

**Evaluación de la productividad primaria neta
(PPN_h) de bosques monoespecíficos de manglar
(*Avicennia germinans*) en el ciclo de carbono y su
influencia en la costa de Louisiana**

Jayro Josue Chevez Sahona

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2020

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Evaluación de la productividad primaria neta (PPNh) de bosques monoespecíficos de manglar (*Avicennia germinans*) en el ciclo de carbono y su influencia en la costa de Louisiana

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Jayro Josue Chevez Sahona

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2020

Evaluación de la productividad primaria neta (PPN_h) de bosques monoespecíficos de manglar (*Avicennia germinans*) en el ciclo de carbono y su influencia en la costa de Louisiana

Jayro Josue Chevez Sahona

Resumen. Los bosques de mangle se desarrollan en zonas costeras con regímenes climáticos tropicales y subtropicales. *Avicennia germinans* es una especie común en latitudes tanto tropicales como subtropicales y se caracteriza por la alta tolerancia al frío, convirtiéndose en la especie con mayor dominancia en los humedales costeros del Golfo de México (GoM) como es el caso del delta del río Mississippi y en las costas de Louisiana, Estados Unidos. En este estudio, se realizó la recolección de hojarasca de un bosque de franja monoespecífico en Port Fourchon, Louisiana, a través de la metodología “litter baskets”. La hojarasca fue clasificada en categorías (hoja, madera, flores y propágulos) y pesada en laboratorio. Se estimó la variación interanual y estacional de la hojarasca (2016 - 2019) para el bosque monoespecífico de manglar. Se prepararon muestras con las hojas obtenidas para determinar las cantidades de Carbono (C) orgánico, Nitrógeno (N) y Fósforo (P). Se calculó la contribución de C por hojarasca y se realizó un análisis comparativo con estudios similares realizados en el GoM. Se evidenció la mayor variación interanual de hojarasca en el 2016 (159.19 g/0.25m²). Además, se evidenció la mayor variación estacional en otoño (380.91 g/0.25m²). Se determinó que las variaciones interanuales y estacionales están asociadas a eventos climáticos como frentes fríos y tormentas tropicales que producen defoliación en el bosque. La presencia del C se encuentra en mayor proporción que N, y P se encuentra en menor concentración en la hojarasca. Finalmente, la contribución carbono en Port Fourchon fue 154.62 gC/m²/año.

Palabras clave: Aporte de carbono, hojarasca, “litter baskets”, manglar negro, variación estacional, variación interanual.

Abstract. Mangrove ecosystems develop in tropical and subtropical coastal zones. *Avicennia germinans* is one of the most common mangrove species in tropical and subtropical climates due to high cold tolerance making it the dominant species in the Gulf of Mexico region (GoM), especially in the Mississippi River Delta and the Louisiana coast. In this study, monospecific mangrove forest leaf litter in Port Fourchon was collected using litter baskets and weighed by category (leaf, wood, flowers, and propagules). Leaf litter interannual and seasonal variations were estimated in the period 2016 - 2019. Samples were analyzed to determine relative contributions of organic carbon, nitrogen, and phosphorus. Carbon (C) contribution was estimated and compared with similar studies carried out in the GoM. The highest annual leaf litter occurred in 2016 (159.19 g/0.25 m²). In addition, it was evidenced the highest seasonal leaf litter was measured in autumn (380.91 g/0.25 m²). The interannual and seasonal variation is related to the pulsing effect of cold fronts and tropical storms causing defoliation of the forest canopy. C concentrations were significantly higher than nitrogen or phosphorus in the leaf litter samples. Finally, carbon contribution in the study site was 154.62 gC/m²/year.

Key words: Black mangrove, carbon contribution, interannual variation, litter baskets, litterfall, seasonal variation.

ÍNDICE GENERAL

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen.....	iii
Índice General	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	11
4. CONCLUSIONES	24
5. RECOMENDACIONES	25
6. LITERATURA CITADA	26
7. ANEXOS	36

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Productividad primera neta (PPN _h) anual (2016-2020) de un bosque de <i>A. germinans</i>	11
2. Variación estacional de PPN _h de <i>A. germinans</i>	11
3. Análisis de varianza (ANDEVA) de dos factores.....	13
4. Análisis de hojarasca para obtención de niveles de C, N y P total.....	14
5. Análisis de correlación de Pearson entre proporciones C:N.....	16
6. Análisis de correlación de Pearson entre proporciones N:P.....	16
7. Regresiones lineales para proporciones estequiométricas C:N y N:P.....	17
8. Contribución promedio anual de C al ecosistema.....	18
9. Evaluación de contribución de C por hojarasca en Port Fourchon con estudios previos en el Golfo de México.....	21

Figuras	Página
1. Ubicación del sitio y parcelas de estudio en Port Fourchon, LA.....	4
2. Diseño de cestas de madera para recolección de hojarasca.....	5
3. Ubicación de las cestas dentro de la parcela de estudio.....	6
4. Clasificación de hojarasca: Hojas (A), madera (B), flores (C) y propágulos (D).....	6
5. Proceso de preparación de muestras de hojarasca para análisis CHN.....	7
6. Proceso de preparación de muestras para análisis TP.....	8
7. Productividad primera neta (PPN _h) anual (2016-2020) de <i>A. germinans</i>	12
8. Variación estacional de PPN _h de <i>A. germinans</i>	13
9. Regresión lineal para proporciones C:N (A) y N:P (B).....	17
10. Aportación de C por hojarasca a nivel del Golfo de México.....	20

Anexos	Página
1. Herramientas para proceso de molienda fina de hojarasca: Molino eléctrico (A) y rejilla de 20 mesh (B).....	36
2. Materiales para preparación y empaque de muestras para análisis CHN.....	36
3. Preparación de muestras para análisis TP: Pesado de material vegetativo (A), incineración (B) y filtrado de muestras (C).....	37
4. Determinación de los β coeficientes de las variables en las regresiones lineales.....	37
5. Base de datos para la producción anual de hojarasca por canasta.....	38
6. Calendario de estaciones meteorológicas según el NWS.....	39

7. Base de datos para la producción estacional de hojarasca	40
8. Composición general de nutrientes presentes en la hojarasca recolectada de cada viaje de campo	44

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques de mangle son humedales que crecen y se desarrollan en zonas costeras de regímenes tropicales y subtropicales, donde las condiciones ambientales son altamente cambiantes (Flores-Verdugo et al., 2007; Tomlinson, 2016), con rangos de salinidad entre 2.5 a 80‰ (Krauss et al., 2008; Noor et al., 2015; Twilley, 1998). Los árboles son tipo leñoso arbustivo que presentan tallos con alturas comprendidas generalmente en el rango de 2 y 25 metros aproximadamente, con un crecimiento continuo (perennifolio) de hojas succulentas (Díaz, 2011). Los tallos modificados similares a largas raíces zancudas y los neumatóforos (raíces aéreas), permiten el sostén de la planta e intercambio gaseoso entre Oxígeno (O₂) y Dióxido de carbono (CO₂) de la planta en suelos completamente saturados de agua o fondo lodosos (Rzedowski, 2006; Villalba-Malaver, 2006).

Otra característica de este tipo de bosque es su alto contenido de materia orgánica (MO) en el suelo donde se descompone y mineraliza aportando nutrientes disponibles para el crecimiento de las plantas (Cintrón-Molero y Schaeffer-Novelli, 1983). Adicionalmente, los niveles de agua dentro del humedal del manglar regulado por las mareas influyen en la renovación del carbono almacenado en el suelo, por medio de la exportación de materia orgánica (Lugo y Snedaker, 1974). Los ecosistemas de manglar tienen un gran potencial para asumir el papel de sumideros de carbono (Bouillon et al., 2008; Ribeiro et al., 2019) y mitigar la cantidad de CO₂ presente en la atmósfera a través de la captura de carbono (Osland et al., 2020; Rivera-Monroy et al., 2017). Los manglares también son considerados recursos naturales que permiten la generación de ingresos en regiones costeras incluyendo: pesquería comercial (Acharya, 2002; Salem y Mercer, 2012), fuente de madera y recreación (Sanjurjo Rivera y Welsh Casas, 2005).

Existen alrededor de 18 familias y más de 69 especies de manglar globalmente (Tomlinson, 2016), aunque las más estudiadas y dominantes en el neotrópico son: El mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), y la especie asociada mangle gris o botoncillo (*Conocarpus erectus*). La distribución a nivel global de las distintas especies de manglar depende de factores primarios como la temperatura, tanto del ambiente como del sustrato en el que se desarrolla, así como de gradientes latitudinales (Austin y Heyligers, 1989; Quisthoudt et al., 2012). Factores reguladores, relacionados a las perturbaciones de los ecosistemas, también influyen en la distribución entre ellos: velocidad del viento, nivel de la marea, hidroperiodicidad, concentraciones de salinidad e intercambio de energía producido a través de la interacción de las olas con la geomorfología costera (Duke et al., 1998; Duke, 2017; Guisan y Thuiller, 2005; Twilley, 1995; Twilley et al., 1997).

En el Pacífico americano, las especies de manglar se encuentran espacialmente distribuidas desde la Bahía de los Ángeles, Baja California, hasta los estuarios del río Tumbes, Perú (Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez, 1999). La distribución espacial en las costas atlánticas se da desde el litoral de los estados de Florida y Louisiana hasta los bosques de mangle situados al sur de Brasil (Calderon, Aburto y Ezcurra, 2009). Los ecosistemas de manglar se desarrollan tanto en bosques mixtos como en rodales monoespecíficos, y se encuentran clasificados en cinco tipos de comunidades que son controlados por patrones locales de mareas: bosque de franja, bosque riverero, bosque inundado, bosque de cuenca y bosque achaparrado o enano (< 3m de altura) debido generalmente a la alta

salinidad y/o fertilidad de los suelos (Lugo y Snedaker, 1974). La productividad primaria neta (PPN) de un bosque de manglar depende de la latitud en la que se encuentra y de los distintos ecotipos en donde se desarrollan (López-Medellín y Ezcurra, 2012).

Los humedales deltaicos son los ecosistemas costeros más productivos debido a la alta acumulación y transporte de nutrientes tanto orgánicos como inorgánicos. Estos también generan servicios económicos como la producción pesquera (Bouillon et al., 2008; Costanza et al., 2006; Day et al., 2012; Twilley et al., 1992). En la costa sur de Lousiana, Estados Unidos, el río Mississippi forma parte del séptimo delta con origen costero más grande del mundo, el cual abarca alrededor del 37% de la flora estuarina que se desarrolla en el norte del Golfo de México (Rivera-Monroy et al., 2019).

A partir de 1920, el delta del río Mississippi ha perdido alrededor de 4.9 millones de hectáreas de humedales costeros debido a la modificación hidrológica a gran escala (Rivera-Monroy et al., 2019). La causa principal es el aislamiento de las llanuras aluviales (Day et al., 2007) y a la creación de nuevas vías para que sea posible la navegación y el comercio (Coleman, Hub y Braud, 2008; Interagency Floodplain Management Review Committee [IFMRC], 1994). Consecuente a esto, la pérdida de zonas costeras como la zona de manglares por creación de industrias u otras actividades humanas (Coleman, et al., 2008), también ha reducido la disponibilidad de servicios económicos derivados de los humedales de Louisiana.

A. germinans es una de las especies más común en latitudes tanto subtropicales como tropicales y está geográficamente distribuido a lo largo de la costa norte del Golfo de México hasta llegar a las costas de Brasil en el Atlántico y la costa de Ecuador en el Pacífico (Tomlinson, 2016). La característica principal del mangle negro es la resiliencia que este posee para soportar condiciones de estrés a causa del frío en el Golfo de México (Cavanaugh et al., 2014; Lovelock et al., 2016; Osland et al., 2020), lo que la convierte en la única especie que se desarrolla en latitudes mayores a los 27°N influenciadas por frentes fríos estacionales comunes en el norte del Golfo de México (Madrid, Armitage y López-Portillo, 2014). Así, esta es la única especie de manglar que se encuentra en el delta del río Mississippi (Penfound y Hathaway, 1938) y en las costas de Lousiana (Osland et al., 2020). Algunos problemas que esta especie de mangle enfrenta anualmente son: Frentes fríos severos que limitan su crecimiento durante los meses de diciembre a febrero y depresiones atmosféricas como tormentas tropicales que provoca su defoliación y mortalidad (Cavanaugh et al., 2014). Debido a los cambios hidrológicos que restringen la deposición de sedimento, la supervivencia y expansión de los bosques de manglar en las costas de Louisiana, son también limitados por la erosión a lo largo del litoral y la pérdida del hábitat por causas antropogénicas (Giri, Long y Tieszen, 2011; Rivera-Monroy et al., 2019).

Para conocer el estado de un bosque de manglar y medir el impacto de las acciones humanas y medioambientales, se tiene que considerar la producción de hojarasca dentro del bosque (Alongi, 2002; Bouillon et al., 2008). La hojarasca (“litterfall”) es una capa que puede ser encontrada encima del suelo del bosque de manglar conformada por hojas, y ramas de distintos tamaños que conforman alrededor del 30% de la biomasa aérea global de los manglares (Alongi et al., 2005; Bouillon et al., 2008; Mendoza-Morales, González-Sansón y Aguilar-Betancourt, 2016). El análisis de la dinámica de la hojarasca es un parámetro clave para poder determinar el aporte de C y de otros nutrientes al suelo de los distintos ecosistemas forestales como nitrógeno (N) y fósforo (P) (Roig, del Río, Cañellas y Montero, 2005; Zhang, Yuan, Dong y Liu, 2014). Por lo tanto, la hojarasca producida permite conocer la fertilidad potencial de su sustrato y posterior crecimiento

de la planta, debido a la aportación de MO disponible para la descomposición y posterior mineralización de nutrientes (Alongi, 2002; Gairola, Rawal y Dhar, 2009; Zhang et al., 2014).

Todas las especies de mangle tienen adaptaciones tanto fisiológicas como morfológicas a la disponibilidad de nutrientes en sus sustratos, hidroperiodicidad, temperatura, y acumulación de sal en sus tejidos como resultado del intercambio de agua por la acción de la marea entre el boque y aguas marinas adyacentes (Naskar y Palit, 2014; Rivera-Monroy et al., 2019). Aún bajo condiciones de estrés, los bosque de manglar crecen y se desarrollan tanto sobre y en el suelo propiamente (raíces) (Castañeda-Moya, Rivera-Monroy y Twilley, 2006; Twilley y Rivera-Monroy, 2009). Debido a estas adaptaciones, la productividad es alta, particularmente la productividad primaria neta de hojarasca (PPN_h). Esta medida de productividad se ha convertido en una medida cuantitativamente útil para obtener un marco de referencia para acciones de conservación y ordenamiento ecológico de la zona costera (Barreiro-Güemes, 1999; Kristensen, et al., 2008; Mendoza-Morales et al., 2016). Sobre todo en áreas deltaicas donde la dinámica de los distintos cambios geomorfológicos interactúa con cambios estacionales extremos en viento, olas y descargas de ríos como es el caso del río Mississippi (Aburto-Oropeza et al., 2008; Twilley, 1995; Twilley et al., 1997).

Al tener una estimación de los patrones de productividad primaria neta y su influencia en el ciclo del carbono en el suelo, se puede conocer la función del manglar como sumideros de carbono. Esto incluye el análisis de productividad neta (hojarasca) y aporte potencial a la formación en los suelos en los que se desarrollan (Castañeda-Moya, Twilley y Rivera-Monroy, 2013; Castañeda-Moya et al., 2020; Ewe et al., 2006). Así, los objetivos de este estudio fueron:

- Estimar la variación estacional e interanual de la PPN_h de *Avicennia germinans* y cómo se compara con otros ecotipos de manglar en el Golfo de México.
- Determinar la relación de las proporciones C: N, N: P de la hojarasca y su influencia con la productividad del bosque de manglar.
- Evaluar la contribución de carbono por hojarasca en Port Fourchon, Louisiana comparativamente con otras áreas costeras en el Golfo de México.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de trabajo está localizada en Port Fourchon, Lousiana, donde se encuentra un puerto marino del mismo nombre con usos múltiples como el transporte/comercialización de hidrocarburos, a través de las plataformas terrestres construidas por las empresas dedicadas a esta actividad. Se encuentra ubicado una zona accesible del Golfo de México, cerca de la boca de la bahía Lafourche. Dentro de esta región, se encuentran otras actividades económicas como la pesca comercial, recreación a través del ecoturismo y la pesca deportiva. Además, ha sido un sitio referente para la investigación en temas de restauración costera y de humedales (Greater Lafourche Port Commission, 2018). En esta área costera se encuentra la mayor extensión de bosques monoespecíficos de manglar negro de tipo “scrub” y “fringe” en el delta del río Mississippi, los cuales han gradualmente ocupado áreas previamente dominadas por pasto de cordón liso o borraza (*Spartina alterniflora*). Esta conversión se ha dado por el efecto del incremento en las temperaturas del aire como resultado del cambio climático en los últimos 30 años (Rivera-Monroy et al., 2019).

El bosque de manglar está en el sitio denominado Interior (29°6.30N, 90°12.38W), que forma parte de una red de estaciones para evaluar el efecto de los cambios en el clima y distribución de humedales de diferentes tipos en esta región. En este estudio sólo se incluyen datos del sitio Interior. El área de muestreo en particular está aproximadamente a un kilómetro al norte del Golfo de México, y se puede observar la presencia de dos hábitats: marisma denominada por la especie *S. alterniflora* y dos ecotipos de manglar (bosque de manglar enano o “scrub” y de franja o “fringe”) dominados por *A. germinans*. Este estudio se enfocó en la evaluación de la productividad en el bosque de franja (Figura 1).

