

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIA
ESCUELA DE INGENIERIA AGRÍCOLA

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE EMISIONES DE CO₂ Y CH₄ EN ÁRBOLES Y
SUELOS DE DISTINTOS SITIOS Y COMUNIDADES DE MANGLARES EN
LA BAHÍA DE PARITA, PANAMÁ**

DIANA L. CASTILLO V.
6-721-370

PANAMÁ, PANAMÁ
REPÚBLICA DE PANAMÁ

2025

ANÁLISIS COMPARATIVO DE EMISIONES DE CO₂ Y CH₄ EN ÁRBOLES Y SUELOS DE DISTINTOS SITIOS Y COMUNIDADES DE MANGLARES EN LA BAHÍA DE PARITA, PANAMÁ

TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEBE SER OBTENIDA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

APROBADO:

PROF. ING. DIMAS ARCIA



DIRECTOR

PROF. ING. LEANNE URRIOLA



ASESOR

PROF. ING. LOURDES RUBATINO



ASESOR

PANAMÁ, PANAMÁ

REPÚBLICA DE PANAMÁ

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo. En primer lugar, agradezco el invaluable apoyo de la Nacional Audubon Society y del Banco Interamericano de Desarrollo, que ejecuta el proyecto "Valoración, protección y mejora del capital natural costero en Panamá" (PN-T1233), financiado por el Department for Environment, Food & Rural Affairs (DEFRA) y el Blue Carbon Fund del Reino Unido. Su respaldo no solo proporcionó los recursos necesarios, sino también el marco para contribuir al conocimiento y la protección de los ecosistemas costeros de nuestro país.

A mis asesores y amigos que compartieron su tiempo, conocimientos y palabras de aliento, les debo gran parte del aprendizaje y las experiencias vividas durante este proceso.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este camino. Esta tesis es un reflejo del esfuerzo colectivo y del compromiso compartido por el avance de la ciencia y la conservación de nuestro patrimonio natural.

RESUMEN.

La presente investigación analiza las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4), en los manglares de la Bahía de Parita, Panamá. Evaluados en tres sitios denominados (Sarigua, Los Azules I y Antón II) y en cinco especies de mangle. Se utilizó una cámara estática y analizador de gases Li-COR para medir las emisiones. Los resultados mostraron que las emisiones varían según el sitio, las especies y las alturas de la cámara.

Estos hallazgos son aplicables al diseño de estrategias de conservación y gestión sostenible de manglares, fortaleciendo su papel en la regulación climática y destacando su importancia como sumideros de carbono en Panamá.

ÍNDICE

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2	ANTECEDENTES.....	6
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	13
1.4	OBJETIVOS.....	15
1.4.1	Objetivo General:.....	15
1.4.2	Objetivos específicos:	15
1.5	HIPÓTESIS.....	16
1.6	ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO.	17
	Determinación de las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero:.....	17
2.	REVISIÓN DE LITERATURA.	19
2.1	Manglares.	19
2.2	Estudios sobre almacenamiento de carbono (C) en manglares.	20
2.3	Estudios sobre Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) en suelo árboles de mangles.....	20
2.4	Estudios sobre Emisiones de dióxido de carbono (CH ₄) en suelo y árboles de mangles.....	24
2.5	Dióxido de Carbono (CO ₂).....	27
2.6	Metano (CH ₄).....	28
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1	Métodos.....	30
3.1.1	Área de Estudio.	30
3.1.2	Diseño experimental.....	33
3.2	Trabajo en Campo	34
3.2.2	Levantamiento de parcelas.....	34
6.6	Método utilizado para las mediciones de flujo de gases.	35
3.3.1.	Medición de flujo de gases CO ₂ y CH ₄ en suelo.	35
3.3.2.	Medición de flujos de gases CO ₂ y CH ₄ en árboles.....	35
3.4.	Software para descargar los datos.	36

3.4.1.	Software SoilFluxPro.....	36
4.	RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	38
4.1	Análisis Estadístico.....	38
4.2	Resultados.....	39
4.3	Discusión.....	54
5	CONCLUSIONES.....	61
6	RECOMENDACIONES.....	62
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	63
8	ANEXO.....	70

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Localización de la Bahía de Parita, Panamá.....	31
Figura 2. Área de estudio Parque Nacional Sarigua, Herrera. Especie de Mangle, <i>Avicennia Germinans</i>	32
Figura 3. Área de estudio Parque Nacional Sarigua, Herrera. Especie de Mangle, <i>Rizophora mangle</i>	32
Figura 4. Área de estudio Los Azules, Coclé. Especie, <i>Avicennia Bicolor</i>	32
Figura 5. Área de estudio Los Azules, Coclé. Especie de Mangle, <i>Rhizophora Racemosa</i>	32
Figura 6. Área de estudio Los Azules, Coclé. Especie de Mangle, <i>Avicennia Germinans</i>	32
Figura 7. Diseño experimental utilizado para medir el flujo de Gases CO ₂ y CH ₄ En Suelos y Árboles de Manglares.....	33

INDICE DE GRÁFICAS.

Gráfico 1. Emisiones de emisiones de CO ₂ en las especies <i>Avicennia Germinans</i> (Ag) y <i>Rhizophora Mangle</i> (Rm) en el sitio de Sarigua.....	39
Gráfico 2. Emisiones de CH ₄ en las especies <i>Avicennia Germinans</i> (Ag) y <i>Rhizophora Mangle</i> (Rm) en el sitio de Sarigua.....	40
Gráfico 3. Emisiones de CO ₂ en las especies <i>Avicennia Bicolor</i> (Ab) y <i>Rhizophora Racemosa</i> (Rr) en el sitio De Antón I	41
Gráfico 4. Emisiones de CH ₄ en las especies <i>Avicennia Bicolor</i> (Ab) y <i>Rhizophora Racemosa</i> (Rr) en el sitio De Antón I	42
Gráfico 5. Emisiones de CO ₂ de <i>Avicennia Bicolor</i> ,en el sitio de Antón II.....	43
Gráfico 6. Emisiones de CH ₄ en <i>Avicennia Bicolor</i> especie presente en el sitio Antón II.	44
Gráfico 7. Comparación de emisiones de CO ₂ entre <i>Laguncularia Racemosa</i> (Lr) y <i>Rhizophora Mangles</i> (Rm), Según la altura de la Cámara en los Árboles.....	46
Gráfico 8. Comparación de emisiones de CH ₄ entre <i>Laguncularia Racemosa</i> (Lr) y <i>Rhizophora Mangles</i> (Rm), Según la Altura de la Cámara en los Árboles.....	47
Gráfico 9. Comparación de emisiones de CO ₂ entre <i>Avicennia Bicolor</i> (Ab) y <i>Rhizophora Racemosa</i> (Rr), Según la Altura de la Cámara en los Árboles En El Sitio De Los Azules (Antón I).	48
Gráfico 10. Comparación de emisiones de CH ₄ entre <i>Avicennia Bicolor</i> (Ab) y <i>Rhizophora Racemosa</i> (Rr), Según La Altura de la Cámara en los Árboles, En los Azules (Antón I).	49
Gráfico 11. Comparación de emisiones de CO ₂ en <i>Avicennia Bicolor</i> (Ab), Según la Altura de la Cámara en los Árboles, En Antón II	50
Gráfico 12. Comparación de emisiones de CH ₄ en <i>Avicennia Bicolor</i> (Ab), Según la Altura de la Cámara en los Árboles ,En Antón II.....	51

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Emisiones de CO ₂ y CH ₄ en Suelo de mangles según especie y sitio.	45
Tabla 2. Emisiones de CO ₂ y CH ₄ en Árboles de los manglares según especie y sitio	52

1. INTRODUCCIÓN

El Cambio Climático Global es uno de los principales problemas ambientales que enfrenta la humanidad. Se refiere a las variaciones en el clima a lo largo del tiempo, causadas tanto por procesos naturales o por actividades humanas. Este fenómeno está impulsado por la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), como el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), que contribuyen al Calentamiento Global (IPCC, 2021). Todo esto se traduce en el aumento del nivel del mar, elevadas temperaturas y cambios en la distribución de precipitaciones (IPCC, 2001). En este contexto, los ecosistemas costeros, como los manglares, emergen como Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) que pueden ayudar a mitigar los efectos del cambio climático (Peña L. et al, 2020). La función de los manglares como sumideros de carbono azul de la Tierra contribuye significativamente a mitigar el cambio climático al reducir la concentración de CO₂ en la atmósfera, motivo por el cual se han establecido esfuerzos internacionales, como los sistemas de comercio de emisiones o "mercados de carbono (Murray et al., 2011; Donato et al., 2011). En este contexto global, Panamá, como signatario de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Acuerdo de París, se comprometido activamente a reducir el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2 °C y a fortalecer los esfuerzos para

limitar ese incremento a 1.5 °C respecto a los niveles preindustriales (Ministerio de Ambiente, 2022). Además, el país alberga más de 183,000 hectáreas de manglares, distribuidas principalmente en el litoral pacífico con 169,458 hectáreas y una proporción menor en el Caribe, representando el 2.44 % de la cobertura vegetal nacional (Ministerio de Ambiente, 2023). Así mismo el país posee la mayor variedad de especies de manglares reportadas en América, es decir, 12 de las 65 especies (no híbridas) (Spalding et al., 2011). Entre las principales especies que se desarrollan en Panamá podemos mencionar: mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle piñuelo (*Pelliciera rhizophorae*) y el mangle botón (*Conocarpus erectus*) (Vega, 2023).

En el Pacífico de Panamá se encuentra la Bahía Parita, que se extiende desde el Sur de Antón, Provincia de Coclé, hasta el Sureste en Herrera, con una superficie aproximada de 15,000 hectáreas de manglar (López O. et al, 2023). A pesar de haber sido objeto de diversos estudios que abarcan desde la descripción de la vegetación hasta investigaciones faunísticas acuáticas y ornitológicas, hasta el momento no se han realizado estudios sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en esta zona crucial de manglares. Los manglares, como se ha mencionado previamente, desempeñan un papel fundamental en la mitigación del cambio climático al actuar como sumideros de carbono, aunque Panamá carece de estudios específicos sobre las emisiones de gases. Esta investigación busca evaluar las emisiones de CO₂

y CH₄ en árboles y suelos de diferentes comunidades de manglares tales como, *Rhizophora racemosa*, *Avicennia bicolor*, *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa*, ubicados en la Bahía Parita, Panamá. Además, es importante mencionar que este trabajo es parte complementaria de diferentes investigaciones que busca evaluar el almacenamiento de carbono en los mangles de Bahía de Parita.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Conocer el valor de los manglares en Panamá es de suma importancia dado que es un país que se encuentra rodeado por las costas del Caribe y el Pacífico con ecosistemas costeros marinos ricos y diversos. Sin embargo, pese a su importancia son uno de los ecosistemas más gravemente degradados producto de las actividades antropogénicas (Pendleton et al., 2012). Específicamente en Panamá su protección y restauración no se considera una prioridad en la agenda nacional pese a que, en los últimos 50 años, desde 1972, Panamá ha perdido casi el 50 % de estos ecosistemas (Paton S. et al. 2021).

