systematic review protocol. Bogor, Indonesia, Center for International Forestry Research (CIFOR). p. 211.

SEMARNAT-CONABIO. 2019. Estadísticas de biodiversidad, ambientales y sociodemográficas Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 109 p.

Rozo O, Mancera J y Santos-Martínez A. 2009. Velocidad de descomposición de da hojarasca en diferentes sustratos de manglar durante la época de lluvias en San Andrés Isla, Caribe Colombiano. Bulletin of Marine and Coastal Research. 38. 10.25268/bimc.invemar.38.1.162.

Srisunont C, Jaiyen T, Tenrung M y Likitchaikul M. 2017. Nutrient Accumulation by Litterfall in Mangrove Forest at Klong Khone, Thailand. Thammasat International Journal of Science and Technology 22(1): 9-18.

Torres JR, Barba E. y Choix FJ. 2018. Mangrove Productivity and Phenology in Relation to Hydroperiod and Physical-Chemistry Properties of Water and Sediment in Biosphere Reserve, Centla Wetland, Mexico. Tropical Conservation Science II: 1-14.

Twilley RR. 1985. The Exchange of Organic Carbon in Basin Mangrove Forests in a Southwest Florida Estuary. Estuarine Coastal and Shelf Science. 20:543-557.