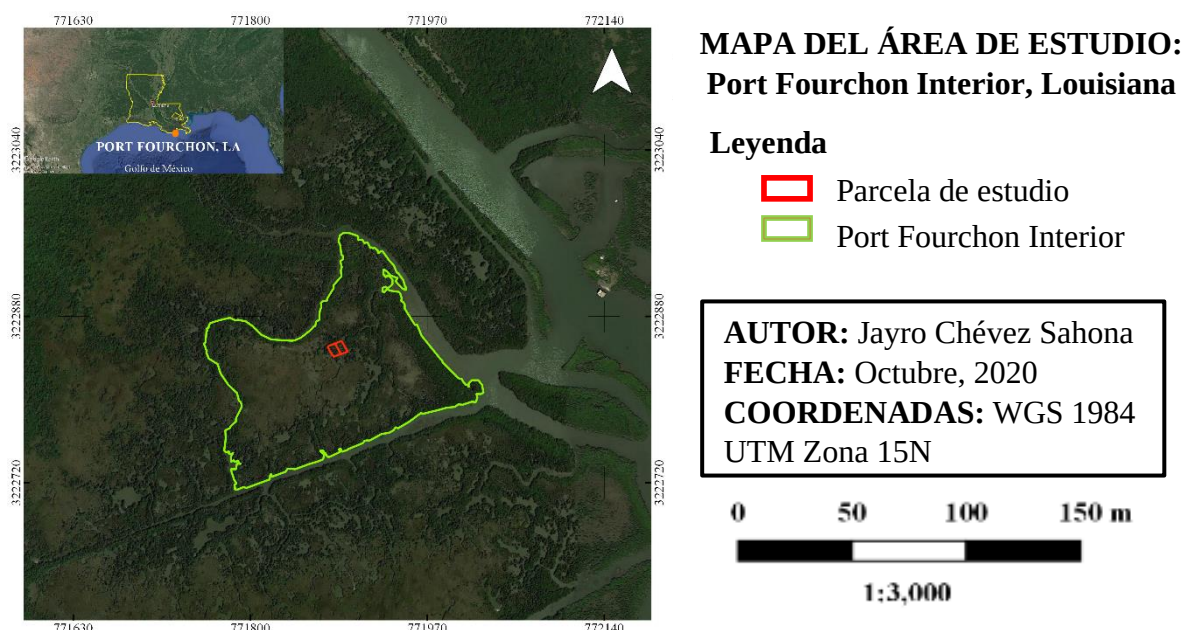


Figura 1. Ubicación del sitio y parcelas de estudio en Port Fourchon, LA

Tipo de estudio

El presente estudio tiene un enfoque cuantitativo con alcance descriptivo correlacional. La evaluación la productividad primaria neta de hojarasca y su influencia en las costas de Louisiana, permitirá a través de futuras simulaciones, conocer la dinámica de la caída del material orgánico al suelo y el aporte de nutrientes que promueven la regeneración natural de los bosques de manglar negro.

Toma de datos

La toma de los datos se llevó a cabo en el área de estudio conocido como Port Fourchon Fringe (PFF) desde el año 2016 hasta 2020. El sitio PFF estuvo dividido en dos “plots” de 10×10 metros.

Producción y variación estacional e interanual de hojarasca

Recolección de hojarasca. La dinámica de la producción de hojarasca PFF, se realizó a través del uso del método “litter baskets” (Figura 2). La hojarasca será recogida en cestas de madera de 0.25 m^2 de superficie con una altura de 1.5 m. El fondo de la misma fue construido con malla de fibra de vidrio con un grosor de 1 mm (Castañeda-Moya et al., 2013; Danielson et al., 2017; Rivera-Monroy et al., 2019).

Se colocaron 10 canastas debajo de la copa de los árboles con rango de altura entre 3 a 5 m (Figura 3). La materia orgánica (hojarasca) de cada canasta fue recolectada mensualmente entre 2016-2020. El material fue colectado manualmente y depositado en bolsas de papel pequeñas y transportado al laboratorio de biogeoquímica de humedales (WBL por sus siglas en inglés).

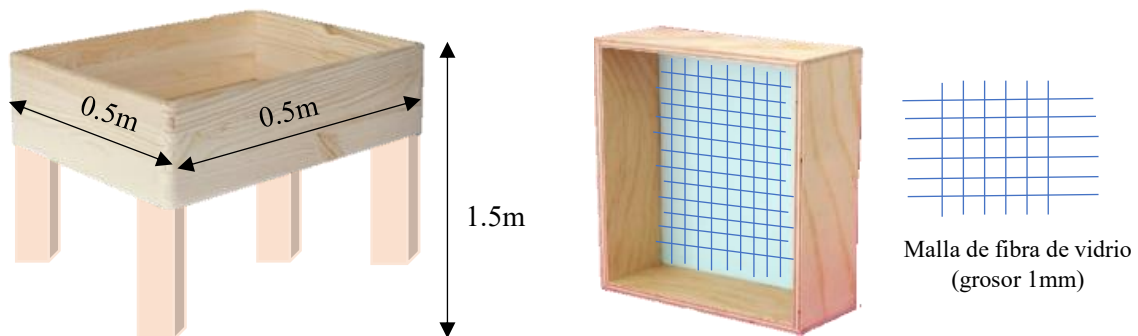


Figura 2. Diseño de cestas de madera para recolección de hojarasca

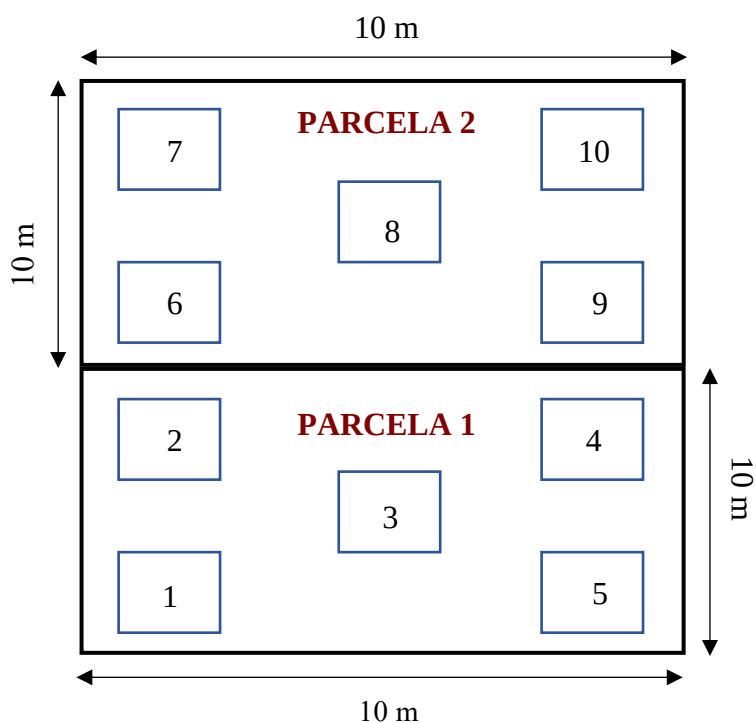


Figura 3. Ubicación de las cestas dentro de la parcela de estudio

Pesado, clasificación y secado de hojarasca. Teniendo las muestras en laboratorio, se registró el peso de cada clase que conforma la hojarasca por canasta. Esta consistió en separar toda la hojarasca recogida en cinco grupos: hojas, madera o leña, flores, propágulos y misceláneos o material que no fue posible discernir su origen (Figura 4). Habiendo realizado la distribución de acuerdo con el tipo de material, se colocaron todos los grupos en distintas bolsas de papel pequeñas y se rotularon indicando la fecha del viaje de campo en el que se recogió la hojarasca, su tipo y el número de la cesta de madera. Se tomaron las bolsas y se las colocaron dentro de un horno a 60°C por un periodo de 72 horas para su secado. Finalmente, se pesó la masa seca y registró el valor por unidad de área ($\text{g}/0.25\text{m}^2$).

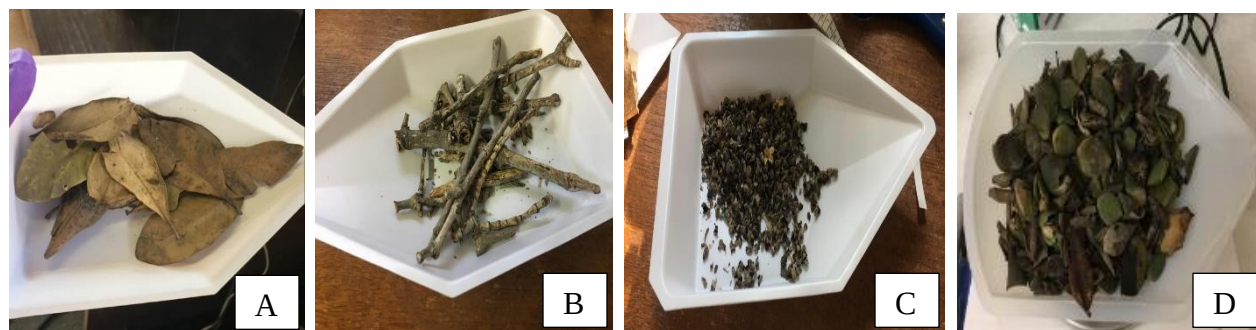


Figura 4. Clasificación de hojarasca: Hojas (A), madera (B), flores (C) y propágulos (D)

Relación de las proporciones estequiométricas C:N y N:P de la hojarasca

Para la determinación de la relación estequiométrica de C y nutrientes (N y P) en la materia orgánica colectada, se utilizó un analizador de carbono-nitrógeno (CHN “analyzer”) y análisis químico de fósforo total (TP). Para efectos del presente estudio, sólo se analizaron las hojas previamente clasificadas (2016-2018). Como parte del proceso de análisis de cada uno de los componentes de la hojarasca, el material fue molido usando una molienda fina utilizando rejillas de 0.841 mm (0.20 mesh). Luego, se colocó el producto obtenido en viales de vidrio con capacidad para 20 mL, y se rotularon para su registro en la bitácora de laboratorio.

Preparación de muestras: Carbono-Nitrógeno (CHN). La preparación de las muestras para el análisis de CHN fue el siguiente (Figura 5).

Se identificaron los viales de vidrio cuyo contenido de hojas de manglar *A. germinans* recolectadas y molidas. Con la ayuda de una pinza metálica pequeña, se tomó una cápsula de estaño prensado (8 × 5mm) y se ubicó sobre una balanza electrónico para su tarado. A esta, se añadió material vegetal entre un rango de 4 a 4.5 mg, intervalo recomendado de peso para llevar a cabo la prueba de CHN. Este peso se registró en el formulario de control o cadena de custodia (COC) con el respectivo número de identificación de cada muestra empacada.

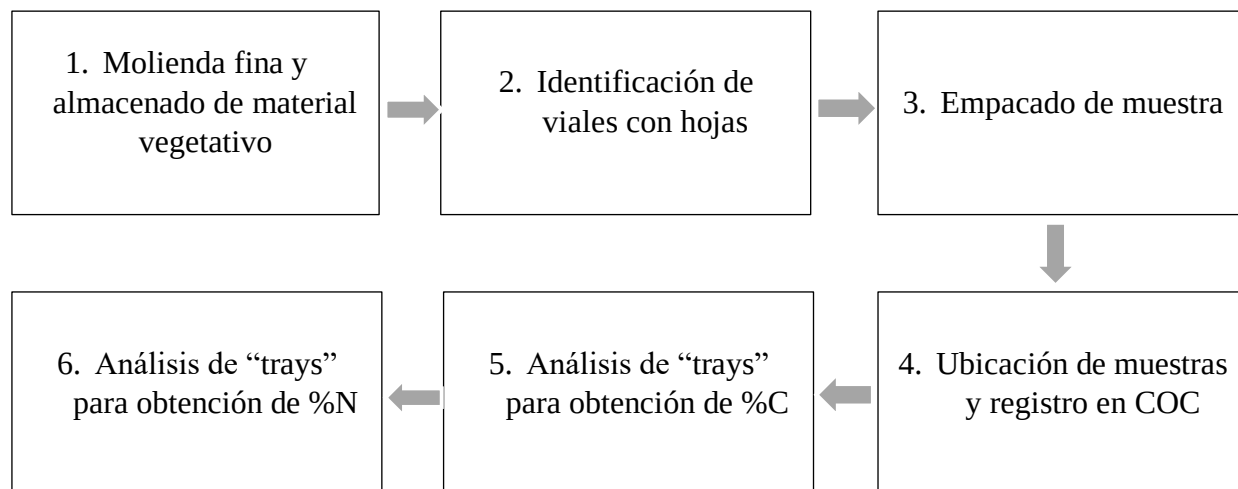


Figura 5. Proceso de preparación de muestras de hojarasca para análisis CHN

Las cápsulas de estaño con el peso requerido se colocaron de manera ordenada en bandejas de plástico o “trays”. Asimismo, fueron rotuladas y puestas en una cámara bajo vacío parcial para que la humedad del entorno no las afecte. Los “trays” fueron llevados al laboratorio de servicios analíticos de biogeoquímica de humedales (WBAS, por sus siglas en inglés), con el formulario COC antes elaborado, y de esta forma se pueda obtener el porcentaje de carbono (%C) y nitrógeno (%N).

El %N se obtuvo a través de la pulverización de una parte de las muestras tomadas a través de un analizador elemental ECS 4010 - Costech Analytical Technologies Inc. (Castañeda-Moya, Twilley, y Rivera-Monroy, 2013; Medina, 2016) y las concentraciones fueron reportada en en mg/g hojarasca por área (m²).

Preparación de muestras: Fósforo total (TP). Para la preparación de las muestras de TP, se realizó el siguiente protocolo de laboratorio (Figura 6) (Aspila, Agemian y Chau, 1976; Twilley, Rivera-Monroy, y Castañeda-Moya, 2002):

Después de la selección de los viales, se taró un matraz Erlenmeyer de 50 mL. Se le colocó un número de identificación junto al número de muestra que también fue registrado en la bitácora del laboratorio. Luego, se añadieron 0.20 gramos del material vegetal (hojas) contenido en los viales en cada matraz y se los colocó en el horno de mufla a una temperatura de 550°C por dos horas para su incineración. Transcurrido este tiempo, se apagó el equipo, se abrió la puerta de este para que la cristalería se enfríe y se pueda tener una mejor manipulación.

Seguido a esto, las muestras se diluyeron en 25 mL de solución de ácido clorhídrico (HCl) 1N que fue obtenido a partir de la adición de 85.3 ml de HCl concentrado al agua destilada-desionizada en un balón volumétrico, y elevando el volumen a 1L con el mismo líquido. Los matraces fueron cubiertos con papel “Parafilm®” y colocados por 16 horas en la mesa agitadora a 150 revoluciones por minuto (r/m). Posteriormente, las muestras fueron filtradas a través de papel filtro #42 usando embudos de vidrios de 3 pulgadas. La sustancia extraída es transferida a nuevos viales de vidrio de 20 mL, luego que se hayan enjuagado con agua destilada, para su almacenamiento y posterior rotulación.

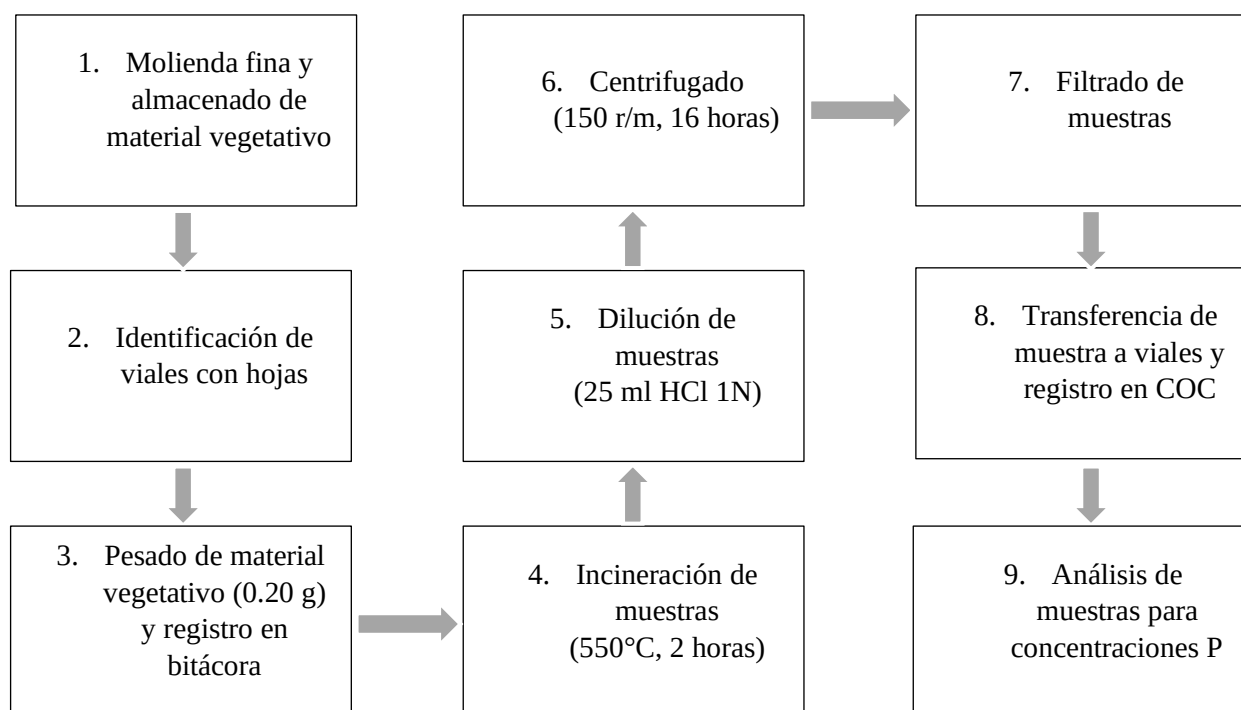


Figura 6. Proceso de preparación de muestras para análisis TP

Los viales obtenidos de la extracción o digestión seca fueron llevados a WBAS, con su respectivo formulario COC, para determinar la cantidad de fósforo presente en las hojas de mangle negro recolectadas. El cálculo fue determinado por colorimetría utilizando un análisis de flujo segmentado “Flow Solution IV autoanalyzer 885 nm” (Castañeda-Moya et al., 2013). Las concentraciones de P fueron reportadas en $\mu\text{g/g}$ hojarasca por unidad de área (m^2).