Las tasas globales de pérdida de manglares oscilan entre el 0,7% y el 3%, lo que resulta altas emisiones de CO₂ (Pendleton et al., 2012). Entre los principales factores que causan el deterioro de los manglares, podemos mencionar la creciente urbanización y el desarrollo costero los cuales amenazan la integridad de los ecosistemas marinos costeros, así como también la escasa información que existe sobre su importancia y la falta de integración en las políticas de protección y mitigación de daños causados por las acciones humanas. De esta manera, la falta de acción dirigida a la protección de los manglares se puede atribuir parcialmente a la escasa información sobre los beneficios ambientales, económicos y sociales que presentan los manglares. Así como a las pocas investigaciones científicas realizadas en los bosques de manglares dirigidas al monitoreo sistemático de los recursos naturales que en

ellos se encuentran, de esta manera estos y otros factores limitan la comprensión eficaz de los beneficios que los manglares proporcionan a la sociedad humana dificultando la toma de decisiones para su conservación.

En el caso específico de los manglares del Pacífico de Panamá concretamente en la Bahía de Parita, Panamá, no existe información sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidos por los manglares. Teniendo en cuenta que estos ecosistemas se están adaptando a la incertidumbre del futuro cambio climático, los cambios en la dinámica, su funcionamiento, la capacidad de almacenamiento a largo plazo y los beneficios que de ellos se pudieran obtener merecen atención (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022).

1.2 ANTECEDENTES

El estudio de Svante Arrhenius a finales del siglo XIX inició la comprensión moderna sobre el impacto de los gases de efecto invernadero en el clima global (Arrhenius, 1896). Sus investigaciones proporcionaron las bases teóricas para futuras investigaciones y políticas climáticas. Años después, en 1997, el Protocolo de Kioto estableció un marco internacional crucial al comprometer a los países desarrollados a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Naciones Unidas, 1998). Este acuerdo sentó un precedente para la cooperación global en mitigación del cambio climático.

Desde entonces, los modelos climáticos han avanzado significativamente, mejorando en precisión y resolución espacial. Esto ha permitido una mejor comprensión de los patrones climáticos y de los impactos observados del cambio climático, como el aumento de la temperatura global y el derretimiento de los casquetes polares (IPPC, 2014). De esta manera, podemos mencionar la importante función que realizan los manglares frente a estos impactos, actuando como barreras naturales que protegen las costas contra la erosión y las tormentas, y como sumideros de carbono que ayudan a mitigar el cambio climático al capturar y almacenar grandes cantidades de carbono atmosférico. Sin embargo, su deforestación ha afectado significativamente en todo el mundo (Beers et al., 2020), disminuyendo su capacidad para absorber carbono y aumentando las emisiones a la atmósfera de carbono almacenado durante

siglos. Estos hallazgos subrayan la urgencia de conservar y restaurar los manglares no solo por sus beneficios climáticos, sino también por su valor ecológico y económico en las zonas costeras tropicales (Primavera et al., 2018; Hadika et al., 2020). El estudio de (Castillo Y. et al., 2021), Analizó los cambios en la cobertura de los manglares en la Bahía de Parita, Panamá, entre 1987 y 1998, revelando una disminución en su extensión y verdor durante ese período. Sugirió que esta pérdida podría deberse a factores naturales como las variaciones en las precipitaciones y la temperatura, así como las actividades humanas como la agricultura y la ganadería.

Así mismo se han realizado estudios para entender cómo los manglares, son reconocidos por su alta capacidad de almacenamiento de carbono tanto en biomasa aérea como en suelos, Tal es el estudio realizado por (Donato et al., 2011a) Donde investigaron la capacidad de los manglares para almacenar carbono y su contribución al ciclo global del carbono. Destacan que los manglares son ecosistemas extremadamente ricos en carbono, tanto en su biomasa aérea como en sus suelos. En el Golfo de México, (Thorhaug et al., 2019) estimaron el almacenamiento de carbono azul en los sedimentos del primer metro de profundidad en manglares, pastos marinos y marismas del Golfo de México. Mostraron en los manglares el mayor almacenamiento de carbono con 196.9 "teragramos de carbono orgánico" (Tg Corg), seguidos por los pastos marinos con 184.1 Tg Corg y las marismas con 99.5 Tg Corg. Sugirieron que la diferencia en el almacenamiento de carbono entre manglares

y marismas podría atribuirse al período de crecimiento más largo durante la estación cálida en la región sur del Golfo, donde los manglares capturan carbono, en contraste con la estación fría más prolongada en la misma región. En la Reserva La Encrucijada, México, (Velázquez-Pérez et al., 2019). Analizaron la estructura de los manglares ribereños y su impacto en el almacenamiento de carbono. Evaluaron 32 unidades de muestreo circulares (400 m² cada una), caracterizando la altura de los árboles, cobertura, diámetro a la altura del pecho, y estimando índices de complejidad y valor de importancia. Se encontró que la densidad de árboles tuvo una influencia significativa en el contenido de carbono aéreo de los manglares, indicando que una mayor densidad conlleva a una mayor retención de carbono. Además, (Kauffman B. et al., 2014) evaluaron los efectos de la conversión de manglares intactos en la República Dominicana en los stocks de carbono y las emisiones resultantes. Utilizando datos de inventarios de manglares y tasas de deforestación, se calcularon los almacenamientos de carbono en manglares intactos y se estimaron las emisiones de carbono asociadas con su conversión a otros usos de la tierra como agricultura o desarrollo urbano. Los resultados revelaron que los manglares intactos en la República Dominicana almacenan cantidades significativas de carbono en su biomasa y suelos, funcionando como importantes sumideros de carbono. En México (Herrera Silveira et al.), evaluarón la capacidad de emisión de carbono y la dinámica de carbono (almacenes y flujos) en los bosques de manglar, encontrando los mayores

almacenes de carbono orgánico total en los manglares ribereños del Golfo de México.

La interacción entre el almacenamiento de carbono en los ecosistemas marinos costeros está estrechamente vinculada con la regulación de los gases de efecto invernadero. El estudio de (Das N. et al. 2022) realizado en los manglares de Sundarban, India, examinó la influencia de las comunidades microbianas en las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de distintas estaciones del año. Durante el monzón, se observó una alta prevalencia de bacterias heterótrofas, anaeróbicas y otras con funciones específicas, mientras que en la temporada posmonzónica predominaron diferentes grupos microbianos.

Resalta cómo la actividad microbiana puede modular las emisiones de gases en manglares que afectan el clima, destacando la complejidad de los sistemas naturales y su interacción con el cambio climático global. Por otro lado, el trabajo de (Chen et al., 2016) donde evaluaron el equilibrio entre las emisiones de gases de efecto invernadero en los manglares del sur de China. Utilizando cámaras estáticas, durante las estaciones cálida y fría del año. Como resultado, encontraron que las emisiones de gases de efecto invernadero en los manglares del sur de China pueden reducir el efecto de enfriamiento atmosférico de estas plantas, alterando los flujos de N_2O , CH_4 y CO_2 . Aunado a esto en diversas regiones del mundo, se han realizado estudios específicamente de emisiones de GEI como CO_2 y CH_4 en manglares. (Nelson C., 2020) , en un estudio realizado en la Amazonía Oriental Brasileña, investigó

la estacionalidad de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en relación con diferentes estratos de la vegetación de manglar, así como con variables físico-químicas del suelo y ambientales. Los resultados mostraron que las emisiones de CO₂ siguieron un patrón estacional, siendo significativamente mayores durante el período lluvioso, lo que destacó el papel de los manglares en estas emisiones.

En Panamá, estudios como el de (R. Lauri, 2015) en donde evaluó la cantidad de CO₂ almacenada en los manglares *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* en la Bahía de Chame en distintas áreas intermareales, Encontró que *Rhizophora mangle* retiene más CO₂ que *Avicennia germinans*. Además, (Gómez et al., 2023) investigaron y cuantificaron las tasas de respiración del suelo en un manglar específico ubicado en la Bahía de Panamá. Se propuso entender cómo la actividad microbiana en los sedimentos del manglar contribuye a las emisiones CO₂ desde el suelo hacia la atmósfera. Además, buscó identificar los factores ambientales que podrían influir en estas tasas de respiración del suelo. Los resultados del estudio mostraron que el manglar tenía tasas significativas de respiración del suelo. Esto indica que los sedimentos del manglar son activos en términos de descomposición microbiana de materia orgánica, lo cual genera emisiones de CO₂ hacia la atmósfera. Las tasas de respiración del suelo pueden variar considerablemente dependiendo de factores como la temperatura del suelo, la humedad y la disponibilidad de nutrientes, todos los cuales influyen en la actividad microbiana. En Taiwan,(Lin

et al., 2020) estudiaron los flujos de metano (CH_4) y las propiedades del suelo en la capa superior de 10 cm de manglares subtropicales (*Kandelia obovata*) y tropicales (*Avicennia marina*). En los manglares de *Avicennia*, se observaron flujos de CH_4 significativamente mayores en verano que en invierno, mientras que en los manglares de *Kandelia* no hubo variaciones estacionales detectables en los flujos de CH_4 . Además, investigaciones en Florida (Cabezas A. et al., 2018) investigaron las emisiones de CH_4 en suelos de manglares situados en arroyos de mareas perturbados hidrológicamente y en arroyos de mareas de referencia en el suroeste de Florida. Este estudio indicó que las emisiones de CH_4 son significativamente mayores en los manglares afectados por actividades humanas en comparación con aquellos menos perturbados por el hombre (Zheng et al., 2018). Evaluaron la emisión de CH_4 en áreas con y sin influencia de actividades humanas, así como la contribución relativa de CH_4 al calentamiento global. Se encontró que los manglares intactos emiten menos CH_4 que aquellos afectados por actividades antropogénicas, como la escorrentía de nutrientes y la agricultura, lo cual aumenta significativamente las emisiones de CH_4 y contribuye al calentamiento climático. De igual manera (Giani et al., 1996) emplearon cámaras estáticas para medir las emisiones de CH_4 en suelo de mangle. Los resultados mostraron que las concentraciones de metano fueron predominantemente inferiores a $2 \mu\text{M}$, con tasas de producción de metano fluctuando entre 1 y $23 \text{ nmol ml}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Lo cual sugiere que la

producción de metano está equilibrada por procesos de oxidación de metano dentro del suelo manglar.

En contextos específicos referentes a emisiones en árboles, en las turberas amazónicas (van Haren et al., 2021a), mediante la utilización de una cámara de flujo de gas, se detectaron altas emisiones de CH₄ en troncos de árboles en turberas amazónicas. Se encontró que las palmas dominantes, *especialmente M. flexuosa*, emitían CH₄ a tasas significativamente mayores (hasta 84 mg^C m⁻² h⁻¹ a 0,23 m de altura del tallo) en comparación con otras especies de madera dura. Estas tasas superaron considerablemente las emisiones más altas previamente registradas de tallos de árboles. Así mismo en una turbera boscosa tropical en el sudeste asiático (Pangala et al., 2013) Llevo a cabo la cuantificación de las emisiones de CH₄ in situ de los tallos de los árboles, las superficies de las turberas (huecos y montículos con estanques) y los neumatóforos aireadores de raíces. Se encontró que los tallos de los árboles emitieron significativamente más metano que las superficies de turba, representando entre el 62% y el 87% del flujo total de metano del ecosistema. La intensidad del flujo de los tallos de los árboles fue influenciada por el diámetro del tallo, la densidad específica de la madera y la cantidad de metano disuelto en el agua de los poros.