Contribución de carbono por hojarasca en Port Fourchon y comparación con otros sitios a nivel en el Golfo de México

Para conocer la contribución de carbono por PPN_h de *A. germinans* al ecosistema, se estimó el aporte de carbono de la hojarasca basado en todas las muestras recolectadas en los viajes de campo realizados mensuales durante el periodo 2016 a 2019 y la producción de hojarasca obtenida en el primer semestre del presente año. El contenido de carbono que aportan las hojas recolectadas al sitio de estudio se calculó a través del estimado de la producción diaria ($\text{g/m}^2/\text{día}$), tomando en cuenta los días efectivos entre viajes de campo (Ecuación 1). Los valores obtenidos previamente fueron utilizados para el cálculo de producción mensual ($\text{g/m}^2/\text{mes}$) (Ecuación 2) y posterior obtención de producción anual ($\text{g/m}^2/\text{año}$) (Ecuación 3). El aporte de C al sistema del manglar (Ecuación 4) fue obtenido del producto de la producción de hojarasca anual utilizando el factor de conversión de C del 44% y confirmados con los datos de C obtenidos directamente del laboratorio (ver Cuadro 4) (Danielson et al., 2017; Ewe et al., 2006). Los valores finales fueron reportados en $\text{gC/m}^2/\text{año}$.

$$\frac{\text{Hojarasca Ag (g/0.25m}^2\text{)}}{\text{Días efectivos} \times \text{Área canasta}} \quad [1]$$

$$\text{Producción diaria Ag (g/m}^2/\text{día)} \times \text{N}^\circ \text{ días totales mes de recolección (g/m}^2\text{)} \quad [2]$$

$$\text{Producción Ag (g/m}^2/\text{mes)} \times 12 \quad [3]$$

$$\text{Producción anual Ag (g/m}^2/\text{año)} \times 0.44 \quad [4]$$

Se realizó la comparación de los resultados obtenidos con estudios de productividad similares (PPN) a esta investigación. La selección de literatura se la realizó a través de bases de datos internacionalmente relevantes como “Elsevier”, “Journal of Storage” (JSTOR), “Mendeley”, “Research Gate”, “Springer Link” y “Wiley Online Library”. Para la búsqueda de información se utilizaron los siguientes criterios: 1) artículos científicos que contienen información sobre la evaluación de PPN_h en bosques de manglar de cualquier especie, y 2) estudios realizados dentro de los límites correspondientes al Golfo de México. Por lo tanto, las palabras claves utilizadas en el proceso de búsqueda fueron: “mangrove”, “litterfall”, “net primary productivity”, “NPP” y “Gulf of Mexico” (manglar, hojarasca, productividad primaria neta, PPN y Golfo de México respectivamente).

Posterior a la búsqueda y clasificación de literatura útil, se realizó una base de datos en Excel® y se logró identificar las siguientes variables: lugar y país del artículo en análisis, nombre del sitio de estudio especie de mangle dominante, peso seco de hojarasca tanto en g/m²/año como gC/m²/año y finalmente, los autores de la investigación.

Análisis estadístico

Las bases de datos empleadas en el estudio se construyeron a partir de los registros realizados en cada viaje de campo y resultados obtenidos luego de realizar los análisis de laboratorio correspondientes usando el programa Excel®. Para conocer la influencia tanto del año como las estaciones en la producción de hojarasca, se utilizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) de dos factores (años y estacionalidad). La variación en las proporciones de C: N y N: P en las muestras de hojarasca analizadas se conoció a través de la aplicación de regresión lineal que permitió estimar la relación e influencia entre los nutrientes evaluados en la productividad del bosque de manglar en Port Fourchon, Louisiana. Se utilizó el programa “Statistical Analysis System” (SAS versión 9.4®) y se trabajó utilizando un nivel de significancia de 5% ($\alpha = 0.05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación estacional e interanual de PPN_h de *A. germinans* e influencia con otros ecotipos de manglar en el Golfo de México

La variación estacional e interanual de hojarasca en la especie *A. germinans* fue obtenida a partir del peso de la hojarasca registrado (g/0.25 m²) en el periodo 2016 a 2020, tomando en cuenta que para el año 2020 sólo se reportan la hojarasca obtenida en el primer semestre. La variación interanual de PPN_h fue estimada a través de la suma de los valores promedios de producción anual por canasta (Cuadro 1).

Cuadro 1. Productividad primera neta (PPN_h) anual (2016-2020) de un bosque de *A. germinans*

Sitio	Año	Nº Canastas	Ag Hojas (g/0.25m ²)
PFF	2016	10	159.190
PFF	2017	10	81.703
PFF	2018	10	131.698
PFF	2019	10	52.355
PFF	2020 ⁱ	10	154.380

PFF: Port Fourchon Fringe; Ag: *Avicennia germinans*

ⁱ El peso de hojarasca reportado corresponde al primer semestre del año

Para conocer la variación estacional dentro del periodo evaluado, se agruparon los valores promedios de producción mensual por cesta de acuerdo a las estaciones marcadas por el calendario meteorológico del Servicio Meteorológico Nacional de Estados Unidos (NWS por sus siglas en inglés) (Invierno: diciembre 1 a febrero 28, Primavera: marzo 1 a mayo 31, Verano: junio 1 a agosto 31, y Otoño: septiembre 1 a noviembre 30]. Finalmente, se realizó su sumatoria y se determinaron los valores por cada estación en los años evaluados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variación estacional de PPN_h de *A. germinans*

Sitio	Estación	Nº Canastas	Ag Hojas (g/0.25m ²)
PFF	Invierno	10	367.785
PFF	Primavera	10	338.144
PFF	Verano	10	150.375
PFF	Otoño	10	380.913

PFF: Port Fourchon Fringe; Ag: *Avicennia germinans*

Una vez calculada la variación anual de hojarasca, se realizó la comparación de los resultados obtenido entre los años considerado para su evaluación (Figura 7). A pesar que en el 2016 sólo se realizó la toma de muestra en los últimos meses del año (noviembre y diciembre), la PPN_h obtenida de *A. germinans* fue mayor en comparación con los otros escenarios de producción anual. La

cantidad de biomasa obtenida este año se debe a los vientos de alta velocidad registrados durante situaciones de precipitaciones abundantes en Louisiana antes de los meses en los que se realizó la toma de las muestras (U.S. National Centers for Environmental Information, 2019). Esto pudo haber facilitado la caída de hojarasca y aumentar su volumen (Eslami-Andargoli, Dale, Sipe y Chaseling, 2009; Ward, Friess, Day y MacKenzie, 2016).

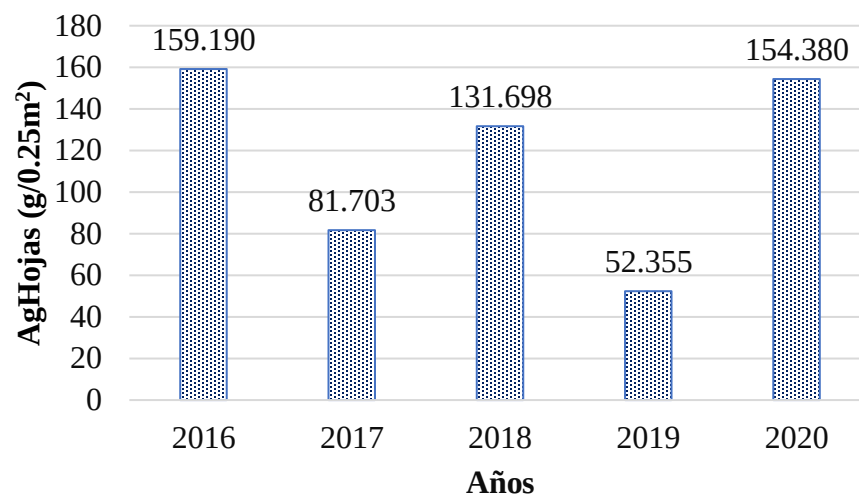


Figura 7. Productividad primera neta (PPN_h) anual (2016-2020) de *A. germinans*

La baja productividad de PPN_h en 2017 y 2019, se ve influenciada por el paso de huracanes (Harvey en 2017 y Barry en 2019) y una tormenta tropical (Cindy en 2017) en el área de estudio (U.S. National Weather Services, 2020). Las fuertes corrientes de viento y las acciones de las olas dispersan la hojarasca producida a los ecosistemas costeros cercanos (Alongi, 1998; Mo, Kearney y Turner, 2020), influyendo en la cantidad de PPN_h registrada en bitácora. Otra situación para considerar la baja producción de biomasa del bosque de *A. germinans*, son los eventos de fríos severos ocurridos al final del 2017 y que continuaron hasta los primeros días del mes de enero en el 2018 afectando la productividad primaria neta de ese año (Osland et al., 2020).

Con respecto a la variación estacional PPN_h del mangle negro en estudio (Figura 8), se encontró que otoño es la estación en donde más se registra la caída de hojarasca. La estación señalada coincide con la etapa de senescencia de los tejidos de las hojas de *A. germinans* (Mfilinge, Atta y Tsuchiya, 2005; Mchenga y Ali, 2017). Invierno fue la segunda estación con mayores niveles de PPN_h fue invierno. Este resultado indica que los picos de producción de hojas senescentes alcanzan el máximo en meses del año cuando la temperatura empieza a declinar. De esta forma, la materia orgánica se acumula en el suelo donde la tasa de descomposición es baja debido a las bajas temperaturas o es exportada por acción de la marea (Mfilinge et al., 2005; Zhang et al., 2014).

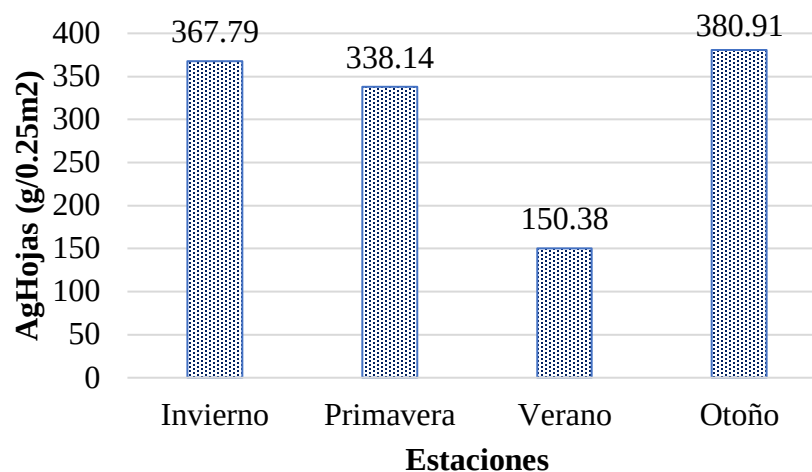


Figura 8. Variación estacional de PPN_h de *A. germinans*

Producción de hojarasca e interacción entre años y estaciones. Luego de haber conocido las cantidades de producción de hojarasca del bosque monoespecífico de *A. germinans* en Port Fourchon, fue necesario aplicar un análisis de varianza (ANDEVA) para conocer si existe alguna interacción entre los años y las estaciones consideradas para el estudio a través de sus medias. La ANDEVA es de dos factores: Años y estaciones (Cuadro 3). La interacción entre las variables años y estaciones mostró diferencia significativa ($P < 0.05$). Lo cual indica que la cantidad de hojarasca producida anualmente, depende de las condiciones climáticas que se presentan en cada estación del año y causan una influencia directa en el bosque de mangle (Edwards et al., 2018). Las perturbaciones climáticas más conocidas dentro de la zona del Golfo de México son los huracanes (Danielson et al., 2017), ya que desencadena una alteración de factores como el viento, frecuencia de lluvias y origen de tormentas (Tanner, Rodríguez-Sanchez, Healey, Holdaway y Bellingham, 2014), que generan un efecto significativo en la PPN_h y en la recuperación del ecosistema (Danielson et al., 2017; Lugo, 2008; Smith et al, 2009).

Cuadro 3. Análisis de varianza (ANDEVA) de dos factores

Fuente de variación	GL	SS	MS	F	Pr > F
Años	4	150.717	37.679	2.180	0.0755
Estaciones	3	978.740	326.246	18.889	< .0001*
Canastas	9	567.125	63.013	3.650	0.0005*
Años × Estaciones	6	8,172.295	1,362.049	78.850	< .0001*

*La correlación es significativa al nivel del 5% ($\alpha=0.05$)

GL: Grados de libertad; SS: Suma de cuadrados; MS: Cuadrado medio; F: Valor F; Pr > F: Valor de la probabilidad

Relación de las proporciones estequiométricas C: N, N: P de la hojarasca e influencia de la productividad del bosque de manglar

Luego de haber procesado las muestras de hojarasca obtenidas de cada canasta en laboratorio, se obtuvieron las concentraciones de C y N, numerales (mg/ghojas.m²) y porcentuales (%), y también la cantidad de fósforo presente (µg/ghojas. m²). Se realizó un promedio mensual de todos los valores obtenidos para cada nutriente presente en la hojarasca recolectada en los viajes de campo realizados entre los periodos 2016 a 2018 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de hojarasca para obtención de niveles de C, N y P total

Sitio	Mes	Año	C (%)	N (%)	C (mg/ghojas.m ²)	N (mg/ghojas.m ²)	TP (µg/ghojas.m ²)
PFF	11	2016	44.03	0.94	440.27	9.35	948
PFF	12	2016	43.29	0.94	432.89	9.42	948
PFF	1	2017	45.21	1.30	452.07	12.96	1,043
PFF	2	2017	43.37	1.38	433.74	13.85	1,190
PFF	3	2017	46.08	1.02	460.79	10.20	879
PFF	4	2017	42.66	0.93	429.33	9.31	1,041
PFF	6	2017	44.18	1.34	439.38	13.45	1,029
PFF	7	2017	46.02	1.01	460.17	10.11	1,042
PFF	9	2017	43.84	0.93	438.44	9.26	984
PFF	10	2017	44.95	0.83	449.48	8.30	837
PFF	11	2017	43.01	0.73	430.09	7.32	776
PFF	2	2018	46.25	1.20	462.55	12.02	1,076
PFF	3	2018	46.06	1.71	460.57	17.12	1,421
PFF	4	2018	47.57	1.91	475.66	19.05	1,201
PFF	5	2018	43.20	1.33	432.05	13.34	1,283

PFF: Port Fourchon Fringe; C: Carbono; N: Nitrógeno; TP: Fósforo total.

A partir de los análisis llevados a cabo, se identificó que, dentro del contexto de composición de nutrientes en la hojarasca, el C es el elemento que se encuentra en mayor proporción en las muestras analizadas en comparación con el N (Kamruzzaman, Basak, Paul, Ahmed y Osawa, 2019). El presente escenario se da ya que en la hojarasca se encuentran compuestos orgánicos recalcitrantes que ayudan a aumentar la fuente de C como lo son la celulosa y la lignina, formadores de estructuras de sostén (Talbot y Treseder, 2012; Wang et al., 2016; Kamruzzaman et al., 2019) y que pueden ser de difícil degradación a elementos sencillos para que puedan ser asimilables para la planta (Srisunont, Jaiyen, Tenrunga, Likitchaikul y Srisunont, 2017). La tendencia de concentraciones obtenidas de los elementos C y N en este estudio es inversa a la registrada en investigaciones previas, en donde *A. germinans* posee mayores unidades de N debido que los compuestos de celulosa y lignina han sufrido un rápido proceso de degradación, causando que los valores de C disminuyan (Robertson, 1988; Steinke, Holland y Singh, 1993; Galeano, Mancera y Medina, 2010). Los altos niveles de N en la hojarasca de los estudios antes mencionados, también se encontrarían influenciados por las cantidades de taninos en las hojas que inhiben la degradación de estos elementos (Steinke et al., 1993; Torres, Infante-Mata, Sánchez, Espinoza-Tenorio y Barba,

2018), pero que aportan un gran valor nutricional y de interés para los microorganismos descomponedores que se encuentran en el medio (S. Wafar, Untawale y Wafar, 1997; Vinh, Allenbach, Linh y Marchand, 2020).