Estos hallazgos resaltan la importancia de comprender y gestionar los manglares como componentes clave en la regulación del clima global y en la conservación de sus valiosos servicios ecosistémicos.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

En el Golfo de Panamá, la mayoría de los manglares enfrentan un estado de conservación crítico o amenazado debido a diversas actividades antropogénicas como la expansión de estanques de camarones, urbanización y prácticas agrícolas (LD'Croz., et al., 1993). Estas perturbaciones han resultado en la pérdida significativa de especies, afectando su capacidad como sumideros de carbono y aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero, aunque actualmente no existen datos específicos sobre estas emisiones en la región, es crucial implementar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en los manglares para reducir su vulnerabilidad y preservar sus funciones ecológicas (Herrera S. et al., 2016). Una estrategia efectiva podría ser la aplicación de la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) en los manglares, lo cual podría contribuir significativamente a la reducción de las emisiones de CO₂ a nivel regional (Herold et al., 2011).

La inclusión de los manglares en la estrategia climática de Panamá requiere la realización de inventarios precisos para estimar la captura total de carbono en estos ecosistemas. Además, en la Bahía de Parita y sus alrededores, las actividades humanas como el desarrollo urbano y las prácticas agrícolas están amenazando seriamente la existencia de los manglares, lo que conlleva a un aumento en la contaminación y una disminución de la cobertura de manglares

en esta zona (López O. et al., 2023) Esta disminución podría resultar en mayores emisiones de gases de efecto invernadero, aunque actualmente no se cuenta con datos específicos sobre estas emisiones en esta área específica de manglares en Panamá, Por lo tanto, es imperativo llevar a cabo un estudio detallado para evaluar las emisiones de CO₂ y CH₄ y destacar así la importancia de los manglares en la mitigación del cambio climático, particularmente aquellos en la Bahía de Parita, Panamá.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General:

- Evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero en árboles y suelo en tres sitios de diferentes comunidades de mangles en la Bahía de Parita, Panamá.

1.4.2 Objetivos específicos:

- Comparar las emisiones de CO₂ en árboles y suelo de mangles en tres sitios tales como: Sarigua (*Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*), Los Azules (Antón I) (*Rhizophora racemosa*, *Avicennia bicolor*) y Antón II (*Avicennia bicolor*).
- Comparar las emisiones de CH₄ en árboles y suelo de mangles en tres sitios tales como: Sarigua (*Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*), Los Azules (Antón I) (*Rhizophora racemosa*, *Avicennia bicolor*) y Antón II (*Avicennia bicolor*).

1.5. HIPÓTESIS.

Existen diferencias significativas en las emisiones de CO₂ y CH₄ entre los suelos y árboles de manglares en los distintos sitios de la Bahía de Parita.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO.

Determinación de las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero:

Para ello se llevará a cabo un análisis sobre las emisiones de gases de efecto invernadero específicamente CO₂ y CH₄ en suelo y árboles de especies de mangles, tales como: *Rhizophora racemosa*, *Avicennia bicolor*, *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*.

Cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero:

Es necesario medir y cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente el CO₂ y CH₄, que se producen en los manglares de la bahía de Parita porque así nos permitirá conocer el impacto negativo que causan estos gases influyentes en el cambio climático. Las emisiones se evaluarán en campo, mediante la medición de emisiones de gases con cámaras estáticas.

Limitaciones.

- **Condiciones climáticas variables:** Las condiciones climáticas pueden tener un impacto significativo en las mediciones de las emisiones de gases de efecto invernadero. El viento, la temperatura y la humedad pueden cambiar rápidamente en los manglares, lo que dificulta la captura precisa de datos. Además, las lluvias frecuentes pueden limitar el tiempo disponible para llevar a cabo mediciones.

- **Dificultad para medir y muestrear:** Los manglares son ecosistemas complejos con una variedad de factores que pueden influir en las emisiones de gases de efecto invernadero. Medir y muestrear estos gases de manera precisa y representativa puede ser un desafío debido a la naturaleza heterogénea y dinámica del sistema.
- **Acceso al sitio de investigación:** Trabajar en manglares puede requerir adentrarse en áreas fangosas y de difícil acceso, lo que puede dificultar el acceso y movimiento durante el trabajo de campo, lo cual limita la cantidad de datos que se pueden recopilar.
- **Variaciones espaciales y temporales:** Las emisiones de gases de efecto invernadero en los manglares pueden variar significativamente en diferentes áreas y durante diferentes momentos del año. Por lo tanto, se requiere un muestreo y monitoreo continuo para obtener una imagen completa de las emisiones, lo cual involucra la inversión de tiempo y recursos.
- **Interferencia antropogénica:** Las actividades humanas, como la deforestación, la acuicultura y la urbanización costera, pueden alterar significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero en los manglares. Estas interferencias pueden dificultar la identificación precisa de fuentes de emisión y la evaluación de su contribución a nivel local o regional.

2. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 Manglares.

Los manglares son ecosistemas costeros, reconocidos por su alta productividad y adaptaciones únicas como raíces aéreas y la viviparidad (Tomlinson, 1986). Estos bosques son uno de los ecosistemas más diversos y productivos del planeta, albergando una vasta gama de especies adaptadas a condiciones extremas(UNEP, 2006). Además, los manglares desempeñan un papel crucial en la protección costera, estabilizando la línea costera contra tormentas y sosteniendo actividades como la pesca y el turismo sostenible (Primavera et al., 2008). Adaptados a condiciones adversas como salinidad elevada y suelos anóxicos, los manglares desarrollan raíces aéreas conocidas como neumatóforos para sobrevivir (Tomlinson B., 1986), las cuales también actúan como filtros naturales, mejorando la calidad del agua al atrapar sedimentos y nutrientes (Alongi, 2015).

Además de su biodiversidad y funciones ecológicas, los manglares juegan un papel crucial en la regulación del clima global al almacenar eficientemente carbono atmosférico. Tanto la biomasa como los suelos de los manglares actúan como sumideros de carbono significativos, capturando sedimentos y materia orgánica que incrementan aún más su capacidad de almacenamiento (Alongi, 2008). Se estima que los manglares pueden acumular aproximadamente 1,022 toneladas de carbono por hectárea, destacándose

como uno de los ecosistemas más efectivos en la captura y almacenamiento de carbono (Donato et al., 2011b). Sin embargo, estos ecosistemas enfrentan múltiples amenazas globales como la deforestación, la conversión de tierras para la agricultura y la contaminación, lo que contribuye a su pérdida y degradación a nivel mundial (Richards et al. 2016). La degradación de los manglares también es significativa en términos de emisiones globales de CO₂, subrayando su importancia crítica en los esfuerzos de mitigación del cambio climático (Alongi, 2014).

2.2 Estudios sobre almacenamiento de carbono (C) en manglares.

Los manglares son reconocidos por su capacidad de almacenar grandes cantidades de carbono, especialmente en sus sedimentos, debido a las condiciones anóxicas que limitan la oxidación y descomposición del carbono (Sanderman et al., 2018). Los investigadores sugirieron que la diferencia en el almacenamiento de carbono entre manglares y marismas podría atribuirse al período de crecimiento más largo durante la estación cálida en la región sur del Golfo, donde los manglares capturan carbono, en contraste con la estación fría más prolongada en la misma región. Estudios sobre Emisiones de CH₄ en suelo y árboles de mangles.

2.3 Estudios sobre Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en suelo árboles de mangles.

Las investigaciones sobre la respiración del suelo y las emisiones de CO₂ en los manglares han sido fundamentales desde principios del siglo XIX (Luo et al.,

2006). Estos estudios se centran en evaluar la biomasa de los manglares y el carbono orgánico de los sedimentos, indicadores clave de las emisiones de CO₂ en estos ecosistemas. Por ejemplo, (Nelson C., 2020) investigó las emisiones estacionales de dióxido de carbono en diferentes estratos de vegetación de manglar, así como la composición físico-química del suelo y factores ambientales. Determinó que las mayores emisiones de dióxido de carbono ocurrieron durante la época lluviosa, siendo más significativas en el estrato adulto, con un 56% de variabilidad explicada. Además, se cuantificaron las emisiones y remociones de CO₂ en el área de Sipacate-Naranjo, en el litoral Pacífico de Guatemala, donde se observó que la conversión de áreas de manglar a otros usos generó una emisión total de 110,932.76 toneladas de CO₂ equivalente hacia la atmósfera (eq). El estudio de (Boone Kauffman et al., 2014) analizaron cómo la conversión de manglares intactos en la República Dominicana afecta los stocks de carbono y las emisiones resultantes, Utilizando datos de inventarios de manglares y tasas de deforestación, se calcularon los stocks de carbono en manglares intactos y se estimaron las emisiones de carbono asociadas con su conversión a otros usos de la tierra como agricultura o desarrollo urbano. Los resultados revelaron que los manglares intactos en la República Dominicana almacenan cantidades significativas de carbono en su biomasa y suelos, funcionando como importantes sumideros de carbono. Sin embargo, la conversión de estos manglares para otros fines conlleva emisiones significativas de carbono a la atmósfera. En contraste, (J.Castillo et al., 2017)

Investigaron y compararon los flujos de gases de efecto invernadero (GEI) en suelos entre bosques de manglares tropicales y áreas de manglares deforestada, mostraron que las emisiones de CO₂ y CH₄ fueron significativamente mayores en los bosques de manglares (110 y 0,6 kg CO₂e ha⁻¹ día⁻¹, respectivamente), mientras que las emisiones de N₂O fueron considerablemente menores en comparación con los usos de la tierra deforestados (1,3 kg CO₂e ha⁻¹ día⁻¹). Las emisiones de CH₄ y N₂O representaron una fracción mucho menor de las emisiones totales en los bosques de manglares (0,59% y 0,04%, respectivamente) en comparación con los usos de la tierra no forestales (0,23% y 3,07%, respectivamente). En el Everglades, (Troxler et al., 2015) Investigaron la variabilidad en el flujo de CO₂ en diferentes componentes de un bosque de manglares ribereños en el estuario de Shark River Slough, Everglades. Se encontró que el flujo de CO₂ variaba significativamente entre el suelo, hojarasca, restos de madera, suelo con neumatóforos, raíces apuntalados y agua superficial. Los neumatóforos de *Avicennia germinans* fueron los principales contribuyentes al flujo promedio de CO₂. En áreas con un estrecho rango de salinidad estuarina (25 a 35 PSU), se observó que un aumento en la salinidad redujo el flujo de CO₂ hacia la atmósfera. La inundación por marea disminuyó el flujo de CO₂ desde el suelo, pero aumentó la presión parcial de CO₂ (pCO₂) en el agua superficial post-inundación. Esta mayor pCO₂ en el agua superficial podría ser exportada debido a procesos inducidos por las mareas, principalmente como HCO₃⁻. Además

(Gómez et al., 2023) evaluaron las tasas de respiración del suelo en un manglar específico ubicado en la Bahía de Panamá. El estudio se propuso entender cómo la actividad microbiana en los sedimentos del manglar contribuye a las emisiones de CO₂ desde el suelo hacia la atmósfera. Además, buscó identificar los factores ambientales que podrían influir en estas tasas de respiración del suelo. Los resultados del estudio mostraron que el manglar estudiado en la Bahía de Panamá tenía tasas significativas de respiración del suelo. Esto indica que los sedimentos del manglar son activos en términos de descomposición microbiana de materia orgánica, lo cual genera emisiones de CO₂ hacia la atmósfera. Las tasas de respiración del suelo pueden variar considerablemente dependiendo de factores como la temperatura del suelo, la humedad y la disponibilidad de nutrientes, todos los cuales influyen en la actividad microbiana. Así mismo (R. Lauri, 2015) estimó la cantidad de CO₂ almacenada en manglares de la Bahía de Chame, *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*. Evidenciando que *Rhizophora mangle* retiene más CO₂ que *Avicennia germinans*.