Las bajas cantidades de N y P evidenciadas se deben a la poca disponibilidad de estos nutrientes en el sustrato donde se está desarrollando el bosque de mangle (Srisunont et al., 2017; Kamruzzaman et al., 2019). El recurso suelo sufrió un proceso de meteorización que está dando paso a la lixiviación de estos nutrientes (Romine y Metzger, 1939; Reef et al., 2010). Todo esto limita al manglar en la absorción de los mismos que posteriormente le servirán para el crecimiento de nuevo material vegetativo (Lugo y Snedaker, 1974; Reef et al., 2010; Rovai et al., 2018). Las concentraciones de N resultantes en las hojas de *A. germinans* también se deben a la capacidad de absorción foliar de este elemento encontrado en la atmósfera y la forma en que es asimilado en forma de amonio (NH_3) por las proteínas solubles en cada árbol de mangle (Fogel et al., 2008). Además, las bajas concentraciones de P obtenidas se deben a que este elemento puede estar inmóvil y no puede ser aprovechado totalmente por las raíces y luego ser distribuido a diferentes estructuras de la planta (Reef et al., 2010).

Relación de las proporciones estequiométricas. Una vez conocida la proporción de nutrientes (C, N y P) que componen la hojarasca presente en los bosques monoespecíficos de *A. germinans*, es necesario estimar la influencia que poseen entre sí al momento que hayan caído al suelo. Por lo tanto, se utilizó una correlación de Pearson para conocer la fuerza de asociación estequiométrica entre las variables C, N y P. Seguidamente, se aplicó una regresión lineal para poder estimar el comportamiento de los nutrientes cuando exista relación de dependencia entre ellos. La relación de los nutrientes fue evaluada usando los cocientes C:N y N:P.

Dentro de la proporción estequiométrica C:N, la correlación de Pearson demostró que el grado asociación existente entre estos nutrientes es moderada (Cuadro 5). La asociación entre estas variables se debe a la disposición del C y N en el suelo para ser aprovechados por la especie *A. germinans* a través de la descomposición de la materia orgánica disponibles a través de las bacterias denitrificadoras que se desarrollan en un medio anóxico (Mfilinge et al., 2005; Shiau y Chiu, 2020). Por otro lado, el análisis de correlación N:P mostró una relación alta entre ambas variables (Cuadro 6), debido que son nutrientes complementarios y esenciales para que la hoja complete procesos bioquímicos como la respiración, transpiración y fotosíntesis (Minden, Kleyer y Byers, 2014; Pang et al., 2020). La presencia tanto del N como del P en los sustratos de desarrollo de los bosques de manglar en el norte, noroeste y suroeste del Golfo de México, dependen directamente de la presencia de sedimentos que pueden ser arrastrados por los variantes niveles de marea y depositados en el suelo para que puedan ser asimilados por los especies de mangle presentes (Osland et al., 2018).

Cuadro 5. Análisis de correlación de Pearson entre proporciones C:N

Parámetros estadísticos	Nutrientes evaluados	
	Carbono (C)	Nitrógeno (N)
Carbono (C)		
N ^{&}	15	15
Nivel de significancia		0.039*
Coeficiente de correlación	1.00	0.536
Nitrógeno (N)		
N ^{&}	15	15
Nivel de significancia	0.039*	
Coeficiente de correlación	0.536	1.00

*La correlación es significativa al nivel de 5% ($\alpha=0.05$). [&]Muestra usada en el análisis de correlación

Cuadro 6. Análisis de correlación de Pearson entre proporciones N:P

Parámetros estadísticos	Nutrientes evaluados	
	Nitrógeno (N)	Fósforo (P)
Nitrógeno (N)		
N ^{&}	15	15
Nivel de significancia		0.0001*
Coeficiente de correlación	1.000	0.8337
Fósforo (P)		
N ^{&}	15	15
Nivel de significancia	0.0001*	
Coeficiente de correlación	0.8337	1.000

*La correlación es significativa al nivel de 5% ($\alpha=0.05$). [&]Muestra usada en el análisis de correlación

Seguidamente, se aplicó una regresión lineal para estimar la relación y el comportamiento entre las proporciones de los nutrientes que fueron encontrados en las hojas de *A. germinans*: C, N y P. Los modelos de regresiones para C:N y N:P demostraron que las variables evaluadas en cada escenario tienen una relación positiva en su línea de tendencia, pero poseen un coeficiente de determinación que nos indican que los datos utilizados para el análisis no se ajustan a los modelos ($R^2 < 0.70$) (Figura 9). El desajuste se debe a la variación de las condiciones atmosféricas en el sitio de estudio, suscitadas a partir de depresiones como el huracán Harvey y la tormenta tropical Cindy en 2017 (U.S. National Weather Services, 2020) que causaron variaciones en la producción de biomasa recolectada para ser analizada en laboratorio (Mo et al., 2020). A pesar de que los coeficientes de determinación son menores a lo requerido ($R^2 < 0.70$), los modelos lineales resultantes de la estequiometría C:N y N:P poseen valores probabilísticos menores al nivel de significancia determinado para la investigación ($\alpha = 0.05$) (Cuadro 7). Por lo que se puede afirmar que los modelos lineales de las proporciones entre los nutrientes evaluados son significativos.

Desde el punto de vista biológico, el coeficiente de determinación obtenido en la proporción C:N se debe a la relación funcional que tiene el elemento N sobre la regulación de las cantidades de C durante la translocación (Chapin et al., 2011). Proceso en el cual la planta reincorporará el N al sistema a través de la hojarasca en niveles senescentes debido que este nutriente se encuentra en cantidades limitadas en el suelo (Wang, M. Wang y Lin, 2003). Mientras tanto, la planta evaluará las estructuras foliares vivas que no están aportando a suplir los niveles de N requeridos e inducirá a su defoliación, a pesar que no se encuentren estado de senescencia (Ågren, 2008). Por otro lado, el R^2 obtenido en la relación N:P es el debido que ambos nutrientes poseen una baja disponibilidad en el entorno y son obtenidos mediante la reabsorción de estos elementos encontrados en la hojarasca una vez que esta se incorporó al suelo y fue asimilado por la planta (Reed, Townsend, Davidson y Cleveland, 2012).

Cuadro 7. Regresiones lineales para proporciones estequiométricas C:N y N:P

	GL	SS	MS	F	Pr > F
Regresión C:N					
Modelo	1	44.008	44.008	5.23	0.0396*
Error	13	109.351	8.411		
Total	14	153.359			
Relación N:P					
Modelo	1	285,190	285,190.00	29.63	0.0001*
Error	13	125,122	9,624.77		
Total	14	410,312			

*La correlación es significativa al nivel de 5% ($\alpha=0.05$)

C: Carbono; N: Nitrógeno; P: Fósforo; GL: Grados de libertad; SS: Suma de cuadrados
MS: Cuadrado medio; F: Valor F; Pr > F: Valor de la probabilidad

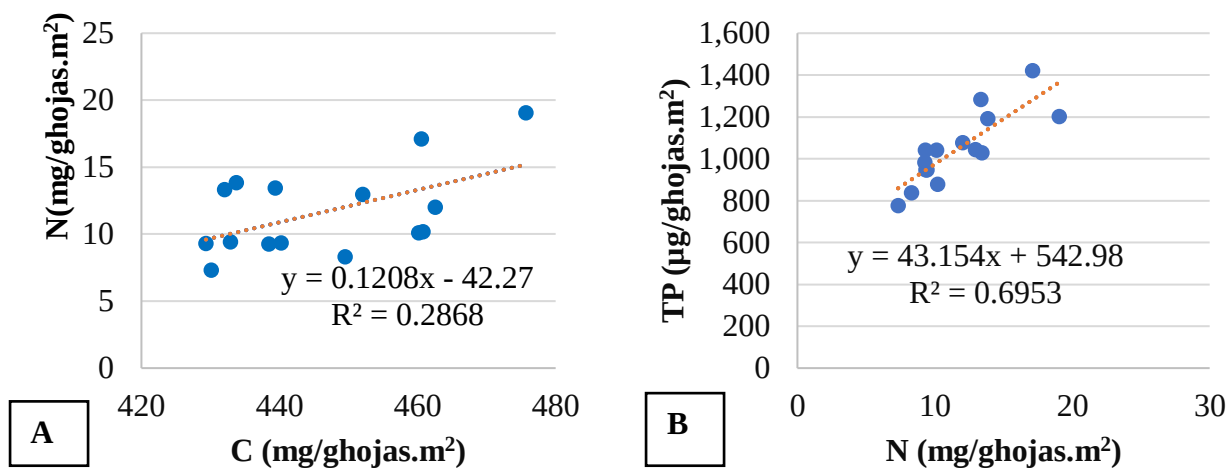


Figura 9. Regresión lineal para proporciones C:N (A) y N:P (B)

Evaluación de la contribución de carbono por hojarasca en Port Fourchon comparativamente con otros sitios a nivel en el Golfo de México

La contribución de carbono (C) por caída de hojarasca fue calculado para cada canasta establecidas en las parcelas de estudio. Posteriormente, se obtuvo el valor promedio de aporte de C por parte del bosque de *A. germinans* al ecosistema (Cuadro 8). El bosque de monoespecífico de manglar en estudio aporta un aproximado de 154.628 gC/m²/año.

Cuadro 8. Contribución promedio anual de C al ecosistema

Sitio	Plot	Nº Canasta	Hojarasca (g/m ² /año)	Hojarasca (gC/ m ² /año)
PFF	1	1	256.584	112.897
PFF	1	2	343.443	151.115
PFF	1	3	374.640	164.841
PFF	1	4	393.308	173.055
PFF	1	5	405.457	178.401
PFF	2	6	422.131	185.738
PFF	2	7	358.794	157.870
PFF	2	8	330.148	145.265
PFF	2	9	322.746	142.008
PFF	2	10	307.018	135.088
Contribución de C promedio al sistema			351.427	154.628

PFF: Port Fourchon Fringe; C: Carbono

La contribución promedio de C al sistema depende totalente de altas o bajas cantidades de productividad primaria neta de los bosques de manglar (Ochoa-Gómez et al., 2019), que a su vez influyen en el potencial de este ecosistema para proveer servicios ecosistémicos (SE) como el secuestro, fijación y almacenamiento de C al suelo, que ayudan a mitigar el exceso de CO₂ en la atmósfera (McLeod et al., 2011). Los manglares, en comparación con otros tipos de bosques como los templados y los tropicales, son ecosistemas con mayor capacidad para llevar a cabo los SE antes mencionados (Donato et al., 2011). Por ello, la necesidad de comparar el resultado obtenido de aporte de C con literatura científica de estudios llevados a cabo en todo el área del Golfo de México (Cuadro 9).

A pesar que el presente estudio se encuentra ubicado a mayor latitud que los estudios previos, este reporta mayor aporte de C con respecto a las cantidad registradas en estudios realizados en las localidades de Quintana Roo, La Mancha Sur IV, Laguna Chica y Barra de Navidad en México (Figura 10) (Agraz-Hernández et al., 2011; Infante-Mata, Moreno-Casasola, & Madero-Vega, 2012; Mendoza-Morales et al., 2016; Navarrete y Oliva-Rivera, 2002). Las diferencias entre temperaturas anuales promedios del aire y las precipitaciones entre latitudes (Yando et al., 2016; Osland et al., 2018), deberían ser limitantes para que en Port Fourchon se reporte menor cantidad

de contribución de C y no se evidencie mayores unidades $\text{gC/m}^2/\text{año}$ que en latitudes tropicales más bajas (Ezcurra et al., 2016). Los otros estudios analizados contribuyen mayores niveles de C al ecosistema que lo registrado en Port Fourchon, pero en estos no sólo se desarrollan bosques de *A. germinans*. Si únicamente se consideran sitios monoespecíficos con especies de mangle negro, el aporte de C registrado en la presente investigación es inferior y sólo supera al registrado en el punto Basin-Scrub en Laguna de Términos (Cuadro 9) (Day et al., 1996).

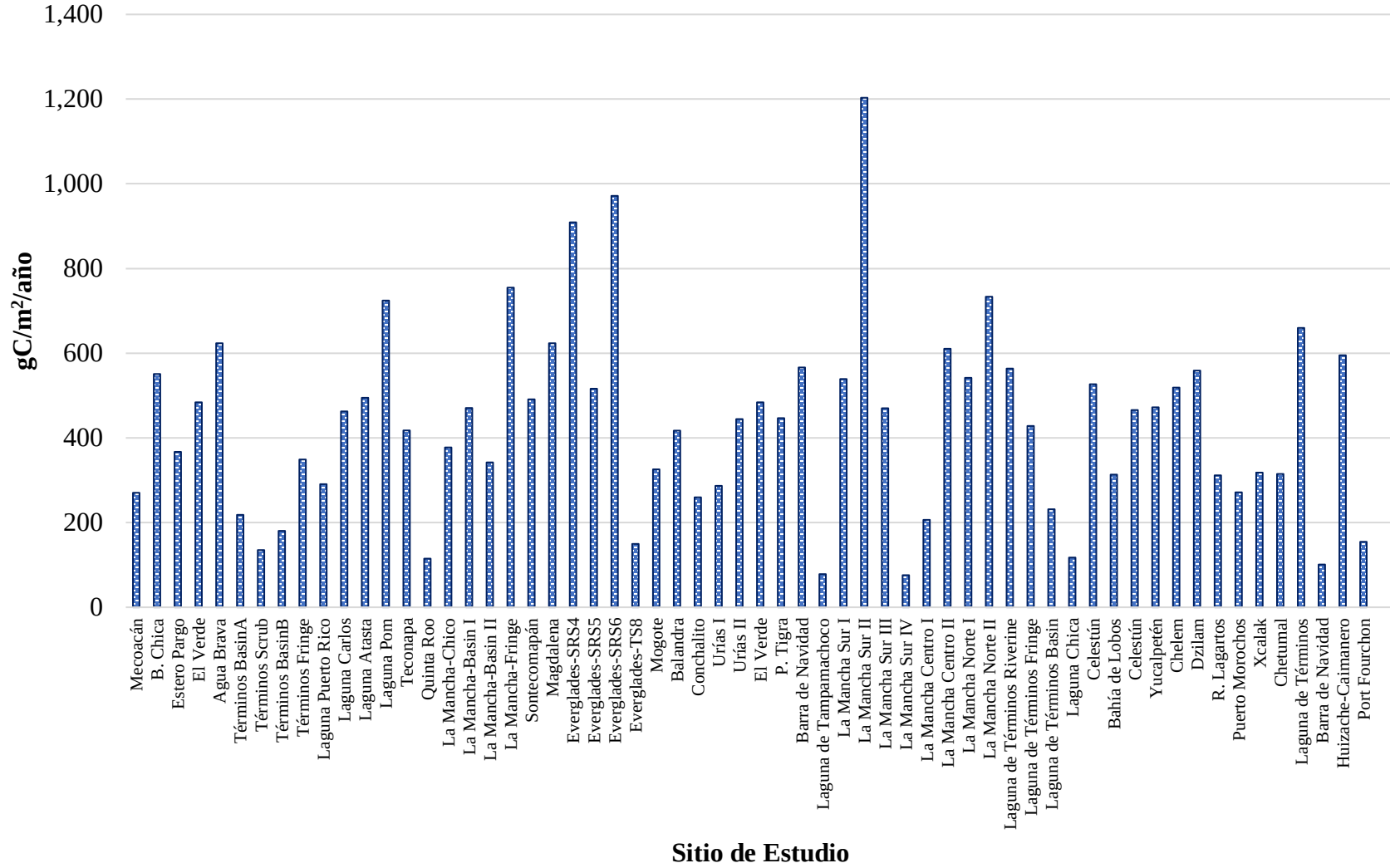


Figura 10. Aportación de C por hojarasca a nivel del Golfo de México

Cuadro 9. Evaluación de contribución de C por hojarasca en Port Fourchon con estudios previos en el Golfo de México

Sitio de Estudio	País	Muestreo	Ecotipo	Especie Dominante	Hojarasca en peso seco		Fuente
					g/ m ² /año	gC/ m ² /año	
Laguna de Mecoacán	México			MM	614.45	270.36	López-Portillo y Ezcurra, 1985
Laguna de Términos	México	B. Chica Estero Pargo		MM	1,251.90 834.10	550.84 367.00	Day et al., 1987
Laguna El Verde	México			Lr	1,100.00	484.00	Flores-Verdugo et al., 1987
Teacapan-Agua Brava	México			Rm, Lr, Ag	1,417.00	623.48	Flores-Verdugo et al., 1990
Laguna de Términos	México		Basin _a	Ag	496.00	218.24	Day et al., 1996
			Scrub	Ag	307.00	135.08	
			Basin _b	Ag	410.00	180.40	
			Fringe	Ag, Rm	793.00	348.92	
Laguna de Puerto Rico				MM	660.65	290.69	
Laguna de Carlos	México			MM	1,051.20	462.53	Barreiro-Güemes et al., 1999
Laguna de Atasta				MM	1,124.20	494.65	
Laguna de Pom				MM	1,646.15	724.31	
Barra de Tecanapa	México			Ce	949.00	417.56	Tovilla-Hernández y De la Lanza, 1999
Quintana Roo	México			Rm	261.00	114.84	Navarrete y Oliva-Riviera, 2002
Laguna La Mancha	México	B. Chico			857.75	377.41	Utrera-López y Moreno-Casasola, 2008
			Basin I		1,069.45	470.56	
			Basin II		777.45	342.08	
			Fringe		1,715.50	754.82	
Laguna Sontecomapan	México		Relic Riverine	MM	1,116.00	491.04	Aké-Castillo, Vázquez, & López-Portillo, 2006
Bahía Magdalena	México			Rm, Lr, Ag	1,417.00	623.48	Chávez-Rosales, 2006