Por otra parte, se han llevado a cabo estudios de emisiones de CO₂ en arboles tal es el caso de (Bulmer R. et al., 2015) Investigaron el impacto de la tala en la salida de CO₂ de sedimentos y los factores bióticos y abióticos asociados, En tal estudio concluyeron que las tasas de salida de sedimentos de CO₂ de los bosques de manglares intactos ($168,5 \pm 45,8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y despejados ($133,9 \pm 37,2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). No encontramos una diferencia significativa en las tasas

de salida de CO₂ de sedimentos entre los bosques de manglares templados intactos.

2.4 Estudios sobre Emisiones de dióxido de carbono (CH₄) en suelo y árboles de mangles.

Los estudios de emisiones de gases de efecto invernadero, como el CH₄, en manglares están aumentando, lo que nos permite referirnos a investigaciones sobre este tema (Cabezas A. et al., 2018) Investigaron las emisiones de metano en suelos de manglares situados en arroyos de mareas perturbados hidrológicamente y en arroyos de mareas de referencia en el suroeste de Florida. Este estudio indicó que las emisiones de CH₄ son significativamente mayores en los manglares afectados por actividades humanas en comparación con aquellos menos perturbados por el hombre. (Zheng et al., 2018) Evaluaron la emisión de CH₄ en áreas con y sin influencia de actividades humanas, así como la contribución relativa de CH₄ al calentamiento global comparado con el CO₂. Se encontró que los manglares intactos emiten menos CH₄ que aquellos afectados por actividades antropogénicas, como la escorrentía de nutrientes y la agricultura, lo cual aumenta significativamente las emisiones de CH₄, contribuyendo al calentamiento climático. Por otro lado (J. A. A. Castillo et al., 2017) compararon los flujos de GEI entre manglares tropicales y áreas deforestada. Se encontró que las emisiones diarias de CO₂ y CH₄ fueron significativamente más altas en los manglares que en las áreas no forestales,

siendo 2,6 y 6,6 veces mayores respectivamente. Sin embargo, las emisiones de N₂O fueron considerablemente menores en los manglares. Como porcentaje de las emisiones totales, CH₄ y N₂O fueron más bajos en los manglares en comparación con las áreas no forestales. Además, se utilizó Kriging ordinario para mapear con precisión del 75% al 83% la distribución de los flujos de gases de efecto invernadero. Los manglares tienen la capacidad de compensar sus emisiones absorbiendo CO₂ a través de la fotosíntesis, destacando su importancia en la mitigación del cambio climático en comparación con los usos de la tierra no forestales. Además, (Jeffrey et al., 2019) investigaron las emisiones de CH₄ de los manglares que podrían ser una forma oculta o críptica de pérdida de carbono. Se encontró que las emisiones promedio de CH₄ de los tallos de los árboles de mangle muertos en pie fueron significativamente mayores, alcanzando $249,2 \pm 41,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$, comparadas con las emisiones de los árboles vivos ($37,5 \pm 5,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$), que fueron considerablemente menores. Asimismo, se observó que el flujo promedio de CH₄ desde las bases de los troncos de los árboles (a unos 10 cm sobre el suelo) fue elevado en los árboles muertos ($1071,1 \pm 210,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en comparación con los árboles vivos ($96,8 \pm 27,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en los flujos de CH₄ ni en los potenciales redox de los sedimentos entre las masas vivas y muertas de los árboles de mangle estudiados. Además, (Lin et al., 2020) .Estudiaron los flujos de CH₄ y las propiedades del suelo en la capa superior de 10 cm de manglares subtropicales (*Kandelia obovata*) y

tropicales (*Avicennia marina*) en Taiwán a lo largo de un ciclo estacional completo. En los manglares de *Avicennia*, se observaron flujos de CH₄ significativamente mayores en verano que en invierno, mientras que en los manglares de *Kandelia* no hubo variaciones estacionales detectables en los flujos de CH₄. Además, los suelos de manglares de *Avicennia* mostraron flujos de CH₄ significativamente más altos que las marismas adyacentes, pero esta diferencia no fue tan clara en los manglares de *Kandelia*. Los análisis de regresión múltiple indicaron que el contenido de agua y materia orgánica del suelo fueron los principales factores que regulaban los flujos de CH₄ en los manglares de *Kandelia*, mientras que ninguno de los parámetros del suelo evaluados tuvo una influencia significativa en los flujos de CH₄ en los manglares de *Avicennia*.

Para demostrar más a detalles resultados que demuestren la presencia de los GEI en los mangles se han realizado estudios mediante la utilización de cámara de gases. Por ejemplo, (Giani et al., 1996) emplearon cámaras estáticas para medir las emisiones de CH₄. Los resultados mostraron que las concentraciones de metano fueron predominantemente inferiores a 2 μM , con tasas de producción de metano fluctuando entre 1 y 23 nmol ml⁻¹ d⁻¹. Sin embargo, no se detectó emisión de metano, lo cual sugiere que la producción de metano está equilibrada por procesos de oxidación de metano dentro del suelo manglar.

Dentro de los estudios realizados sobre emisiones de gases de metano CH₄ en arboles son pocos los realizados, sin embargo. En estudios más recientes (van

Haren et al., 2021b) Utilizaron una cámara de flujo de gas para investigar las emisiones de CH₄ en los troncos de árboles. Los resultados mostraron que las palmas dominantes, específicamente la palma *M. flexuosa*, emitieron CH₄ a tasas considerablemente más altas que las especies de madera dura dominantes. Las emisiones de CH₄ en los troncos de *M. flexuosa* alcanzaron hasta 84 mg^{-C} m⁻² h⁻¹ a una altura de 0.23 m del suelo, lo cual contrasta significativamente con las tasas más altas previamente reportadas para emisiones de troncos de árboles. Finalmente, en una turbera boscosa tropical en el sudeste asiático (Pangala et al., 2013) Llevo a cabo la cuantificación de las emisiones de CH₄ in situ de los tallos de los árboles, las superficies de las turberas (huecos y montículos con estanques) y los neumatóforos aireadores de raíces. Se encontró que los tallos de los árboles emitieron significativamente más metano que las superficies de turba, representando entre el 62% y el 87% del flujo total de metano del ecosistema. La intensidad del flujo de los tallos de los árboles fue influenciada por el diámetro del tallo, la densidad específica de la madera y la cantidad de metano disuelto en el agua de los poros.

2.5 Dióxido de Carbono (CO₂).

El dióxido de CO₂ se genera en una variedad de ambientes, tanto aeróbicos como anóxicos, según investigaciones como las de (Goldenfum et al., 2010). Este gas desempeña un papel central en ciclos biogeoquímicos donde procesos como la fotosíntesis, la respiración biológica y la descomposición son

fundamentales. Naturalmente, el CO₂ se produce por la respiración de organismos y la descomposición de materia orgánica, y las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y cambios en el uso del suelo, contribuyen significativamente a su emisión (Cole, 2013). Paralelamente, el carbono se acumula en el suelo a través de la deposición de material vegetal, formando depósitos orgánicos donde raíces y plantas muertas se entierran y compactan, constituyendo reservorios subterráneos de carbono (Hannah, 2015; Goldenfum et al., 2010). Según (Schuur et al., 2013) los árboles liberan CO₂ continuamente mediante la respiración celular en sus tejidos, y la actividad microbiana en la xilema y la corteza también contribuye significativamente a la producción de CO₂, especialmente bajo condiciones óptimas de humedad y temperatura que favorecen la descomposición de materia orgánica en los tejidos vegetales. Estos procesos son esenciales para entender el balance de carbono en los ecosistemas forestales y su impacto en el ciclo global del carbono.

2.6 Metano (CH₄).

El CH₄ se origina tanto por procesos naturales como antropogénicos en el suelo. Naturalmente, se produce en ambientes anaeróbicos debido a la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno, como en sedimentos de lagos, pantanos y en los intestinos de animales herbívoros (IPPC, 2021), posee una capacidad de retención de calor entre 28 y 36 veces mayor que el CO₂, lo que lo convierte en uno de los gases de efecto invernadero

más significativos (Yoro et al. 2020). Aunque su vida atmosférica es relativamente corta comparada con la del CO₂, las emisiones de metano contribuyen significativamente a la formación de ozono troposférico, un contaminante del aire perjudicial para la salud humana (IPPC, 2021). Además, el metano puede generarse en el tronco de los árboles mediante procesos de fermentación anaeróbica en las cavidades de la xilema o por la actividad de microorganismos en el tejido leñoso, (Covey et al., 2012). El transporte de metano a través de los árboles en manglares es crucial para los ciclos biogeoquímicos y la dinámica del carbono en estos ecosistemas costeros. Estudios como el de (Krauss et al., 2014), destacan que los árboles de manglar pueden actuar como fuentes significativas de metano atmosférico, facilitando su difusión desde el suelo hacia la atmósfera a través de raíces y troncos. Factores como la morfología de las raíces y la hidrodinámica del suelo influyen en este proceso, resaltando la importancia de comprender estos mecanismos para evaluar el impacto de los manglares en el ciclo global del carbono y en la regulación climática regional (Krauss et al., 2014; Donato et al., 2011).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Métodos.

3.1.1 Área de Estudio.

La Bahía de Parita, ubicada en el Pacífico central de Panamá, entre la latitud 8°18'40" N y longitud 80° 13'37" W; a la latitud 7°57'18" N y longitud 8°21'49" W. Abarca aproximadamente 46,297.32 ha. de bosque de mangles que se extienden desde el sur de Antón en la Provincia de Coclé hasta el sureste en Herrera (Fig.1)(López O. et al., 2023).

Esta área es reconocida por sus actividades agrícolas e industriales, así como por sus valores biológicos y culturales, incluyendo la presencia de aves migratorias. Dentro de la bahía se encuentran varias áreas protegidas como el Parque Nacional Sarigua, el Peñón de Honda, y la Reserva de Vida Silvestre Cenegón del Mangle, donde predominan especies de mangles como *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Conocarpus erectus* y *Pelliciera rhizophorae* (ANAMA-ARAP, 2013).

Para este estudio, se seleccionaron tres sitios específicos dentro de la Bahía de Parita, cada uno caracterizado por ser accesible y presencia de especies. El primer sitio Parque Nacional Sarigua, ubicado en el Distrito de Parita en Herrera, exhibe una vegetación dominada por especies como *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, entre otras, con suelos que varían entre arenoso y arcilloso debido a la presencia de las especies de mangles. Los otros dos sitios de estudio, Playa Los Azules (Antón I) y Antón II,

Sitios de Muestreos



Figura 2. Parque Nacional Sarigua, Herrera. Especie de mangle, *Avicennia germinans*.



Figura 3. Parque Nacional Sarigua, Herrera. Especie de mangle, *Rhizophora mangle*.



Figura 5. Los Azules (Antón I), Coclé. Especie, *Avicennia germinans*



Figura 4. Los Azules (Antón I), Coclé. Especie de mangle, *Rhizophora racemosa*.



Figura 6. Antón II, Coclé. Especie de mangle, *Avicennia bicolor*.