Ag: *Avicennia germinans*; Rm: *Rhizophora mangle*; Lr: *Laguncularia racemosa*; Ce: *Conocarpus erectus*; MM: Manglar mixto

Cuadro 9. Continuación. Evaluación de contribución de C por hojarasca en Port Fourchon con estudios en el Golfo de México

Sitio de Estudio	País	Muestreo	Especie Dominante	Hojarasca en peso seco		Fuente
				g/ m ² /año	gC/ m ² /año	
Everglades, Florida	Estados Unidos	SRS4	Rm, Lr, Ce	2,066.00	909.04	Ewe et al., 2006
		SRS5	Rm, Ag, Lr	1,173.00	516.12	
		SRS6	Rm, Ag, Lr	2,208.00	971.52	
		TS8	Ce, Rm	340.00	149.60	
El Mogote	México		Rm, Lr, Ag	740.20	325.69	Félix-Pico et al., 2006
Balandra			Rm	948.00	417.12	
El Conchalito			Rm, Lr, Ag	590.02	259.61	
Estero de Urías I			Ag	651.70	286.75	
Estero de Urías II			Rm	1,010.00	444.40	
El Verde			Lr	1,100.00	484.00	
P. Tigra/A. Brava			Rm, Lr, Ag	1,015.00	446.60	
Barra de Navidad			Rm, Lr, Ag	1,287.00	566.28	
Laguna de Tampamachoco/Esteros de Tumilco y Jácome	México		Ce	177.84	78.25	Basañez-Muñoz et al., 2008
Laguna La Mancha	México	Sur I	Rm	1,224.90	538.96	Agraz Hernandez et al., 2011
		Sur II	Rm, Ag	2,734.30	1,203.09	
		Sur III	Ag, Rm	1,068.10	469.96	
		Sur IV	Ag, Rm	172.25	75.79	
		Centro I	Rm, Lr	469.00	206.36	
		Centro II	Ag, Rm	1,387.30	610.41	
		Norte I	Rm	1,231.30	541.77	
		Norte II	Rm, Lr, Ag, Ce	1,666.70	733.35	

Ag: *Avicennia germinans*; Rm: *Rhizophora mangle*; Lr: *Laguncularia racemosa*; Ce: *Conocarpus erectus*

Cuadro 9. Continuación. Evaluación de contribución de C por hojarasca en Port Fourchon con estudios en el Golfo de México

Ubicación	País	Ecotipo	Especie Dominante	Hojarasca en peso seco		Fuente
				g/ m ² /año	gC/ m ² /año	
Laguna de Términos	México	Riverine		1,281.00	563.64	Coronado-Molina et al., 2012
		Fringe		973.00	428.12	
		Basin		526.00	231.44	
Laguna Chica	México		Lr, Rm	266.71	117.35	Infante-Mata et al., 2012
Celestún	México		Rm	1,197.00	526.68	Adame y Lovelock, 2011
Bahía de Lobos			Ag	712.00	313.28	
Celestún	México			1,058.50	465.74	Adame et al., 2012
Yucalpetén				1,073.10	472.16	
Chelem				1,178.95	518.74	
Dzilam				1,270.20	558.89	
R. Lagartos				708.10	311.56	
Puerto Morochos				616.85	271.41	
Xcalak				722.70	317.99	
Chetumal				715.40	314.78	
Laguna de Términos	México		Rm	1,499.15	659.63	Agraz-Hernández et al., 2015
Barra de Navidad	México		MM	229.44	100.95	Mendoza-Morales et al., 2015
Huizache-Caimanero	México		Lr, Ag	1,352.55	595.12	Flores-Cárdenas et al., 2017
Port Fourchon	Estados Unidos	Franja	Ag	351.43	154.63	Presente estudio

Ag: *Avicennia germinans*; Rm: *Rhizophora mangle*; Lr: *Laguncularia racemosa*; Ce: *Conocarpus erectus*

4. CONCLUSIONES

- La cantidad promedio anual de hojarasca tiene una estrecha interacción con las estaciones y los eventos climáticos que se desarrollen en cada época. La mayor variación interanual de hojarasca en el bosque monoespecífico de *A. germinans* tuvo lugar en el año 2016, mientras que en términos de variación estacional (PPN_h), otoño fue el periodo con mayor caída de hojarasca.
- El carbono (C) se encuentra en mayor proporción que el nitrógeno (N) en la hojarasca recolectada de *A. germinans*, mientras que el fósforo (P) fue el nutriente hallado en menor cantidad debido a procesos de translocación en época de invierno.
- En Port Fourchon, la contribución de carbono (C) por hojarasca fue mayor que otros estudios de latitudes tropicales en el Golfo de México. Esto indica la existencia de ríos que aportan nutrientes al sistema creando un ambiente geomorfológico con mayor influencia en el desarrollo del bosque.

5. RECOMENDACIONES

- Diseñar un modelo espaciotemporal que permita determinar el patrón de producción interanual y estacional de la hojarasca tomando en cuenta las condiciones climáticas y las perturbaciones naturales que se pueden suscitar en el sitio de estudio. De esta forma, se podrá obtener un estimado de “litterfall” de *A. germinans* para cada año y estación evaluada en Port Fourchon Interior.
- Determinar el tiempo de degradación de la hoja en el suelo y analizar la dinámica de los nutrientes presentes en la hoja en los diferentes estratos del suelo.
- Comparar el aporte de carbono obtenido en el bosque *A. germinans* con otros estudios a nivel mundial.
- Replicar el estudio en bosques de mangle con menores latitudes tropicales (manglares sudamericanos) para conocer las tasas de PPN_h y el aporte de carbono al sustrato en el que se desarrollan.

6. LITERATURA CITADA

- Aburto-Oropeza, O., Ezcurra, E., Danemann, G. D., Valdez, V., Murray, J. H. y Sala, E. (Julio de 2008). Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(30), 10456-10459. doi: 10.1073/pnas.0804601105
- Acharya, G. (2002). Life at the margins: The social, economic and ecological importance of mangroves. *Madera y bosques*, 8(Es1), 53-60. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/617/61709803.pdf>
- Adame, M. F., Zaldívar-Jimenez, A., Teutli, C., Caamal, J. P., Andueza, M. T., López-Adame, H., . . . Herrera-Silveira, J. A. (2012). Drivers of mangrove litterfall within a karstic region affected by frequent hurricanes. *O(0)*, 1-8. doi:10.1111/btp.12000
- Adame, M. F. y Lovelock, C. E. (2011). Carbon and nutrient exchange of mangrove forests with the coastal ocean. *Hydrobiología*, 663, 23-50. doi:10.1007/s10750-010-0554-7
- Agraz-Hernández, C., Chan, C. A., Iriarte-Vivar, S., Posada, G., Vega, B. y Osti, J. (2015). Phenological variation of *Rhizophora* mangrove and groundwater chemistry associated to changes of the precipitation. *Hidrobiológica*, 25(1), 49-61. Recuperado de <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/461>
- Agraz-Hernández, C., García-Zaragoza, C., Iriarte-Vivar, S. y Flores-Verdugo, F. (2011). Forest structure, productivity and species phenology of mangroves in the La Mancha Lagoon in the Atlantic coast of Mexico. *Wetlands Ecology Management*, 19, 273-293. doi:10.1007/s11273-011-9216-4
- Ågren, G. I. (2008). Stoichiometry and Nutrition of Plant Growth in Natural Communities. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 39(1), 153-170. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173515
- Aké-Castillo, J. A., Vázquez, G. y López-Portillo, J. (2006). Litterfall and decomposition of *Rhizophora* mangrove L. in a coastal lagoon in the southern Gulf of Mexico. *Hydrobiologia*, 559, 101-111. doi:10.1007/s10750-005-0959-x
- Alongi, D. (1998). *Coastal Ecosystem Processes mangroves and salt marshes*. Boca Ratón, Florida: CRC Press. Recuperado de <https://catalogue.nla.gov.au/Record/1363820>
- Alongi, D. M. (2002). Present State and Future of the World's Mangrove Forests. *Environmental Conservation*, 3(29), 331-349. doi:10.1017/S0376892902000231
- Alongi, D. M., Clough, B. F. y Robertson, A. I. (Junio de 2005). Nutrient-use efficiency in arid-zone forests of the mangroves *Rhizophora stylosa* and *Avicennia marina*. *Aquatic Botany*, 82(2), 121-131. doi:10.1016/j.aquabot.2005.04.005
- Aspila, K., Agemian, H. y Chau, A. (Marzo de 1976). A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. *Analyst Journal*, 101(1200), 187-197. doi:10.1039/an976100187
- Austin, M. P. y Heyligers, P. C. (1989). Vegetation survey design for conservation: Gradsect sampling of forests in North-eastern New South Wales. *Biological Conservation*, 50(1-4), 13-32. doi:10.1016/0006-3207(89)90003-7
- Barreiro-Güemes, M. T. (1999). Aporte de hojarasca y renovación foliar del manglar en un sistema estuario del Sureste de México. *Revista Biología Tropical*, 47(4), 729-737. Recuperado

- de https://tropicalstudies.org/rbt/attachments/volumes/vol474/10_Barreiro_Renovacion_foliar.pdf
- Basáñez-Muñoz, A., Cruz-Lucas, M., Dominguez, C., González, C., Serrano, A. y Hernández, A. (2008). Structure and production of *Conocarpus erectus* L. at the Ramsar Site "Manglares y Humedales de Tuxpan", Veracruz, Mexico. *Revista Científica UDO Agrícola*, 8(1), 78-87. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3094838>
- Bouillon, S., Borges, A. V., Castañeda-Moya, E., Diele, K., Dittmar, T., Duke, N. C., . . . Twilley, R. R. (9 de Mayo de 2008). Mangrove production and carbon sinks: A revision of global budget estimates. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(2), 12. doi:10.1029/2007GB003052
- Calderon, C., Aburto, O. y Ezcurra, E. (2009). El Valor de los Manglares. *Biodiversitas*(82), 1-6. Recuperado de <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/7216.pdf>
- Castañeda-Moya, E., Rivera-Monroy, V. H. y Twilley, R. R. (2006). Mangrove zonation in the dry life zone on the Gulf of Fonseca, Honduras. *Estuaries and Coasts*, 29(5), 751-764. doi:10.1007/BF02786526
- Castañeda-Moya, E., Rivera-Monroy, V. H., Chambers, R., Zhao, X., Lamb-Wotton, L., Gorsky, A., . . . Hiatt, M. (Febrero de 2020). Hurricanes fertilize mangrove forests in the Gulf of Mexico (Florida Everglades, USA). (K. W. Krauss, Ed.) *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(9), 1-11. doi:10.1073/pnas.1908597117
- Castañeda-Moya, E., Twilley, R. R. y Rivera-Monroy, V. H. (Noviembre de 2013). Allocation of biomass and net primary productivity of mangrove forests along environmental gradients in the Florida Coastal Everglades, USA. (D. Binkley, M. E. Fernandez, T. S. Frederickse, H. Mäkinen , C. Prescotty M. Tomé, Edits.) *Forest Ecology and Management*, 307, 226-241. doi:10.1016/j.foreco.2013.07.011
- Cavanaugh, K. C., Kellner, J. R., Forde, A. J., Gruner, D. S., Parker, J., Rodriguez, W. y Feller, I. C. (14 de Enero de 2014). Poleward expansion of mangroves is a threshold response to decreased frequency of extreme cold events. (G. M. Woodwelly W. Hole, Edits.) *PNAS: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(2), 723-727. doi:10.1073/pnas.1315800111
- Chapin, F. S., Power, M. E., Pickett, S. T., Freitag, A., Reynolds, J. A., Jackson, R. B., . . . Bartuska, A. (8 de Agosto de 2011). Earth stewardship: science for action to sustain the human-earth system. (D. P. Peters, Ed.) *Ecosphere*, 2(8), 1-20. doi:10.1890/ES11-00166.1
- Chávez-Rosales, S. (2006). *El papel de los manglares en la producción de las comunidades acuáticas de Bahía Magdalena*. Recuperado de Instituto Politécnico Nacional (IPN): www.repositoriodigital.ipn.mx:123456789/16361
- Cintrón-Molero, G. y Schaeffer-Novelli, Y. (1983). *Introducción a la ecología del manglar*. Montevideo: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. Recuperado de <https://www.worldcat.org/title/introduccion-a-la-ecologia-del-manglar/oclc/15380490>
- Coleman, J. M., Huh, O. K. y Braud, D. (2008). World loss in world deltas. *Journal of Coastal Research*, 24(1), 1-14. doi:10.2112/05-0607.1
- Coronado-Molina, C., Alvarez-Guillen, H., Day, J., Reyes, E., Perez, B., Vera-Herrera, F. y Twilley, R. (2012). Litterfall dynamics in carbonate and deltaic mangrove ecosystems in

- the Gulf of Mexico. *Wetlands Ecology Management*, 20, 123-136. doi:10.1007/s11273-012-9249-3
- Costanza, R., Mitsch, W. J. y Day, J. W. (Noviembre de 2006). A new vision for New Orleans and the Mississippi Delta: Applying ecological economics and ecological engineering. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(9), 465-472. doi:10.1890/1540-9295(2006)4[465:ANVFNO]2.0.CO;2
- Danielson, T. M., Rivera-Monroy, V. H., Castañeda-Moya, E., Briceño, H., Travieso, R., Marx, B. D., . . . Farfán, L. .. (2017). Assessment of Everglades mangrove forest resilience: Implications for above-ground net primary productivity and carbon dynamics. *Forest Ecology and Management*, 404, 115-125. doi:10.1016/j.foreco.2017.08.009
- Day, J. W., Boesch, D. F., Clairain, E. J., Kemp, G. P., Laska, S. B., Mitsch, W. J., . . . Whigham, D. F. (23 de Marzo de 2007). Restoration of the Mississippi Delta: Lessons from Hurricanes Katrina and Rita. *Science*, 315(5819), 1679-1684. doi:10.1126/science.1137030
- Day, J. W., Conner, W. H., Ley-Lou, F., Day, R. H. y Machado-Navarro, A. (1987). The productivity and composition of mangrove forests, Laguna de Términos, Mexico. *Aquatic Botany*, 27(3), 267-284. doi:10.1016/0304-3770(87)90046-5
- Day, J. W., Coronado-Molina, C., Vera-Herrera, F. R., Twilley, R. R., Rivera-Monroy, V. H., Álvarez-Guillen, H., . . . Conner, W. (1996). A 7 year record of above-ground net primary production in a southeastern Mexican mangrove forest. 55(1), 39-60. doi:10.1016/0304-3770(96)01063-7
- Day, J. W., Yáñez-Arancibia, A., Kemp, W. y Cump, B. (2012). Introduction to Estuarine Ecology. In J. W. Day, C. A. Hall, W. M. Kemp, A. Yáñez Arancibia, J. W. Day, B. C. Crump, W. M. Kemp y A. Yáñez Arancibia (Eds.), *Estuarine Ecology* (Segunda Edición ed., pp. 15-16). New York, New York, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1002/9781118412787
- Díaz, J. M. (15 de Mayo de 2011). Una revisión sobre los manglares: Características, Problemáticas y su Marco Jurídico. Importancia de los manglares, el daño de los efectos antropogénicos y su marco jurídico: Caso Sistema Laguna de Topolobampo. *Revista Ra Ximhai: Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 7(3), 335-369. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46121063005>
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M. y Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4, 293-297. doi:10.1038/ngeo1123
- Duke, N. C. (2017). Mangrove Floristics and Biogeography. Revisited: Further Deductions. En V. H. Rivera-Monroy, S. Y. Lee, E. Kristensen y R. R. Twilley, *Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective* (págs. 17-23). Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-62206-4
- Duke, N., Ball, M. y Ellison, J. (1998). Global Ecology & Biogeography Letters. *Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves*, 27-47. doi:10.1111/j.1466-8238.1998.00269.x
- Edwards, W., Liddell, M. J., Franks, P., Nichols, C. y Laurance, S. G. (Abril de 2018). Seasonal patterns in rainforest litterfall: Detecting endogenous and environmental influences from long-term sampling. *Austral Ecology*, 43(2), 225-235. doi:10.1111/aec.12559

- Eslami-Andargoli, L., Dale, P., Sipe, N. y Chaseling, J. (10 de Noviembre de 2009). Mangrove expansion and rainfall patterns in Moreton Bay, Southeast Queensland, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 85(2), 292-298. doi:10.1016/j.ecss.2009.08.011
- Ewe, S., Gaiser, E. E., Childers, D. L., Iwaniec, D., Rivera-Monroy, V. H. y Twilley, R. R. (Octubre de 2006). Spatial and temporal patterns of aboveground net primary productivity (ANPP) along two freshwater-estuarine transects in the Florida Coastal Everglades. *Hydrobiologia*(569), 459-474. doi:10.1007/s10750-006-0149-5
- Ezcurra, P., Ezcurra, E., Garcillán, P. P., Costa, M. T. y Aburto-Oropeza, O. (2016). Coastal landforms and accumulation of mangrove peat increase carbon sequestration and storage. (R. Dirzo, Ed.) *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 113(16), 4404-4409. doi:10.1073/pnas.1519774113
- Félix-Pico, E., Holguin-Quiñones, O. E., Hernández-Herrera, A. y Flores-Verdugo, F. (2006). Mangrove primary production at El Conchalito Estuary in La Paz Bay. *Ciencias Marinas*, 32(1A), 53-63. doi:10.7773/cm.v32i1.65
- Flores-Cárdenas, F., Hurtado-Oliva, M., Doyle, T. W., Nieves-Soto, M., Diaz, S. C. y Manzano-Sarabia, M. (2017). Litterfall Production of Mangroves in Huizache-Caimanero Lagoon System, México. *Journal of Coastal Research*, 33(1), 118-124. doi:10.2112/JCOASTRES-D-15-00242.1
- Flores-Verdugo, F. J., Agraz Hernández, C. y Benitez Pardo, D. (2007). Ecosistemas acuáticos costeros: Importancia, retos y prioridades para su conservación. En SERMANAT, Ó. Sánchez, M. Herzig, E. Peters, R. Márquez, & L. Zambrano (Edits.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (Primera Edición ed., Vol. I, pág. 151). Ciudad de México, México: S&G Editores. Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Perpectivas-sobre-conservaci%C3%B3n-de-ecosistemas-acu%C3%A1ticos-en-M%C3%A9xico.pdf>
- Flores-Verdugo, F., Day, J. W. y Briseño, R. (1987). Structure, litter fall, decomposition, and detritus dynamics of mangroves in a Mexican coastal lagoon with an ephemeral inlet. *Marine Ecology Progress Series*, 35(1-2), 83-90. doi:10.3354/meps035083
- Flores-Verdugo, F., González-Farías, F., Ramírez-Flores, O., Amezcua-Linares, F., Yáñez-Arancibia, A., Alvarez-Rubio, M. y Day, J. (1990). Mangrove Ecology, Aquatic Primary Productivity, and Fish Community Dynamics in the Teacapán-Agua Brava Lagoon-Estuarine System (Mexican Pacific). *Estuaries*, 13(2), 219-230. doi:10.2307/1351591
- Fogel, M. L., Wooller, M. J., Cheeseman, J., Smallwood, B. J., Roberts, Q., Romero, I. y Meyers, M. J. (2008). Unusually negative nitrogen isotopic compositions ($\delta^{15}\text{N}$) of mangroves and lichens in an oligotrophic, microbially-influenced ecosystem. *Biogeosciences*, 5, 1693-1704. doi:10.5194/bg-5-1693-2008
- Gairola, S., Rawal, R. S. y Dhar, U. (2009). Patterns of litterfall and return of nutrients across anthropogenic disturbance gradients in three subalpine forests of west Himalaya, India. *Journal of Forest Research*, 14, 73-80. doi:10.1007/s10310-008-0104-6
- Galeano, E., Mancera, J. E. y Medina, J. H. (2010). Efecto del sustrato sobre la descomposición de hojarasca en tres especies de mangle en la Reserva de Biósfera Seaflower, Caribe colombiano. *Caldasia*, 32(2), 411-424. Recuperado de

- http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-52322010000200012&lng=en&tlng=es
- Giri, C., Long, J. B. y Tieszen, L. L. (Octubre de 2011). Mapping and Monitoring Louisiana's Mangroves in the Aftermath of the 2010 Gulf of Mexico Oil Spill. *Journal of Coastal Research*, 27(6), 1059-1064. doi:10.2307/41315891
- Greater Lafourche Port Commission. (2018). *Port Fourchon*. Recuperado de Greater Lafourche Port Commission: Port Fourchon - South Lafourche Airport: <https://portfourchon.com/seaport/>
- Guisan, A. y Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8(9), 993-1009. doi:10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x
- Infante-Mata, D., Moreno-Casasola, P. y Madero-Vega, C. (2012). Litterfall of tropical forested wetlands of Veracruz in the coastal floodplains of. *Aquatic Botany*, 98, 1-11. doi:10.1016/j.aquabot.2011.11.006
- Interagency Floodplain Management Review Committee [IFMRC]. (1994). *Sharing the challenge: Floodplain management into the 21st century*. White House Office of Environmental Policy, Administration Floodplain Management Task Force. Recuperado de <https://fas.org/irp/agency/dhs/fema/sharing.pdf>
- Kamruzzaman, M., Basak, K., Paul, S. K., Ahmed, S. y Osawa, A. (18 de Enero de 2019). Litterfall production, decomposition and nutrient accumulation in Sundarbans mangrove forests, Bangladesh. *Forest Science and Technology*, 15(1), 24-32. doi:10.1080/21580103.2018.1557566
- Krauss, K. W., Lovelock, C., McKee, K. L., López-Hoffman, L., Ewe, S. M. y Sousa, W. (2008). Environmental drivers in mangrove establishment and early development: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 105-127. doi:10.1016/j.aquabot.2007.12.014
- Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T. y Marchand, C. (2008). Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic Botany*, 88(2), 201-209. doi:10.1016/j.aquabot.2007.12.005
- López-Medellín, X. y Ezcurra, E. (Agosto de 2012). The productivity of mangroves in northwestern Mexico: A meta-analysis of current data. *Journal of Coastal Conservation*, 16(3). doi:10.1007/s11852-012-0210-7
- López-Portillo, J. y Ezcurra, E. (Agosto de 1985). Litter Fall of *Avicennia germinans* L. in a One-Year Cycle in a Mudflat at the Laguna de Mecocan, Tabasco, Mexico. *Biotropica*, 17(3), 186-190. doi:10.2307/2388215
- Lovelock, C. E., Krauss, K. W., Osland, M. J., Reef, R. y Ball, M. C. (2016). The Physiology of Mangrove Trees with Changing Climate. En G. Goldstein, & L. Santiago (Edits.), *Tropical Tree Physiology* (Vol. 6, págs. 149-179). Suiza: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-27422-5_7
- Lugo, A. E. (Mayo de 2008). Visible and invisible effects of hurricanes on forest ecosystems: an international review. *Austral Ecology*, 33(4), 368-398. doi:10.1111/j.1442-9993.2008.01894.x
- Lugo, A. E. y Snedaker, S. C. (1974). The Ecology of Mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5, 39-64. doi:10.1146/annurev.es.05.110174.000351

- Madrid, E. N., Armitage, A. R. y López-Portillo, J. (2014). *Avicennia germinans* (black mangrove) vessel architecture is linked to chilling and salinity tolerance in the Gulf of Mexico. *Frontiers in Plant Science*, 5, 1-9. doi:10.3389/fpls.2014.00503
- Mchenga, I. y Ali, A. (2017). Mangrove litter production and seasonality of dominant species in Zanzibar, Tanzania. *Journal of East African Natural History*, 106(1), 5-18. doi: 10.2982/028.106.0103
- McLeod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., . . . Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552-560. doi:10.1890/110004
- Medina, J. H. (2016). *Estructura, biomasa y producción primaria neta de manglar en ambiente kársticos de islas oceánicas* (Tesis doctoral en Ciencias Biológicas). Universidad Nacional de Colombia (UNC), Instituto de Estudios en Ciencias del Mar (CECIMAR), Santa Martha, Colombia. Recuperado de Universidad Nacional de Colombia (UNC), sede Caribe: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/59976/Tesis%20ver%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mendoza-Morales, A. J., González-Sansón, G. y Aguilar-Betancourt, C. (Marzo de 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. doi: 10.15517/rbt.v64i1
- Mfilinge, P., Atta, N. y Tsuchiya, M. (2005). Nutrient dynamics and leaf litter decomposition in a subtropical mangrove forest at Oura Bay, Okinawa, Japan. *Trees*, 16(2-3), 172-180. doi:10.1007/s00468-001-0156-0
- Minden, V., Kleyer, M. y Byers, D. (2014). Internal and external regulation of plant organ stoichiometry. *Plant Biology*, 16(5), 897-907. doi:10.1111/plb.12155
- Mo, Y., Kearney, M. S. y Turner, R. E. (2020). The resilience of coastal marshes to hurricanes: The potential impact of excess nutrients. (Y.-G. Zhu, Ed.) *Environment International*, 138(105409), 1-15. doi:10.1016/j.envint.2019.105409
- Naskar, S. y Palit, P. K. (2014, Septiembre). Anatomical and physiological adaptations of mangroves. *Wetlands Ecology and Management*, 23(3), 357-370. doi:10.1007/s11273-014-9385-z
- Navarrete, A. y Oliva-Rivera, J. J. (2002). Litter production of *Rhizophora mangle* at Bacalar Chico, Souther Quintana Roo, México. *Universidad y Ciencia*, 36(18), 79-86. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/154/15403601.pdf>
- Noor, T., Batool, N., Mazhar, R. y Ilyas, N. (Febrero de 2015). Effects of Siltation, Temperature and Salinity on Mangrove Plants. *European Academic Research*, 2(11), 14172-14179. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/312026702_Effects_of_Siltation_Temperature_and_Salinity_on_Mangrove_Plants
- Ochoa-Gómez, J. G., Lluch-Cota, S. E., Rivera-Monroy, V. H., Lluch-Cota, D. B., Troyo-Diéguez, E., Oechel, W. y Serviere-Zaragoza, E. (2019). Mangrove wetland productivity and carbon stocks in an arid zone of the Gulf of California (La Paz Bay, Mexico). *Forest Ecology and Management*, 442, 135-147. doi:10.1016/j.foreco.2019.03.059

- Osland, M. J., Day, R. H. y Michot, T. C. (15 de Junio de 2020). Frequency of extreme freeze events controls the distribution and structure of black mangroves (*Avicennia germinans*) near their northern range limit in coastal Louisiana. (J. Lambrinos, Ed.) *Diversity and Distributions*, 1-17. doi:10.1111/ddi.13119
- Osland, M. J., Feher, L. C., López-Portillo, J., Day, R. H., Suman, D. O., Guzmán-Menéndez, J. M. y Rivera-Monroy, V. H. (2018). Mangrove forests in a rapidly changing world: Global change impacts and conservation opportunities along the Gulf of Mexico coast. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 214, 120-140. doi:10.1016/j.ecss.2018.09.006
- Osland, M. J., Feher, L. C., Spivak, A. C., Nestlerode, J. A., Almario, A. E., Cormier, N., . . . Stagg, C. L. (28 de Enero de 2020). Rapid peat development beneath created, maturing mangrove forests: ecosystem changes across a 25-yr chronosequence. (Y. Pan, Ed.) *Ecological Applications: Ecological Society of America*, 30(4), 1-12. doi:10.1002/eap.2085
- Pang, Y., Tian, J., Zhao, X., Chao, Z., Wang, Y., Zhang, X. y Wang, D. (2020). The linkages of plant, litter and soil C:N:P stoichiometry and nutrient stock indifferent secondary mixed forest types in the Qinling Mountains, China. *PeerJ*, 8(e9274), 1-25. doi:10.7717/peerj.9274
- Penfound, W. T. y Hathaway, E. S. (1938). Plant Communities in the Marshlands of Southeastern Louisiana. *Ecological Monographs*, 8(1), 1-56. doi: 10.2307/1943020
- Quisthoudt, K., Schmitz, N., Randin, C. F., Dahdouh-Guebas, F., Robert, E. M. y Koedam, N. (2012). Temperature variation among mangrove latitudinal range limits worldwide. *Trees*(26), 1919-1931. doi:10.1007/s00468-012-0760-1
- Reed, S., Townsend, A. R., Davidson, E. A. y Cleveland, C. C. (07 de Agosto de 2012). Stoichiometric patterns in foliar nutrient resorption across multiple scales. *New Phytologist*, 196(1), 173-180. doi:10.1111/j.1469-8137.2012.04249.x
- Reef, R., Feller, I. C. y Lovelock, C. (Agosto de 2010). Nutrition of mangroves. *Tree Physiology*, 30(9), 1148-1160. doi:10.1093/treephys/tpq048
- Ribeiro, R. D., Rovai, A. S., Twilley, R. R. y Castañeda-Moya, E. (2019, Agosto). Spatial variability of mangrove primary productivity in the neotropics. (D. P. Peters, Ed.) *Ecosphere*, 10(8). doi:10.1002/ecs2.2841
- Rivera-Monroy, V. H., Danielson, T. M., Castañeda-Moya, E., Marx, B. D., Travieso, R., Zhao, X., . . . Farfán, L. M. (2019). Long-term demography and stem productivity of Everglades mangrove forests (Florida, USA): Resistance to hurricane disturbance. *Forest Ecology and Management*, 440, 79-91. doi:10.1016/j.foreco.2019.02.036
- Rivera-Monroy, V. H., Elliton, C., Narra, S., Meselhe, E., Zhao, X., White, E., . . . Jaramillo, F. (Octubre de 2019). Wetland Biomass and Productivity in Coastal Louisiana: Base Line Data (1976–2015) and Knowledge Gaps for the Development of Spatially Explicit Models for Ecosystem Restoration and Rehabilitation Initiatives. *Water*, 11(10), 1-25. doi:10.3390/w11102054
- Rivera-Monroy, V. H., Osland, M. J., Day, J. W., Ray, S., Rovai, A. S. y Day, R. H. (2017). *Advancing Mangrove Macroecology*. (V. H. Rivera-Monroy, S. Y. Lee, E. Kristensen, & R. R. Twilley, Edits.) Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-62206-4

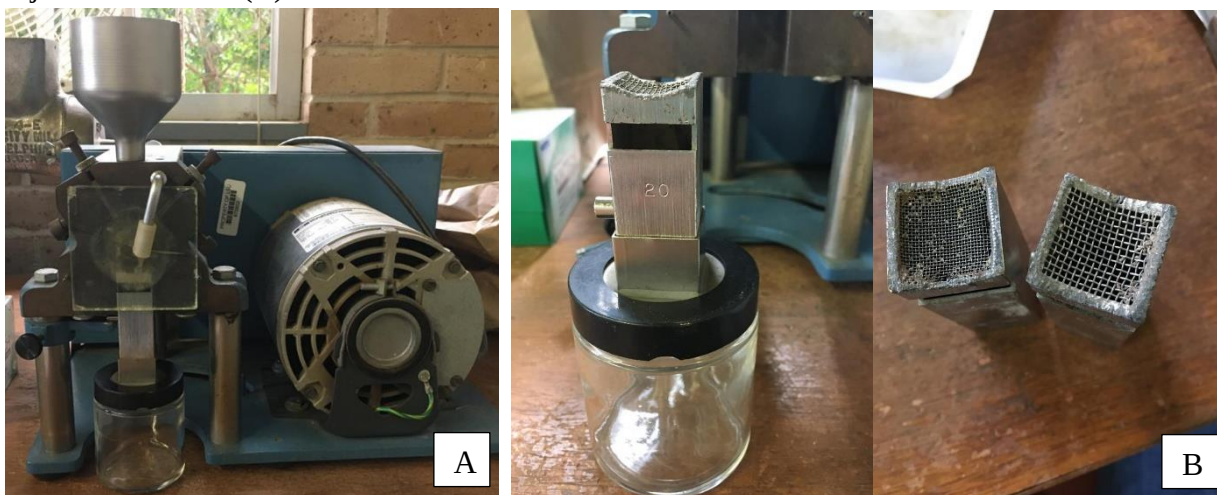
- Robertson, A. I. (1988). Decomposition of mangrove leaf litter in tropical Australia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 116(3), 235–247. doi:10.1016/0022-0981(88)90029-9
- Roig, S., del Río, M., Cañellas, I. y Montero, G. (Febrero de 2005). Litter fall in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. stands under different thinning regimes. *Forest Ecology and Management*, 206(1-3), 179-190. doi:10.1016/j.foreco.2004.10.068
- Romine, D. S. y Metzger, W. H. (1939, Febrero 1). Phosphorus Fixation by Horizons of Various Soil Types in Relation to Dilute Acid Extractable Iron and Aluminum. *Agronomy Journal*, 31(2), 99-108. doi:doi.org/10.2134/agronj1939.00021962003100020002x
- Rovai, A., Twilley, R. R., Castañeda-Moya, E., Riul, P., Cifuentes-Jara, M., Manrow-Villalobos, M., . . . Pagliosa, P. R. (2018). Global controls on carbon storage in mangrove soils. *Nature Climate Change*, 8, 534-538. doi:10.1038/s41558-018-0162-5
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (Primera Edición Digital ed.). Ciudad de México, México: Editorial Limusa, S.A. Recuperado el 04 de Mayo de 2020, de <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/7369.pdf>
- Salem, M. E. y Mercer, D. E. (2012). The Economic Value of Mangroves: A Meta-Analysis. *Sustainability*(4), 359-383. doi:10.3390/su4030359
- Sanjurjo Rivera, E. y Welsh Casas, S. (2005). Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. *Gaceta Ecológica*(74), 55-68. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/539/53907405.pdf>
- Shiau, Y.-J. y Chiu, C.-Y. (2020). Biogeochemical Processes of C and N in the Soil of Mangrove Forest Ecosystems. *Forests*, 11(5), 492-507. doi:10.3390/f11050492
- Smith, T. J., Anderson, G. H., Balentine, K., Tiling, G., Ward, G. A. y Whelan, K. R. (Marzo de 2009). Cumulative impacts of hurricanes on Florida mangrove ecosystems: Sediment deposition, storm surges and vegetation. *Wetlands*, 29, 24-34. doi:10.1672/08-40.1
- Srisunont, C., Jaiyen, T., Tenrung, M., Likitchaikul, M. y Srisunont, T. (2017). Nutrient Accumulation by Litterfall in Mangrove Forest at Klong Khone, Thailand. *Thammasat International Journal of Science and Technology*, 22(1), 9-18. doi:10.14456/tijsat.2017.2
- Steinke, T. D., Holland, A. J. y Singh, Y. (Febrero de 1993). Leaching losses during decomposition of mangrove leaf litter. *South African Journal of Botany*, 59(1), 21-25. doi:10.1016/S0254-6299(16)30770-0
- Talbot, J. M. y Treseder, K. K. (Febrero de 2012). Interactions among lignin, cellulose, and nitrogen drive litter chemistry-decay relationships. *Ecology*, 93(2), 345-354. doi:10.1890/11-0843.1
- Tanner, E. V., Rodríguez-Sánchez, F., Healey, J. R., Holdaway, R. J. y Bellingham, P. J. (01 de Octubre de 2014). Long-term hurricane damage effects on tropical forest tree growth and mortality. (A. W. D'Amato, Ed.) *Ecology*, 95(10), 2974-2983. doi:10.1890/13-1801.1
- Tomlinson, P. B. (2016). Family: Combretaceae. En P. B. Tomlinson, *The Botany of Mangroves* (Segunda ed., págs. 228-241). Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139946575.024
- Tomlinson, P. B. (2016). *The Botany of Mangroves* (Segunda ed.). Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139946575.003