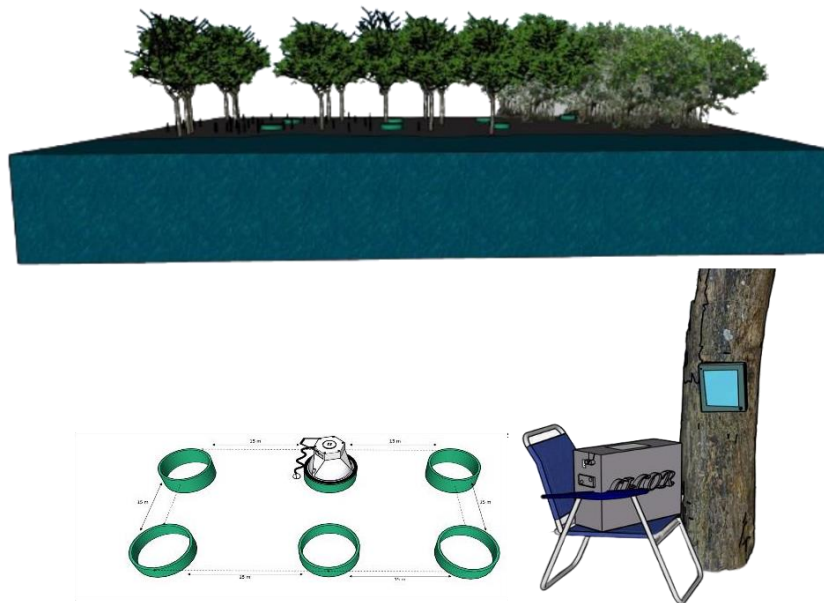


Figura 7 Diseño experimental utilizado para medir el flujo de gases de CO₂ y CH₄ en suelos y árboles de manglares.

3.1.2 Diseño experimental.

- **Flujos de gases en Suelos:** Dos tipos de vegetaciones por tres sitios por tres collares por (3) tres triplicados (5) cinco días = (90) noventa flujos CO₂; 90 flujos CH₄.
- **Flujos de gases en Árboles:** Dos tipos de vegetaciones por tres sitios por dos árboles por (3) tres alturas por tres triplicados (5) cinco días = (540) quinientos cuarenta flujos CO₂; 540 flujos CH₄.

3.2 Trabajo en Campo

3.2.2 Levantamiento de parcelas.

Se emplearon unidades de muestreo anidadas según lo propuesto por (Kauffman et al., 2013). para el levantamiento de parcelas en manglares. Cada transecto se extendiendo 150 metros desde el borde del agua hacia el interior del manglar, con seis parcelas circulares de siete metros de radio colocadas cada 25 metros a lo largo del transecto. La primera parcela se estableció a 15 metros desde la orilla. En el centro de cada parcela principal se ubicó una subparcela de cinco metros de radio para medir árboles con diámetro menor a cinco centímetros y su altura, marcándolos con secuencias numéricas identificativas. Para evaluar la madera caída, se instalaron cuatro planos de intersección de dos metros de altura y 12 metros de largo, orientados a 45 grados respecto a la dirección principal del transecto y partiendo desde el centro de la parcela. Se calculo la biomasa fresca total, incluyendo hojas y neumatóforos, dentro de este cuadrante como medida de biomasa (Fourqurean et al., 2019).

3.3. Método utilizado para las mediciones de flujo de gases.

3.3.1. Medición de flujo de gases CO₂ y CH₄ en suelo.

Se utilizó una Cámara estática para la toma de datos, la cual tiene un volumen de 4244.1 cm³ y un diámetro de 20 cm. Esta cámara se colocó sobre un collar en el suelo, dicha cámara se la se cierra herméticamente para medir la tasa de cambio en las concentraciones de gases a lo largo del tiempo, según lo descrito por (Megonigal et al., 2002). La cámara estática está equipada con una sonda de temperatura y humedad del suelo HydraProbe de Stevens, un termistor de temperatura y GPS integrado para registrar las mediciones de flujo de gases y datos auxiliares simultáneamente. Los collares PVC se instalaron linealmente a 15 m de distancia cada tres collares dentro de las parcelas, permitiendo la medición precisa de CO₂ y CH₄. Los datos se capturan en tiempo real a través de un servidor web con interfaz gráfica de usuario (Wi-fi), facilitando cálculos automáticos y observación continua de las mediciones. (LI-COR Biosciences, 2019).

3.3.2. Medición de flujos de gases CO₂ y CH₄ en árboles.

Se seleccionaron dos árboles de cada especie, con un fuste robusto. Se midió el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) a 1.30 m de altura en *Avicennia germinans* y a 30 cm por encima de la última raíz aérea en *Rhizophora mangle* (Schaeffer-Novelli et al., 2000). Se utilizó una Cámara diseñada manualmente, de dimensiones 45 cm de largo y 27.5 cm de ancho, para medir las emisiones

de CO₂ y CH₄ en los árboles de mangle. La cámara se fijó al árbol utilizando cintas con tensor de triquete y se colocó un sensor de temperatura sobre la misma. Se realizaron mediciones en las siguientes alturas: 50 cm, 1.30 m, 1.50 m, y 1.80 m, aunque estas medidas pueden variar según el tamaño del árbol, especialmente en las especies de *Rhizophora*. Se utilizó una mini bomba para extraer el gas natural dentro de la cámara (40 bombeadas). Después de extraer el gas, se conectó rápidamente las mangueras de silicona transparente en cada abertura de la cámara para permitir el flujo de gases de entrada y salida. Los datos de flujo de gases se visualizaron en un dispositivo móvil configurado para mostrar gráficas en tiempo real. Cada medición se repitió tres veces para obtener datos precisos de CO₂ y CH₄ por punto de muestreo.

3.4. Software para descargar los datos.

3.4.1. Software SoilFluxPro

Una vez completadas las mediciones de flujos en el campo, los datos se descargaron para su análisis utilizando el software SoilFluxPro. Este programa está diseñado específicamente para el análisis avanzado de datos de flujos del suelo, permitiendo recalcular flujos, ajustar parámetros, realizar análisis estadísticos, generar gráficos, corregir diluciones y visualizar datos utilizando Google Earth (SoilFluxPro,2023). SoilFluxPro proporciona valores de flujo derivados de ajustes lineales o exponenciales de los datos recopilados. El software facilita directamente los parámetros de estos ajustes y los valores

finales de los flujos. Los datos se importaron y sincronizaron con SoilFluxPro para realizar los cálculos. Para ello se utilizó la ecuación de los gases ideales $PV=nRT$, donde P es la presión, V es el volumen de la cámara de gases, T es la temperatura en grados Kelvin, y R es la constante de los gases ($R = 0.0820 \text{ Latm /Kmol}$). Esta ecuación se utiliza para determinar el número de moles de gas presente en la cámara, lo cual es fundamental para los cálculos estequiométricos en reacciones gaseosas. Porque los cálculos estequiométricos implican relaciones molares.

Además, se emplea un cromatógrafo de gases para analizar las concentraciones de CO_2 y CH_4 en las muestras de gases recogidas. Basándose en la superficie de la cámara y en el cambio de concentración de estos gases, se calculan los flujos de CH_4 y CO_2 hacia la atmósfera en unidades de ($\text{mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Este cálculo se realizó utilizando la pendiente de la regresión lineal de los datos de tiempo contra concentración, proporcionando así una medida cuantitativa del flujo de gases desde el suelo hacia la atmósfera.

4. RESULTADO Y DISCUSIÓN

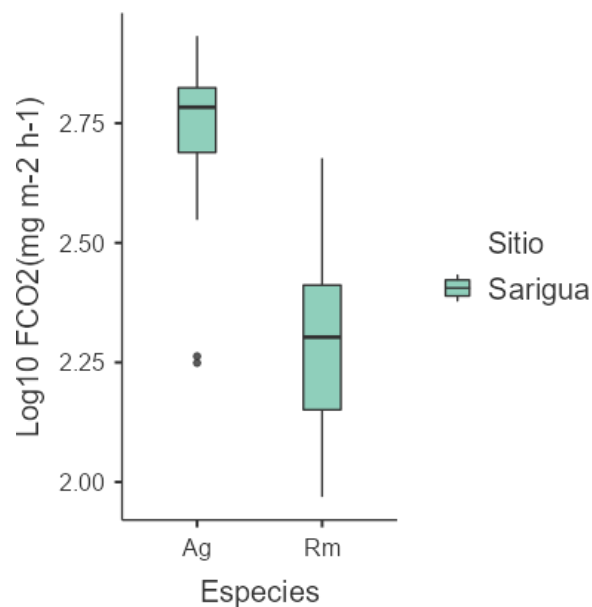
4.1 Análisis Estadístico

Se crearon bases de datos en Excel (Office 365) para gestionar y analizar datos de emisiones de CH₄ y CO₂ en los sitios, suelos y árboles de manglares. Utilizando el software Jamovi, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos, revelando que no seguían una distribución normal ($p < 0.01$), incluso después de una transformación logarítmica. Las relaciones entre las emisiones de CO₂ y CH₄ fueron analizadas mediante la prueba no paramétrica U de Mann Whitney, la cual se utiliza para comparar dos muestras independientes y determinar si hay diferencias en la magnitud de una variable tanto para Suelos y Árboles, Se complementó este análisis con la prueba de Tukey ($P < 0.05$) para identificar diferencias significativas entre grupos. Los gráficos se visualizaron en "BoxPlot" utilizando el programa Jamovi, facilitando la interpretación de las variaciones en las emisiones de gases de efecto invernadero en los ecosistemas de manglares estudiados.

4.2 Resultados

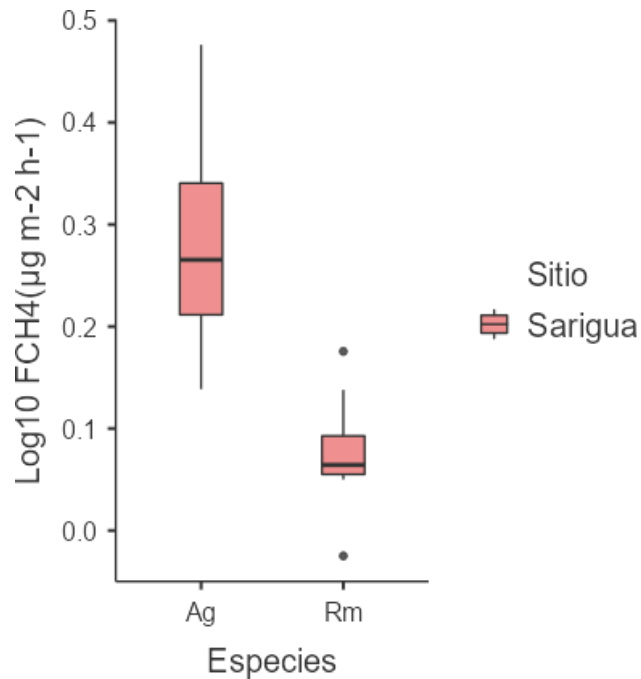
Evaluación de las Emisiones de CO₂ y CH₄ en Suelos de Manglares en Distintos Sitios

Gráfico 1. Comparación de Emisiones de CO₂ entre *Avicennia germinans* (Ag) y *Rhizophora mangle* (Rm) en el sitio de Sarigua.



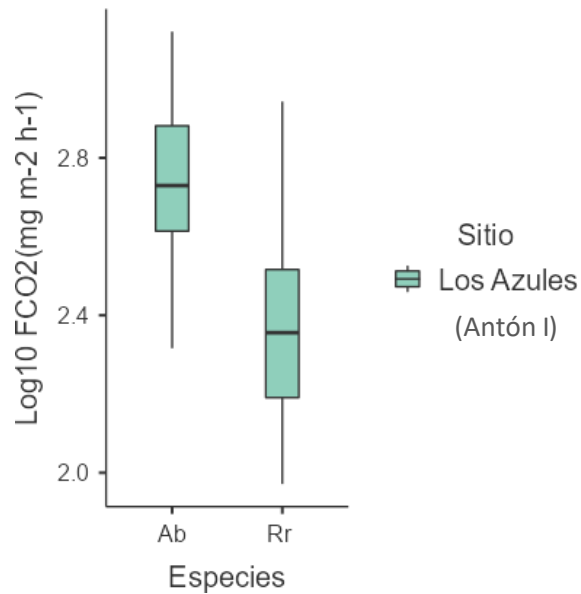
Se puede observar que la emisión de CO₂ expresada como log₁₀ de mg CO₂ m⁻² h⁻¹ en dos especies de manglares, en el sitio de Sarigua. Indican que la emisión promedio de CO₂ es mayor en *Avicennia germinans* 2,75 mg CO₂ m⁻² h⁻¹ en comparación con *Rhizophora mangle* aprox. 2,30 mg CO₂ m⁻² h⁻¹, con una mediana más elevada y una menor dispersión de los datos.

Gráfico 2. Comparación de Emisiones de CH₄ entre *Avicennia germinans* (Ag) y *Rhizophora mangle* (Rm) en el Sitio de Sarigua.



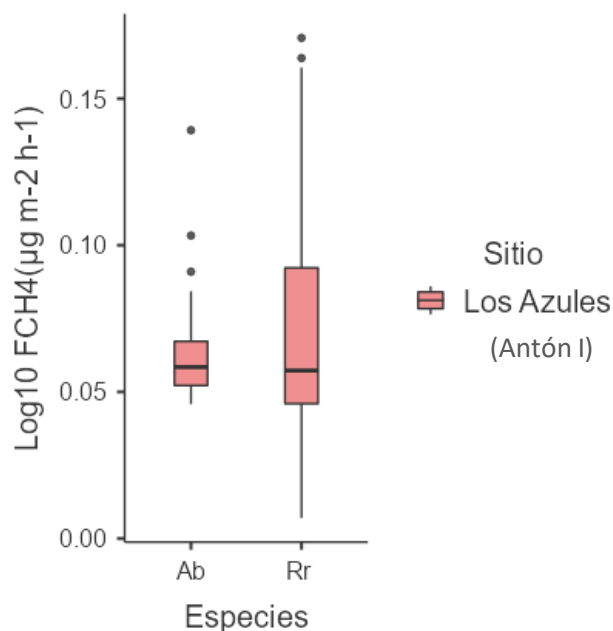
Las emisiones de CH₄ expresada como log10 de µg CH₄ m⁻²h⁻¹ en dos especies de manglares, *Avicennia germinans* (Ag) y *Rhizophora mangle* (Rm), en el sitio de Sarigua. Se observa que las emisiones son notablemente mayores en *Avicennia germinans* aprox. 0,270 µg CH₄ m⁻²h⁻¹ en comparación con *Rhizophora mangle*, con una mediana significativamente más alta y una mayor dispersión de los valores. Por otro lado, *Rhizophora mangle* presenta emisiones más bajas aprox. 0,074 µg CH₄ m⁻² h⁻¹ y con menor variabilidad.

Gráfico 3. Comparación de Emisiones de CO₂ entre *Avicennia bicolor* (Ab) y *Rhizophora racemosa* (Rr) en el Sitio de Antón I.



Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), entre las especies *Avicennia bicolor* (Ab) y *Rhizophora racemosa* (Rr) en el sitio Los Azules (Antón I). Los resultados muestran que *Avicennia bicolor* tiene emisiones promedio más altas, con una mediana mayor y una menor dispersión en comparación con *Rhizophora racemosa*. Por otro lado, *Rhizophora racemosa* exhibe una mayor variabilidad en las emisiones, con valores que se extienden hacia niveles más bajos.

Gráfico 4. Comparación de Emisiones de CH₄ entre *Avicennia bicolor* (Ab) y *Rhizophora racemosa* (Rr) en el Sitio de Antón I.

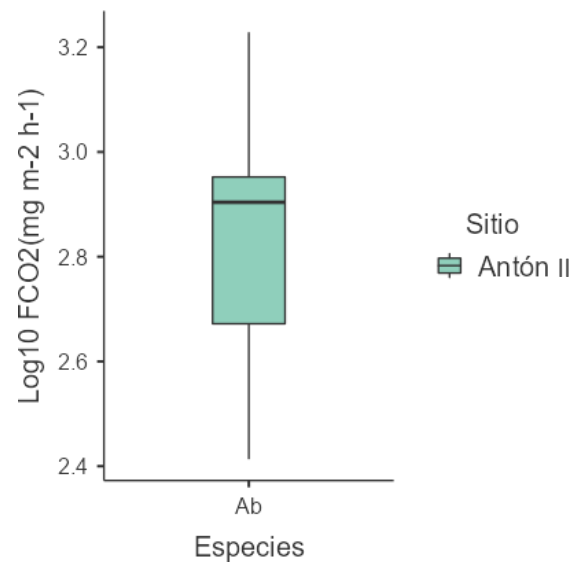


El gráfico muestra los valores para dos especies distintas *Avicennia bicolor* (Ab) y *Rhizophora racemosa* (Rr) en un sitio denominado Los Azules (Antón I). A partir de las observaciones podemos obtener que *Avicennia bicolor* presentan una distribución concentrada alrededor de valores más bajos, con una media que parece estar cercana a los 0,060 log₁₀ µg m⁻² h⁻¹. Hay algunos valores atípicos más altos, pero en general, la dispersión es menor en comparación con *Rhizophora racemosa*. En *Rhizophora racemosa* se observa una mayor variabilidad en los datos, con un rango más amplio aprox. 0,072 log₁₀ µg m⁻² h⁻¹.

¹ La media parece ser más alta que la de *Avicennia bicolor*, probablemente

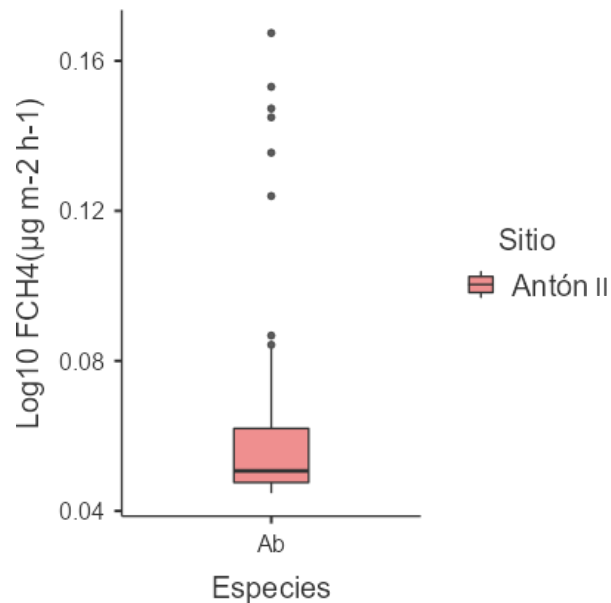
acercándose. También hay varios valores atípicos que alcanzan valores más altos.

Gráfico 5. Comparación de Emisiones de CO₂ en *Avicennia bicolor* en el Sitio Antón II.



En la gráfica presentan las emisiones de CO₂ en el sitio Antón II. Los valores oscilan entre aprox. 2,83 mg m⁻²h⁻¹, mostrando una distribución relativamente homogénea. La variabilidad observada es moderada, reflejada en el rango Inter cuartil, mientras que los valores extremos son mínimos, indicando un patrón consistente en las emisiones de CO₂ para esta especie en el sitio estudiado. Esto sugiere que las condiciones en Antón permiten mantener emisiones estables dentro de este rango.

Gráfico 6. Comparación de Emisiones de CH₄ de la *Avicennia bicolor* en el Sitio Antón II.



La gráfica muestra las emisiones de CH₄ en una escala logarítmica para la especie *Avicennia bicolor* (Ab) en el sitio Antón II. Los valores se concentran mayoritariamente entre aprox. 0,061CH₄ µg m⁻² h⁻¹. Sin embargo, se observan múltiples valores atípicos que superan el rango Inter cuartil, lo que indica la presencia de eventos puntuales con mayores emisiones. Esto sugiere que, aunque las emisiones de metano son generalmente bajas para esta especie en el sitio, pueden ocurrir fluctuaciones significativas bajo ciertas condiciones.

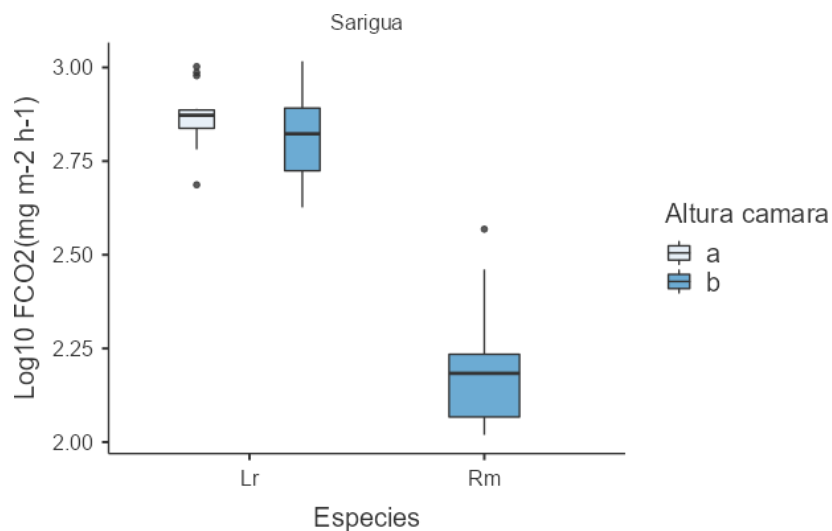
Tabla 1. Emisiones de CO₂ y CH₄ en suelo de mangles según especie y sitio.

Factor	Sitio	Emisiones	Especies	Media
Suelo	Sarigua		<i>Avicennia germinans</i>	2,75
		Flux (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	<i>Rhizophora mangle</i>	2,30
			<i>Avicennia germinans</i>	0,2708
		Flux (µg CH ₄ m ⁻² h ⁻¹)	<i>Rhizophora mangle</i>	0,0741
Suelo	Los Azules (Antón I)		<i>Avicennia Bicolor</i>	2,75
		Flux (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	<i>Rhizophora racemosa</i>	2,37
			<i>Avicennia Bicolor</i>	0,0609
		Flux (µg CH ₄ m ⁻² h ⁻¹)	<i>Rhizophora racemosa</i>	0,0723
Suelo	Antón II		<i>Avicennia bicolor</i>	2,83
		Flux (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)		
		Flux (µg CH ₄ m ⁻² h ⁻¹)	<i>Avicennia bicolor</i>	0,0613

La tabla muestra las emisiones promedio de CO₂ (mg CO₂ m⁻² h⁻¹) y CH₄ (µg CH₄ m⁻² h⁻¹) en suelos de manglares en tres sitios: Sarigua, Los Azules (Antón I) y Antón II. Se relacionan con especies como *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle*, *Avicennia bicolor*, y *Rhizophora racemosa*. Los valores de CO₂ son mayores que los de CH₄, y varían según el sitio y la especie, destacando *Avicennia bicolor* en Los Azules (Antón I) con el mayor flujo de CO₂.

Emisiones de CO₂ y CH₄ en Árboles de Mangles según la altura de la cámara, en diferentes sitios de la Bahía de Parita.

Gráfico 7. Comparación de emisiones de CO₂ entre *Laguncularia racemosa* (Lr) y *Rhizophora mangles* (Rm), según la altura de la cámara en los árboles de mangles en el sitio de Sarigua.