- Torres, J. R., Infante-Mata, D., Sánchez, A. J., Espinoza-Tenorio, A. y Barba, E. (2018). Degradación de hojarasca y aporte de nutrientes del manglar en la Laguna Mecoacán, Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 892-907. doi:10.15517/rbt.v66i2.33421
- Tovilla-Hernández, C. y De la Lanza, G. (1999). Ecología, Producción y Aprovechamiento del Mangle *Conocarpus erectus* L., en Barra de Tecoanapa Guerrero, México. *Biotropica*, 31(1), 121-134. doi:10.1111/j.1744-7429.1999.tb00123.x
- Twilley, R. R. (1995). *Properties of mangrove ecosystems related to the energy signature of coastal environments*. Hall CAS. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/313517752_Properties_of_mangrove_ecosystems_related_to_the_energy_signature_of_coastal_environments
- Twilley, R. R. (1998). Mangrove Wetlands. En *Southern Forested Wetlands: Ecology and Management* (M. G. Messina, & W. H. Conner, Trads., págs. 445-473). CRC Press.
- Twilley, R. R. y Rivera-Monroy, V. H. (2009). Ecogeomorphic models of nutrient biogeochemistry for mangrove wetlands. En G. M. Perillo, E. Wolanski, D. R. Cahoon, M. Brinson, & E. Wolanski (Edits.), *Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach* (Primera ed., pág. 641). Elsevier.
- Twilley, R. R., Chen, R. H. y Hargis, T. (Agosto de 1992). Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 64, 265-288. doi:10.1007/BF00477106
- Twilley, R. R., Pozo, M., García, V. H., Rivera-Monroy, V. H., Zambrano, R. y Boderó, A. (Mayo de 1997). Litter dynamics in riverine mangrove forests in the Guayas River estuary, Ecuador. *Oecologia*, 111(1), 109-122. doi:10.1007/s004420050214
- Twilley, R. R., Rivera-Monroy, V. y Castañeda-Moya, E. (2002). *Total Carbon and Nitrogen (Dry Digestion) and Ashing Technique (For Soil and Plant Material)*. Lab protocol for CHN samples preparation. Louisiana State University (LSU), College of the Coast and Environment, LSU Wetland Biogeochemistry Institute, Baton Rouge. Recuperado de [https://www.dropbox.com/home/ZAMORANO%202020/LAB%20ACTIVITIES/LAB%20PROTOCOLS?preview=TOTAL+PHOSPHORUS+\(TP\).pdf](https://www.dropbox.com/home/ZAMORANO%202020/LAB%20ACTIVITIES/LAB%20PROTOCOLS?preview=TOTAL+PHOSPHORUS+(TP).pdf)
- U.S. National Centers for Environmental Information. (2019). *State Climate Summaries: Louisiana*. Recuperado de North Carolina Institute for Climate Studies (NCICS): State Climate Summaries: <https://statesummaries.ncics.org/chapter/la/>
- U.S. National Weather Services. (2020). (D. Landreneau, Ed.) Recuperado de <https://www.weather.gov/media/lch/tropical/LCHHurricaneGuide.pdf>
- Utrera-López, M. E. y Moreno-Casasola, P. (2008). Mangrove litter dynamics in La Mancha Lagoon, Veracruz, México. *Wetlands Ecology Management*, 16, 11-22. doi:10.1007/s11273-007-9042-x
- Villalba Malaver, J. C. (2006). *Los Manglares en el mundo y en Colombia: Estudio Descriptivo Básico*. Sociedad Geográfica de Colombia. Recuperado de Sociedad Geográfica de Colombia: <https://www.sogeocol.edu.co/documentos/Manglares.pdf>
- Vinh, T. V., Allenbach, M., Linh, K. T. y Marchand, C. (13 de Febrero de 2020). Changes in leaf litter quality during its decomposition in a tropical planted mangrove forest (Can Gio, Vietnam). (L. D. Lacerda, K. W. Tang, & N. T. Tue, Edits.) *Frontiers in Environmental Science*, 8(10), 1-15. doi:10.3389/fenvs.2020.00010

- Wafar, S., Untawale, A. y Wafar, M. (1997). Litter fall and energy flux in a mangrove ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44(1), 111-124. doi:10.1006/ecss.1996.0152
- Wang, W., Sardans, J., Tong, C., Wang, C., Ouyang, L., Bartrons, M. y Penuelas, J. (Enero de 2016). Typhoon enhancement of N and P release from litter and changes in the litter N:P ratio in a subtropical tidal wetland. *Environmental Research Letters*, 11(1), 1-16. doi:10.1088/1748-9326/11/1/014003
- Wang, W.-Q., Wang, M. y Lin, P. (Mayo de 2003). Seasonal changes in element contents in mangrove element retranslocation during leaf senescence. *Plant and Soil*(252), 187-193. doi:10.1023/A:1024704204037
- Ward, R. D., Friess, D. A., Day, R. H. y MacKenzie, R. A. (25 de Abril de 2016). Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2(4), e01211. doi:10.1002/ehs2.1211
- Yando, E. S., Osland, M. J., Willis, J. M., Day, R. H., Krauss, K. W. y Hester, M. W. (2016). Salt marsh-mangrove ecotones: using structural gradients to investigate the effects of woody plant encroachment on plant-soil interactions and ecosystem carbon pools. *Journal of Ecology*, 104(4), 1020-1031. doi:10.1111/1365-2745.12571
- Yáñez-Arancibia, A. y Lara-Domínguez, L. (1999). Los Manglares de América Latina en la encrucijada. En A. Yáñez-Arancibia, L. Lara-Domínguez, & E. Sáinz-Hernández (Ed.), *Ecosistemas de Manglar en América Tropical* (págs. 9-16). Ciudad de México: Editions A. Exbrayat. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/261913536_Ecosistemas_de_Manglar_en_America_Tropical
- Zhang, H., Yuan, W., Dong, W. y Liu, S. (Diciembre de 2014). Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide. *Ecological Complexity*, 20, 240-247. doi:10.1016/j.ecocom.2014.01.003

7. ANEXOS

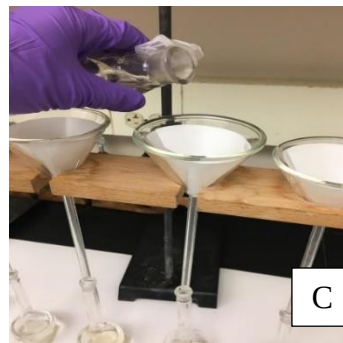
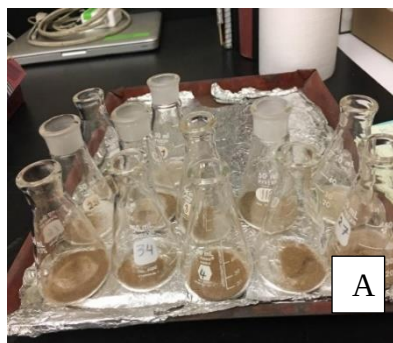
Anexo 1. Herramientas para proceso de molienda fina de hojarasca: Molino eléctrico (A) y rejilla de 20 mesh (B)



Anexo 2. Materiales para preparación y empaque de muestras para análisis CHN



Anexo 3. Preparación de muestras para análisis TP: Pesado de material vegetativo (A), incineración (B) y filtrado de muestras (C)



Anexo 4. Determinación de los β coeficientes de las variables en las regresiones lineales

Variables	GL	β C	SE	t	Pr > t *
Regresión C:N					
Intercepto	1	-42.29782	23.60654	-1.79	0.0965
Total C	1	0.12807	0.05284	2.29	0.0396*
Regresión N:P					
Intercepto	1	543.25654	95.86332	5.67	<.0001*
Total N	1	43.12323	7.92209	5.44	0.0001*

C: Carbono; N: Nitrógeno; P: Fósforo; GL: Grados de libertad; β C: Coeficientes beta; SE: Error estándar; t: Valor t; Pr > |t|: Valor de la probabilidad

*La correlación es significativa al nivel de 5% ($\alpha=0.05$)

Anexo 5. Base de datos para la producción anual de hojarasca por canasta

Año	N° Canasta	Ag Hojarasca (g/0.25m2)
2016	1	9.040
2016	2	18.485
2016	3	11.680
2016	4	21.040
2016	5	19.685
2016	6	16.155
2016	7	13.395
2016	8	17.245
2016	9	9.780
2016	10	22.685
2017	1	5.341
2017	2	7.002
2017	3	8.066
2017	4	9.600
2017	5	9.941
2017	6	9.177
2017	7	8.338
2017	8	8.068
2017	9	8.975
2017	10	7.195
2018	1	9.688
2018	2	14.236
2018	3	13.601
2018	4	12.018
2018	5	14.348
2018	6	19.502
2018	7	12.679
2018	8	12.393
2018	9	11.582
2018	10	11.651
2019	1	3.089
2019	2	5.756
2019	3	7.151
2019	4	4.688
2019	5	5.519
2019	6	5.748
2019	7	7.343
2019	8	3.800
2019	9	4.836
2019	10	4.426

Ag: *Avicennia germinans*

Anexo 5. Continuación. Base de datos para la producción anual de hojarasca por canasta

Año	N° Canasta	Ag Hojarasca (g/0.25m2)
2020	1	8.070
2020	2	15.065
2020	3	29.390
2020	4	8.880
2020	5	27.465
2020	6	14.300
2020	7	13.350
2020	8	13.510
2020	9	16.985
2020	10	7.365

Ag: Avicennia germinans

Anexo 6. Calendario de estaciones meteorológicas según el NWS

Estaciones	Fecha Inicio	Fecha Fin
Invierno	Diciembre 1	Febrero 28
Primavera	Marzo 1	Mayo 31
Verano	Junio 1	Agosto 31
Otoño	Septiembre 1	Noviembre 30

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos (NWS)

Anexo 7. Base de datos para la producción estacional de hojarasca

Sitio	Año	Estación	N° Canasta	Ag Hojarasca (g/0.25m2)
PFF	2016	Invierno	1	7.43
PFF	2016	Invierno	2	11.46
PFF	2016	Invierno	3	8.21
PFF	2016	Invierno	4	13.52
PFF	2016	Invierno	5	13.27
PFF	2016	Invierno	6	13.46
PFF	2016	Invierno	7	9.13
PFF	2016	Invierno	8	11.55
PFF	2016	Invierno	9	7.68
PFF	2016	Invierno	10	12.77
PFF	2017	Primavera	1	2.28
PFF	2017	Primavera	2	3.07
PFF	2017	Primavera	3	4.05
PFF	2017	Primavera	4	3.37
PFF	2017	Primavera	5	4.61
PFF	2017	Primavera	6	3.03
PFF	2017	Primavera	7	2.55
PFF	2017	Primavera	8	3.01
PFF	2017	Primavera	9	1.99
PFF	2017	Primavera	10	3.30
PFF	2017	Verano	1	2.08
PFF	2017	Verano	2	8.21
PFF	2017	Verano	3	6.89
PFF	2017	Verano	4	6.57
PFF	2017	Verano	5	8.87
PFF	2017	Verano	6	8.42
PFF	2017	Verano	7	6.09
PFF	2017	Verano	8	6.23
PFF	2017	Verano	9	7.78
PFF	2017	Verano	10	1.82
PFF	2017	Otoño	1	10.27
PFF	2017	Otoño	2	14.77
PFF	2017	Otoño	3	15.09
PFF	2017	Otoño	4	24.63
PFF	2017	Otoño	5	18.05
PFF	2017	Otoño	6	14.78
PFF	2017	Otoño	7	17.95
PFF	2017	Otoño	8	15.83
PFF	2017	Otoño	9	19.02
PFF	2017	Otoño	10	17.57

PFF: Port Fourchon Fringe: Ag: *Avicennia germinans*

Anexo 7. Continuación. Base de datos para la producción estacional de hojarasca

Sitio	Año	Estación	Nº Canasta	Ag Hojarasca (g/0.25m ²)
PFF	2017	Invierno	1	17.91
PFF	2017	Invierno	2	24.44
PFF	2017	Invierno	3	19.74
PFF	2017	Invierno	4	20.15
PFF	2017	Invierno	5	20.05
PFF	2017	Invierno	6	22.89
PFF	2017	Invierno	7	17.51
PFF	2017	Invierno	8	14.56
PFF	2017	Invierno	9	15.34
PFF	2017	Invierno	10	16.31
PFF	2018	Primavera	1	20.36
PFF	2018	Primavera	2	26.84
PFF	2018	Primavera	3	28.12
PFF	2018	Primavera	4	25.17
PFF	2018	Primavera	5	31.11
PFF	2018	Primavera	6	43.30
PFF	2018	Primavera	7	28.66
PFF	2018	Primavera	8	26.73
PFF	2018	Primavera	9	27.57
PFF	2018	Primavera	10	24.30
PFF	2018	Verano	1	1.65
PFF	2018	Verano	2	5.85
PFF	2018	Verano	3	3.89
PFF	2018	Verano	4	1.96
PFF	2018	Verano	5	2.45
PFF	2018	Verano	6	2.19
PFF	2018	Verano	7	1.52
PFF	2018	Verano	8	3.30
PFF	2018	Verano	9	1.33
PFF	2018	Verano	10	3.25
PFF	2018	Otoño	1	1.64
PFF	2018	Otoño	2	3.82
PFF	2018	Otoño	3	3.51
PFF	2018	Otoño	4	2.87
PFF	2018	Otoño	5	3.62
PFF	2018	Otoño	6	6.12
PFF	2018	Otoño	7	3.48
PFF	2018	Otoño	8	3.40
PFF	2018	Otoño	9	1.17
PFF	2018	Otoño	10	3.05
PFF	2018	Invierno	1	0.82
PFF	2018	Invierno	2	4.76
PFF	2018	Invierno	3	3.56

PFF: Port Fourchon Fringe; Ag: *Avicennia germinans*

Anexo 7. Continuación. Base de datos para la producción estacional de hojarasca

Sitio	Año	Estación	N° Canasta	Ag Hojarasca (g/0.25 m²)
PFF	2018	Invierno	4	1.51
PFF	2018	Invierno	5	1.17
PFF	2018	Invierno	6	2.03
PFF	2018	Invierno	7	2.55
PFF	2018	Invierno	8	0.74
PFF	2018	Invierno	9	0.25
PFF	2018	Invierno	10	1.79
PFF	2019	Primavera	1	2.27
PFF	2019	Primavera	2	2.03
PFF	2019	Primavera	3	3.83
PFF	2019	Primavera	4	2.61
PFF	2019	Primavera	5	2.22
PFF	2019	Primavera	6	2.63
PFF	2019	Primavera	7	3.72
PFF	2019	Primavera	8	1.77
PFF	2019	Primavera	9	1.41
PFF	2019	Primavera	10	2.25
PFF	2019	Verano	1	3.14
PFF	2019	Verano	2	5.71
PFF	2019	Verano	3	9.54
PFF	2019	Verano	4	6.84
PFF	2019	Verano	5	7.67
PFF	2019	Verano	6	4.87
PFF	2019	Verano	7	8.75
PFF	2019	Verano	8	5.06
PFF	2019	Verano	9	3.88
PFF	2019	Verano	10	4.64
PFF	2019	Otoño	1	7.71
PFF	2019	Otoño	2	19.04
PFF	2019	Otoño	3	19.54
PFF	2019	Otoño	4	12.99
PFF	2019	Otoño	5	19.81
PFF	2019	Otoño	6	24.29
PFF	2019	Otoño	7	21.37
PFF	2019	Otoño	8	13.50
PFF	2019	Otoño	9	26.21
PFF	2019	Otoño	10	15.81
PFF	2019	Invierno	1	8.41
PFF	2019	Invierno	2	20.26
PFF	2019	Invierno	3	47.55
PFF	2019	Invierno	4	.

PFF: Port Fourchon Fringe; Ag: *Avicennia germinans*

Anexo 7. Continuación. Base de datos para la producción estacional de hojarasca

Sitio	Año	Estación	N° Canasta	Ag Hojarasca (g/0.25m ²)
PFF	2019	Invierno	5	37.64
PFF	2019	Invierno	6	17.15
PFF	2019	Invierno	7	.
PFF	2019	Invierno	8	.
PFF	2019	Invierno	9	24.58
PFF	2019	Invierno	10	4.14
PFF	2020	Verano	1	7.73
PFF	2020	Verano	2	9.87
PFF	2020	Verano	3	11.23
PFF	2020	Verano	4	8.88
PFF	2020	Verano	5	17.29
PFF	2020	Verano	6	11.45
PFF	2020	Verano	7	13.35
PFF	2020	Verano	8	13.51
PFF	2020	Verano	9	9.39
PFF	2020	Verano	10	10.59

PFF: Port Fourchon Fringe; Ag: *Avicennia germinans*

Anexo 8. Composición general de nutrientes presentes en la hojarasca recolectada de cada viaje de campo

Sitio	Mes	Día	Año	N° Canasta	Ag Hojarasca (g/m2)	% N	% C	N (mg/g/0.25m2)	C (mg/g/0.25m2)	TP (ug/g P)
PFF	11	12	2016	1	13.02	0.78	42.73	7.80	427.26	740
PFF	11	12	2016	2	26.57	0.88	43.51	8.82	435.14	1044
PFF	11	12	2016	3	16.50	0.95	43.73	9.47	437.31	843
PFF	11	12	2016	4	24.27	1.24	47.34	12.37	473.41	1025
PFF	11	12	2016	5	26.08	0.82	43.92	8.17	439.23	1019
PFF	11	12	2016	6	20.40	0.78	44.03	7.78	440.31	956
PFF	11	12	2016	7	20.23	0.93	43.57	9.34	435.72	895
PFF	11	12	2016	8	25.34	0.88	44.81	8.76	448.09	1052
PFF	11	12	2016	9	13.68	0.90	44.07	9.03	440.72	795
PFF	11	12	2016	10	35.99	1.20	42.55	11.99	425.52	1111
PFF	12	4	2016	1	5.06	0.74	42.52	7.38	425.15	948
PFF	12	4	2016	2	10.40	0.81	43.03	8.08	430.32	844
PFF	12	4	2016	3	6.86	0.92	42.99	9.23	429.89	820
PFF	12	4	2016	4	17.81	1.35	42.57	13.51	425.72	1330
PFF	12	4	2016	5	13.29	0.88	44.05	8.81	440.49	1006
PFF	12	4	2016	6	11.91	0.89	45.09	8.95	450.94	925
PFF	12	4	2016	7	6.56	0.79	40.36	7.87	403.56	870
PFF	12	4	2016	8	9.15	0.97	42.79	9.73	427.94	1003
PFF	12	4	2016	9	5.88	1.04	45.11	10.43	451.14	834
PFF	12	4	2016	10	9.38	1.02	44.38	10.23	443.76	898
PFF	1	22	2017	1	5.16	1.18	44.86	11.84	448.61	1201
PFF	1	22	2017	2	7.26	1.24	46.50	12.37	464.96	840
PFF	1	22	2017	3	7.61	1.35	44.44	13.52	444.37	1030
PFF	1	22	2017	4	10.16	1.46	46.34	14.56	463.40	1034
PFF	1	22	2017	5	11.27	1.10	46.19	10.98	461.89	1016
PFF	1	22	2017	6	18.82	1.27	46.38	12.68	463.76	898
PFF	1	22	2017	7	7.47	1.27	45.05	12.70	450.49	999

PFF: Port Fourchon Fringe; Ag: *Avicennia germinans*; C: Carbono; N: Nitrógeno; TP: Fósforo total

Anexo 8. Continuación. Composición general de nutrientes presentes en la hojarasca recolectada de cada viaje de campo

Sitio	Mes	Día	Año	N° Canasta	Ag Hojarasca (g/m2)	% N	% C	N (mg/g/0.25m2)	C (mg/g/0.25m2)	TP (ug/g P)
PFF	1	22	2017	8	9.75	1.35	41.58	13.55	415.80	1298
PFF	1	22	2017	9	9.17	1.41	45.75	14.14	457.48	1077
PFF	1	22	2017	10	3.81	1.32	45.00	13.24	449.99	1035
PFF	2	3	2017	1	6.46	1.40	43.85	14.05	438.52	1114
PFF	2	3	2017	2	1.62	1.29	42.81	12.93	428.14	1294
PFF	2	3	2017	3	1.87	1.40	41.81	13.96	418.07	1615
PFF	2	3	2017	4	1.84	1.26	44.97	12.61	449.74	915
PFF	2	3	2017	5	2.42	1.44	44.67	14.45	446.67	1133
PFF	2	3	2017	6	2.69	1.39	44.34	13.87	443.39	1273
PFF	2	3	2017	7	2.24	1.52	42.96	15.18	429.62	1185
PFF	2	3	2017	8	1.97	1.45	43.41	14.51	434.14	1276
PFF	2	3	2017	9	2.00	1.29	43.82	12.91	438.19	926
PFF	2	3	2017	10	1.89	1.40	41.09	13.98	410.93	1171
PFF	3	4	2017	1	3.47	0.00	0.00	0.00	0.00	898
PFF	3	4	2017	2	3.66	2.31	80.77	23.15	807.69	899
PFF	3	4	2017	3	4.60	0.97	42.67	9.75	426.66	808
PFF	3	4	2017	4	3.81	1.14	43.77	11.35	437.68	1233
PFF	3	4	2017	5	4.72	0.93	42.59	9.30	425.88	715
PFF	3	4	2017	6	4.21	1.02	43.73	10.21	437.32	861
PFF	3	4	2017	7	2.56	1.22	45.54	12.16	455.42	978
PFF	3	4	2017	8	3.37	1.04	44.74	10.42	447.36	800
PFF	3	4	2017	9	2.24	1.07	43.12	10.74	431.19	836
PFF	3	4	2017	10	2.06	0.93	43.84	9.26	438.45	609
PFF	3	25	2017	1	0.94	0.75	44.63	7.48	446.32	648
PFF	3	25	2017	2	2.39	1.23	43.86	12.32	438.56	909
PFF	3	25	2017	3	0.90	0.78	44.25	7.81	442.47	809
PFF	3	25	2017	4	1.70	1.09	44.18	10.85	441.75	1207

PFF: Port Fourchon Fringe; Ag: *Avicennia germinans*; C: Carbono; N: Nitrógeno; TP: Fósforo total

Anexo 8. Continuación. Composición general de nutrientes presentes en la hojarasca recolectada de cada viaje de campo

Sitio	Mes	Día	Año	N° Canasta	Ag Hojarasca (g/m2)	% N	% C	N (mg/g/0.25m2)	C (mg/g/0.25m2)	TP (ug/g P)
PFF	3	25	2017	5	2.34	0.81	43.90	8.10	438.98	963
PFF	3	25	2017	6	1.38	0.70	44.31	7.03	443.08	750
PFF	3	25	2017	7	1.10	0.83	44.21	8.31	442.10	1012
PFF	3	25	2017	8	3.26	0.89	44.41	8.87	444.09	901
PFF	3	25	2017	9	0.93	0.79	46.42	7.92	464.18	924
PFF	3	25	2017	10	1.96	0.87	44.59	8.71	445.90	838
PFF	4	22	2017	1	2.43	0.71	42.52	7.13	425.21	962
PFF	4	22	2017	2	3.16	1.00	40.93	10.00	409.26	1229
PFF	4	22	2017	3	6.65	.	.	.	.	.
PFF	4	22	2017	4	4.60	1.17	42.26	11.66	422.59	1510
PFF	4	22	2017	5	6.77	0.78	43.66	7.82	436.64	775
PFF	4	22	2017	6	3.50	0.88	43.50	8.82	435.03	837
PFF	4	22	2017	7	3.99	0.87	43.41	8.71	434.11	918
PFF	4	22	2017	8	2.39	1.07	43.54	10.69	435.41	1154
PFF	4	22	2017	9	2.80	1.10	42.78	10.97	427.81	1028
PFF	4	22	2017	10	5.88	0.80	41.37	8.04	413.72	955
PFF	6	13	2017	1	0.25	1.57	44.44	15.72	444.44	1600
PFF	6	13	2017	2	0.08	0.73	46.07	7.25	460.73	505
PFF	6	13	2017	3	8.88	1.08	45.50	10.80	454.98	983
PFF	6	13	2017	4	.	.	.	.	.	.
PFF	6	13	2017	5	11.08	1.04	46.12	10.38	461.18	970
PFF	6	13	2017	6	11.59	1.58	40.52	15.77	405.23	1330
PFF	6	13	2017	7	4.48	1.36	39.58	13.63	395.81	1165
PFF	6	13	2017	8	6.93	1.55	46.03	15.47	460.28	1110
PFF	6	13	2017	9	8.55	1.59	45.56	15.85	455.63	2190
PFF	6	13	2017	10	0.90	1.61	43.79	16.15	437.91	1272
PFF	7	27	2017	1	3.90	1.02	44.59	10.20	445.95	1078

PFF: Port Fourchon Fringe; Ag: *Avicennia germinans*; C: Carbono; N: Nitrógeno; TP: Fósforo total

Anexo 8. Continuación. Composición general de nutrientes presentes en la hojarasca recolectada de cada viaje de campo

Sitio	Mes	Día	Año	N° Canasta	Ag Hojarasca (g/m2)	% N	% C	N (mg/g/0.25m2)	C (mg/g/0.25m2)	TP (ug/g P)
PFF	7	27	2017	2	7.53	1.09	45.89	10.89	458.86	1131
PFF	7	27	2017	3	4.89	0.98	46.07	9.79	460.70	988
PFF	7	27	2017	4	6.57	0.80	45.98	8.05	459.80	1032
PFF	7	27	2017	5	6.65	1.13	46.24	11.27	462.35	1019
PFF	7	27	2017	6	5.24	0.86	45.41	8.58	454.15	1390
PFF	7	27	2017	7	7.69	1.32	46.22	13.16	462.15	1051
PFF	7	27	2017	8	5.53	0.90	45.54	9.05	455.43	1061
PFF	7	27	2017	9	7.00	1.06	47.63	10.57	476.27	744
PFF	7	27	2017	10	2.74	0.95	46.61	9.54	466.08	925
PFF	9	16	2017	1	7.49	0.83	45.67	8.27	456.66	1034
PFF	9	16	2017	2	11.68	0.86	41.47	8.60	414.75	810
PFF	9	16	2017	3	12.41	1.19	43.75	11.87	437.53	1317
PFF	9	16	2017	4	16.72	1.14	41.85	11.40	418.54	1119
PFF	9	16	2017	5	20.20	0.73	44.73	7.35	447.30	777
PFF	9	16	2017	6	19.05	0.95	45.26	9.46	452.61	1031
PFF	9	16	2017	7	11.75	1.06	43.66	10.55	436.57	983
PFF	9	16	2017	8	10.72	0.81	45.71	8.07	457.10	797
PFF	9	16	2017	9	10.82	0.76	42.97	7.63	429.66	962
PFF	9	16	2017	10	10.85	0.94	43.37	9.41	433.73	1005
PFF	10	13	2017	1	11.41	0.66	45.20	6.62	452.00	775
PFF	10	13	2017	2	17.91	0.72	44.46	7.18	444.62	858
PFF	10	13	2017	3	7.88	0.66	43.74	6.60	437.36	726
PFF	10	13	2017	4	25.78	0.80	44.78	7.97	447.85	861
PFF	10	13	2017	5	10.65	0.95	44.61	9.52	446.07	868
PFF	10	13	2017	6	11.25	0.80	45.93	8.03	459.28	939
PFF	10	13	2017	7	13.77	1.19	45.26	11.89	452.65	1022
PFF	10	13	2017	8	14.65	1.00	44.75	10.05	447.48	886

PFF: Port Fourchon Fringe; Ag: *Avicennia germinans*; C: Carbono; N: Nitrógeno; TP: Fósforo total

Anexo 8. Continuación. Composición general de nutrientes presentes en la hojarasca recolectada de cada viaje de campo

Sitio	Mes	Día	Año	N° Canasta	Ag Hojarasca (g/m2)	% N	% C	N (mg/g/0.25m2)	C (mg/g/0.25m2)	TP (ug/g P)
PFF	10	13	2017	9	22.50	0.87	46.69	8.75	466.85	744
PFF	10	13	2017	10	13.25	0.64	44.07	6.35	440.68	694
PFF	11	18	2017	1	11.90	0.80	43.28	7.98	432.85	1125
PFF	11	18	2017	2	14.73	0.69	43.42	6.88	434.17	673
PFF	11	18	2017	3	24.97	0.71	41.79	7.07	417.86	713
PFF	11	18	2017	4	31.40	0.73	43.22	7.34	432.19	745
PFF	11	18	2017	5	23.31	0.62	42.31	6.20	423.11	689
PFF	11	18	2017	6	14.04	0.69	42.21	6.94	422.14	895
PFF	11	18	2017	7	28.33	0.73	43.30	7.26	433.01	739
PFF	11	18	2017	8	22.11	0.76	43.32	7.63	433.16	712
PFF	11	18	2017	9	23.74	0.86	44.73	8.56	447.28	619
PFF	11	18	2017	10	28.61	0.74	42.52	7.35	425.17	849
PFF	2	3	2018	1	17.91	1.02	46.62	10.24	466.18	885
PFF	2	3	2018	2	24.44	1.18	46.90	11.77	468.95	1152
PFF	2	3	2018	3	19.74	1.08	46.60	10.81	465.96	980
PFF	2	3	2018	4	20.15	1.20	45.89	11.97	458.87	1130
PFF	2	3	2018	5	20.05	1.20	45.55	11.96	455.52	1084
PFF	2	3	2018	6	22.89	1.21	46.86	12.15	468.57	1138
PFF	2	3	2018	7	17.51	1.28	47.17	12.83	471.71	1117
PFF	2	3	2018	8	14.56	1.16	45.77	11.55	457.72	1008
PFF	2	3	2018	9	15.34	1.32	46.38	13.18	463.81	1078
PFF	2	3	2018	10	16.31	1.37	44.82	13.72	448.23	1192
PFF	3	10	2018	1	43.91	1.69	46.87	16.85	468.68	993
PFF	3	10	2018	2	62.29	1.70	45.51	16.97	455.09	1547
PFF	3	10	2018	3	75.67	1.62	46.35	16.18	463.55	1313
PFF	3	10	2018	4	60.52	1.78	46.02	17.83	460.22	1456
PFF	3	10	2018	5	78.72	1.72	45.15	17.25	451.52	1621

PFF: Port Fourchon Fringe; Ag: *Avicennia germinans*; C: Carbono; N: Nitrógeno; TP: Fósforo total

Anexo 8. Continuación. Composición general de nutrientes presentes en la hojarasca recolectada de cada viaje de campo

Sitio	Mes	Día	Año	N° Canasta	Ag Hojarasca (g/m2)	% N	% C	N (mg/g/0.25m2)	C (mg/g/0.25m2)	TP (ug/g P)
PFF	3	10	2018	6	113.10	.	.	.	.	1502
PFF	3	10	2018	7	69.07	1.75	46.32	17.49	463.20	1571
PFF	3	10	2018	8	63.97	1.72	45.45	17.24	454.48	1456
PFF	3	10	2018	9	73.66	1.72	47.35	17.22	473.45	1391
PFF	3	10	2018	10	52.55	1.70	45.49	17.03	454.93	1443
PFF	4	20	2018	1	15.77	1.80	47.82	18.02	478.18	1139
PFF	4	20	2018	2	16.47	1.88	48.14	18.77	481.44	1184
PFF	4	20	2018	3	7.20	1.71	47.61	17.07	476.06	1082
PFF	4	20	2018	4	13.77	1.92	48.08	19.17	480.82	1313
PFF	4	20	2018	5	8.98	1.95	47.77	19.49	477.69	1363
PFF	4	20	2018	6	15.69	2.04	46.74	20.38	467.40	1302
PFF	4	20	2018	7	14.74	1.86	46.95	18.65	469.54	1141
PFF	4	20	2018	8	13.99	1.98	47.70	19.82	477.01	1108
PFF	4	20	2018	9	8.80	1.90	47.73	19.02	477.29	1155
PFF	4	20	2018	10	16.55	2.01	47.12	20.12	471.16	1222
PFF	5	15	2018	1	1.39	0.82	42.46	8.19	424.62	1404
PFF	5	15	2018	2	1.77	1.29	42.63	12.89	426.25	1353
PFF	5	15	2018	3	1.48	0.92	43.04	9.18	430.36	1057
PFF	5	15	2018	4	1.21	1.49	42.25	14.88	422.55	1135
PFF	5	15	2018	5	5.63	2.49	42.24	24.90	422.36	2251
PFF	5	15	2018	6	1.11	1.20	43.83	12.02	438.32	1042
PFF	5	15	2018	7	2.16	1.08	43.43	10.77	434.32	1280
PFF	5	15	2018	8	2.23	1.07	41.41	10.71	414.07	1207
PFF	5	15	2018	9	0.26	2.12	48.40	21.23	483.95	1277
PFF	5	15	2018	10	3.79	0.86	42.37	8.59	423.65	824

PFF: Port Fourchon Fringe; Ag: *Avicennia germinans*; C: Carbono; N: Nitrógeno; TP: Fósforo total