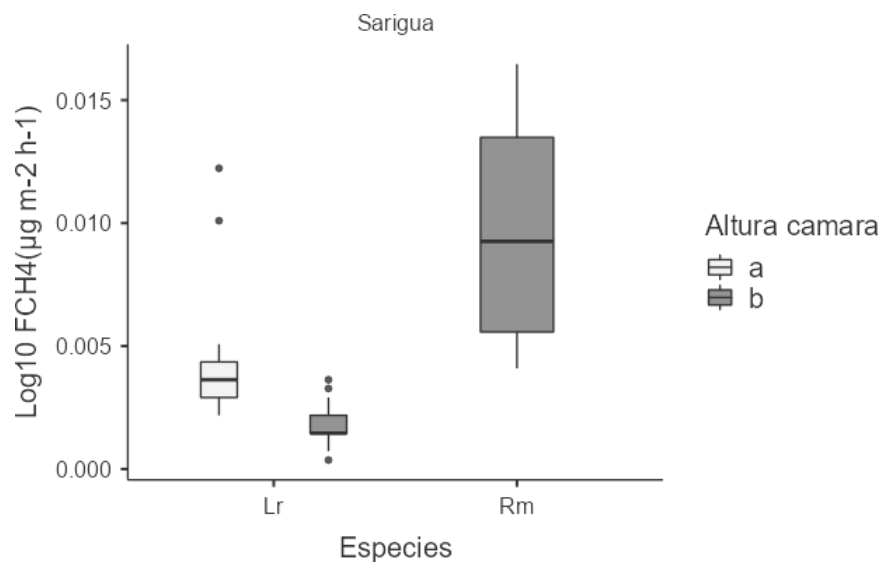


Alturas de la Cámara: Altura a: 50cm-80 cm, Altura b:1.30m -2.70 m

El gráfico muestra los flujos de CO₂ para las especies *Laguncularia racemosa* (Lr) y *Rhizophora mangles* (Rm) en Sarigua, considerando dos alturas de cámara (a) Inferior a un metro y (b) Superior a un metro. *Laguncularia racemosa* presenta flujos en la (a) con aprox. 2,78 CO₂ mg m⁻² h⁻¹ sin embargo no es comparable con *Rhizophora mangles* ya que esta presenta mediciones superiores a un metro debido al tamaño de sus raíces. Por otra parte, *Laguncularia racemosa* presenta flujos a alturas superiores a un metro, con valores más altos y consistentes aprox. 2,76 CO₂ mg m⁻² h⁻¹, mientras que

Rhizophora mangles tiene flujos más bajos de aprox. $2,23 \text{ CO}_2 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Las alturas de cámara no parecen influir significativamente en los resultados.

Gráfico 8. Comparación de emisiones de CH_4 entre *Laguncularia racemosa* (Lr) y *Rhizophora mangles* (Rm), según la altura de la cámara en los árboles de mangles en el sitio de Sarigua.

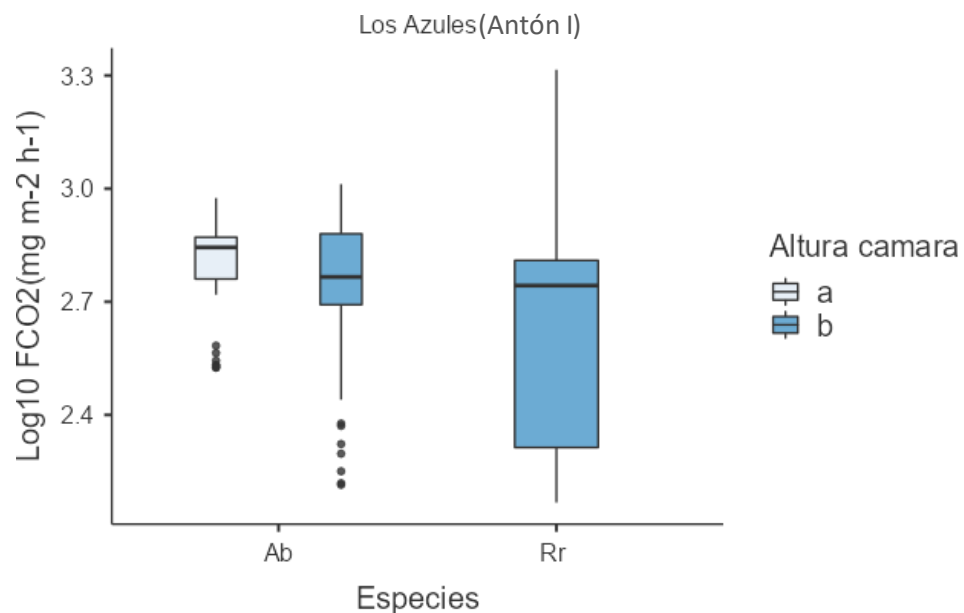


Alturas de la Cámara: Altura a: 50cm -80cm, Altura b:1.30m-2.70 m.

En este gráfico, se observa que las emisiones de CH_4 , son notablemente más altos en la especie *Rhizophora mangles* (Rm) en comparación con *Laguncularia racemosa* (Lr), mostrando una mayor variabilidad en los valores $0,015 \text{ CH}_4 \mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. La especie *Laguncularia racemosa* presenta flujos a una altura inferior a un metro, no es comparable con *Rhizophora mangles* ya que esta presenta mediciones superiores a un metro debido al tamaño de sus raíces, sin embargo,

a altura superiores a un metro *Laguncularia racemosa* presenta flujos más bajos y homogéneos $0,003 \text{ CH}_4 \mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, a altura superior a un metro. Esto sugiere que la especie *Rhizophora mangle* contribuye más significativamente a la emisión de CH_4 en este ecosistema a altura superior a un metro, aprox. $0,010 \text{ CH}_4 \mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Gráfico 9. Comparación de emisiones de CO_2 entre *Avicennia bicolor* (Ab) y *Rhizophora racemosa* (Rr), según la altura de la cámara en los árboles de mangles en el sitio de Los Azules (Antón I).

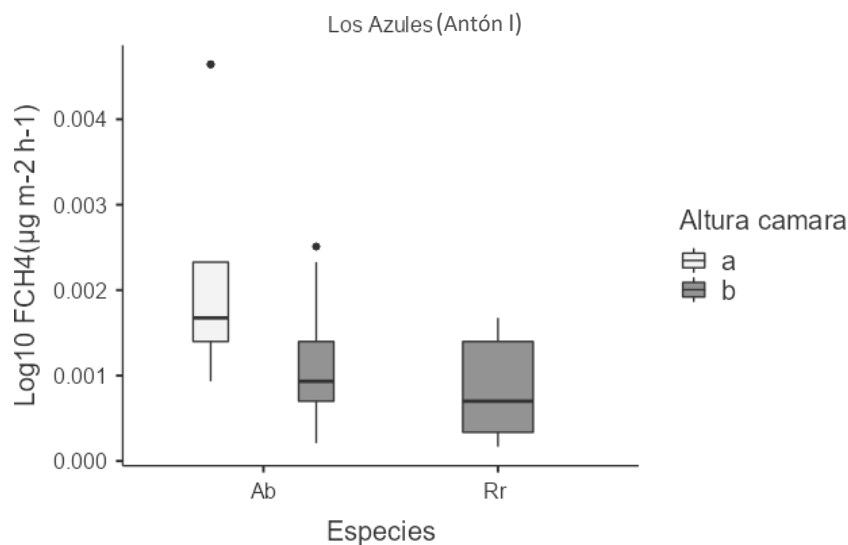


Alturas de la Cámara: Altura a: 50cm -80cm, Altura b:1.30m-2.70 m

La emisión de Dióxido de carbono (CO_2) medida en una escala logarítmica para dos especies, *Avicennia bicolor* (Ab) y *Rhizophora racemosa* (Rr), en el sitio Los Azules (Antón I). Las barras muestran la comparación entre dos alturas de cámara (a y b). (a) Inferior a un metro y (b) Superior a un metro, La especie

Avicennia bicolor presenta flujos a una altura inferior a un metro aprox. 2,80 CO₂ mg m⁻² h⁻¹, no es comparable con *Rhizophora racemosa* ya que esta presenta mediciones superiores a un metro debido al tamaño de sus raíces, sin embargo, a altura superiores a un metro. Las emisiones son consistentemente más altas para la especie *Avicennia bicolor* aprox. 2,75 CO₂ mg m⁻² h⁻¹, con menor variabilidad, mientras que *Rhizophora racemosa* presenta una mayor dispersión en las emisiones, reflejada en los rangos Inter cuartiles más amplios, pero con flujos más bajo de aprox. 2,62 CO₂ mg m⁻² h⁻¹. La altura de la cámara parece no tener un impacto significativo en los valores de *Avicennia bicolor*, pero en *Rhizophora racemosa* podría influir en la variabilidad registrada.

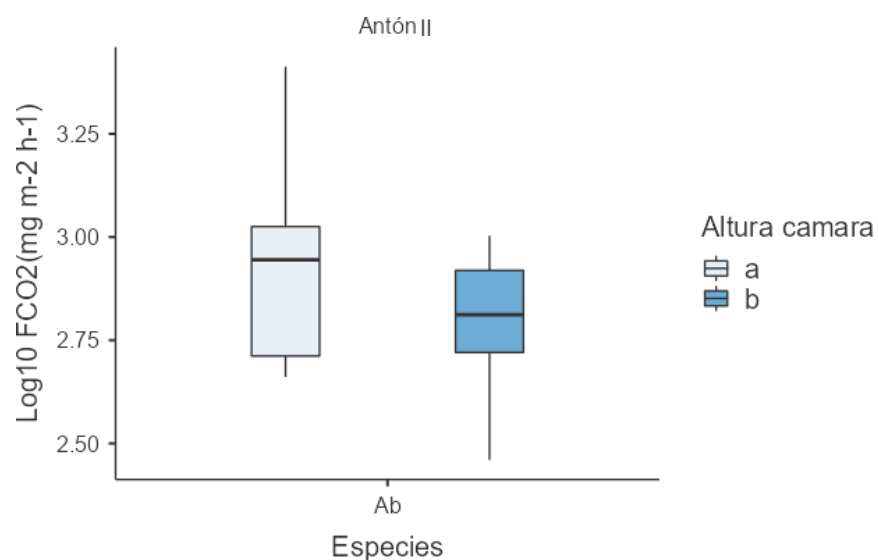
Gráfico 10. Comparación de emisiones de CH₄ entre *Avicennia bicolor* (Ab) y *Rhizophora racemosa* (Rr), según la altura de la cámara en los árboles de mangles en el sitio de Los Azules (Antón I).



Alturas de la Cámara: Altura a: 50cm-80cm, Altura b:1.30-2.70 m.

La emisión de metano (CH_4) en una escala logarítmica para las mismas especies, *Avicennia bicolor* (Ab), y *Rhizophora racemosa* (Rr), y alturas de cámara (a y b), (a) Inferior a un metro y (b) Superior a un metro. Las emisiones de *Avicennia bicolor* son notablemente más altas aprox. $0,002 \text{ CH}_4 \mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en comparación con *Rhizophora racemosa*, aunque con una variabilidad moderada. Para *Rhizophora racemosa*, las emisiones son menores $8,72 \text{ e-}4 \text{ CH}_4 \mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y muestran una mayor dispersión en los valores, especialmente en la altura mayores a un metro. Esto sugiere que las emisiones de metano están más influenciadas por las especies y, posiblemente, por las condiciones asociadas con la altura de la cámara.

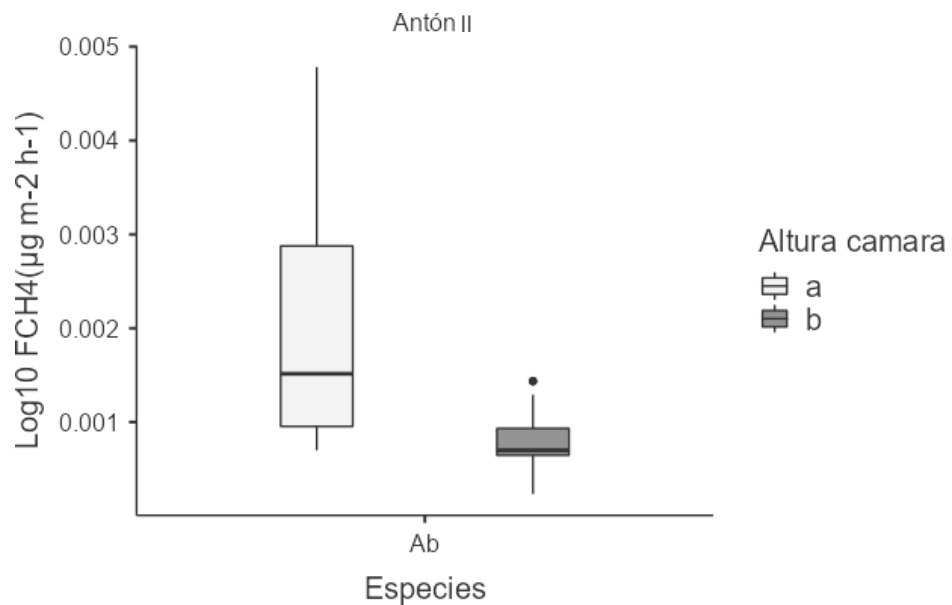
Gráfico 11. Comparación de emisiones de CO_2 entre *Avicennia bicolor* (Ab), según la altura de la cámara en los árboles de mangles en el sitio de Antón II.



Alturas de la Cámara: Altura a: 50cm-80cm, Altura b:1.30m-2.70 m

Se muestran las emisiones de CO₂ entre la especie *Avicennia bicolor* (Ab). Ah alturas (a) Inferior a un metro y (b) Superior a un metro. Se observa que los valores son más altos y variables en la altura a aprox. 2,92 CO₂ mg m⁻² h⁻¹, mientras que la altura b registra flujos más bajos aprox. 2,79 CO₂ mg m⁻² h⁻¹. Este resultado destaca cómo la altura de la cámara afecta la medición de CO₂ en este sitio.

Gráfico 12. Comparación de emisiones de CH₄ en *Avicennia bicolor* (Ab), según la altura de la cámara en los árboles de mangles en el sitio de Antón II.



Alturas de la Cámara: Altura a: 50cm-80cm, Altura b:1.30-2.70 m

Las emisiones de CH₄ para la especie *Avicennia bicolor* son más altos en la altura a aprox. 0,001 CH₄ µg m⁻² h⁻¹ en comparación con la altura b aprox. 7,73 e-4 CH₄ µg m⁻² h⁻¹. La variabilidad también es mayor en la cámara a, indicando una influencia de la altura de la cámara en las emisiones de CH₄ en esta región.

Tabla 2. Emisiones de CO₂ y CH₄ en Árboles de los manglares según especie y sitio.

Factor	Sitio	Emisiones	Especies	Altura de la Cámara	Media
Árbol	Sarigua	Flux (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	<i>Laguncularia racemosa</i>	a	2,78
				b	2,76
		<i>Rhizophora mangle</i>	a	N/A	
			b	2,23	
	Los Azules (Antón I)	Flux (µg CH ₄ m ⁻² h ⁻¹)	<i>Laguncularia racemosa</i>	a	0,015
				b	0,003
		<i>Rhizophora mangle</i>	a	N/A	
			b	0,010	
Árbol	Los Azules (Antón I)	Flux (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	<i>Avicennia Bicolor</i>	a	2,92
				b	2,79
		<i>Rhizophora racemosa</i>	a	N/A	
			b	2,62	
	Antón II	Flux (µg CH ₄ m ⁻² h ⁻¹)	<i>Avicennia Bicolor</i>	a	0,002
				b	0,001
		<i>Rhizophora racemosa</i>	a	N/A	
			b	8,72e-4	
Árbol	Antón II	Flux (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	<i>Avicennia bicolor</i>	a	2,92
				b	2,79
	Flux (µg CH ₄ m ⁻² h ⁻¹)	<i>Avicennia bicolor</i>	a	0,001	
			b	7,73e-4	

Alturas de la Cámara: Altura a: 50cm-80cm, Altura b:1.30-2.70 m

La tabla muestra las emisiones promedio de CO₂ mg CO₂ m⁻² h⁻¹ y CH₄ µg CH₄ m⁻² h⁻¹ asociadas a diferentes especies de manglares *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Avicennia bicolor* en tres sitios: Sarigua, Los Azules (Antón

l) y Antón II. Las emisiones se clasifican según la altura de la cámara (a y b), reflejando diferencias en la medición. Las emisiones de CO₂ son notablemente mayores que los de CH₄, destacando *Avicennia bicolor* en Antón II con valores más altos de CO₂, mientras que los valores de CH₄ son consistentemente bajos en todas las especies y sitios.

4.3 Discusión

Emisiones de CO₂ y CH₄ entre *Avicennia germinans* (Ag) y *Rhizophora mangle* (Rm), de mangles en el sitio de Sarigua.

En Sarigua las emisiones de CO₂, *Avicennia germinans* (Ag) mostró emisiones promedio más altas y consistentes, con menor dispersión, lo que podría estar relacionado con la respiración microbiana, tal como lo indica (Gómez et al., 2023) en su estudio donde demostró que los manglares presentan tasas notables de respiración del suelo, lo que resulta en emisiones de CO₂ hacia la atmósfera. Estas tasas pueden fluctuar significativamente debido a factores como la temperatura, la humedad del suelo y la disponibilidad de nutrientes, los cuales afectan directamente la actividad microbiana. Además, (Troxler et al., 2015) demostró que el flujo de CO₂ variaba según el tipo de superficie, siendo los neumatóforos de *Avicennia germinans* los principales responsables de las emisiones. En áreas con salinidad estuarina constante, un incremento en la salinidad redujo la liberación de CO₂ hacia la atmósfera. Por otro lado, *Rhizophora mangle* (Rm) presentó menores emisiones de CO₂ y una mayor estabilidad, lo que sugiere un menor impacto bajo estas condiciones.

En cuanto al CH₄, las emisiones fueron significativamente más altas en *Avicennia germinans*, con una mayor variabilidad, podría deberse a las condiciones más anóxicas y ricas en materia orgánica en sus sustratos, posiblemente exacerbadas por la camaronera como lo sugiere. (Zheng et al.,

2018), quienes demostraron que los manglares en estado intacto emiten menos CH₄ en comparación con aquellos alterados por actividades humanas, que incrementan notablemente las emisiones de este gas. Por lo contrario, *Rhizophora mangle* mostró emisiones más bajas y constantes, reflejando un menor impacto en la producción de metano, probablemente ligado a diferencias en sus adaptaciones fisiológicas y ecológicas. En general, la interacción entre ambas especies en su entorno refleja una complejidad ecológica que contribuye al equilibrio del flujo de gases. Esto resalta la importancia de conservar ambas especies para mantener la funcionalidad y los beneficios ecosistémicos de los manglares en términos de regulación de gases de efecto invernadero.

Emisiones de CO₂ y CH₄ entre *Avicennia bicolor* (Ab) y *Rhizophora racemosa* (Rr), de mangles en el sitio de Los Azules (Antón I).

En el sitio de Los Azules (Antón I), las diferencias en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) entre *Avicennia bicolor* (Ab) y *Rhizophora racemosa* (Rr) revelan patrones importantes. Para el CO₂, *Avicennia bicolor* presentó emisiones promedio más altas y constantes, con menor dispersión en los datos. Esto indica que esta especie tiene un comportamiento más estable en la emisión de CO₂, probablemente debido a su fisiología o su adaptación al entorno local. Por otro lado, *Rhizophora racemosa* mostró una mayor variabilidad en las emisiones de CO₂, con valores que fluctúan hacia niveles más bajos. Esto podría deberse que esta especie responde de manera más

sensible a cambios en factores ambientales, sin embargo, se necesitan más estudios para ratificar esta información.

En cuanto a las emisiones de CH₄, *Avicennia bicolor* emitió metano de forma más uniforme, con valores concentrados alrededor de un promedio bajo, aunque con algunos valores atípicos más altos. Esto sugiere que, si bien la especie emite menos CH₄ en general, bajo ciertas condiciones puede generar picos de emisión. En cambio, *Rhizophora racemosa* presentó una mayor dispersión en sus datos de CH₄, con una media más alta y un rango más amplio, lo que indica que esta especie tiende a contribuir más significativamente al metano, pero de forma variable. Esta variabilidad podría estar influenciada por procesos como la actividad microbiana en sus raíces o la interacción con condiciones anóxicas en el suelo.

En conjunto, los resultados destacan que *Avicennia bicolor* tiene un impacto más constante, especialmente en emisiones de CO₂, mientras que *Rhizophora racemosa* muestra un comportamiento más variable, contribuyendo más al CH₄ en ciertas condiciones. Estas diferencias pueden estar influenciadas por la ecología y fisiología de las especies, así como por las condiciones ambientales del sitio, como la salinidad, la inundación del suelo y la calidad del agua.

Emisiones de CO₂ y CH₄ entre *Avicennia bicolor* (Ab) según la altura de la cámara en los árboles de mangles en el sitio de Antón II.

En el sitio Antón II, las emisiones de CO₂ y CH₄ reflejan procesos ecológicos estrechamente vinculados con las características del lugar y las especies presentes. El flujo de CO₂, consistentemente elevado y con baja dispersión, sugiere que el sitio proporciona condiciones relativamente uniformes que favorecen la respiración del suelo y la descomposición de materia orgánica. Por otro lado, las emisiones de CH₄ son más variables y significativamente menores en magnitud, con valores atípicos ocasionales. Esto indica que la producción de metano, un proceso anaeróbico, está más influenciada por la heterogeneidad del suelo y la fluctuación de condiciones como inundación, salinidad y niveles de oxígeno. Sin embargo, estas condiciones parecen ser menos prevalentes en Antón II, limitando la producción general de CH₄.

Esto subraya la importancia de considerar las características específicas del sitio y las interacciones ecológicas al evaluar el papel de los mangles en el ciclo de gases de efecto invernadero.

Emisiones de CO₂ y CH₄ entre *Laguncularia racemosa* (Lr) y *Rhizophora mangles* (Rm), según la altura de la cámara en los árboles de mangles en el sitio de Sarigua.

En Sarigua, las emisiones de CO₂ y CH₄ varían notablemente entre *Laguncularia racemosa* (Lr) y *Rhizophora mangles* (Rm), reflejando sus roles diferenciados en el ciclo de gases de efecto invernadero. *Laguncularia racemosa* mostró emisiones más altas y estables de CO₂, independientemente de la altura de medición, sugiriendo un metabolismo constante y eficiente. En contraste, *Rhizophora mangles* presentó menores emisiones de CO₂, pero con mayor variabilidad, posiblemente influenciada por condiciones locales y su interacción con el sustrato. Para el CH₄, *Rhizophora mangles* fue el principal emisor, con valores elevados y dispersos, especialmente a mayores alturas, lo que sugiere una mayor actividad metanogénica asociada a sus raíces y zonas anóxicas en el suelo. *Laguncularia racemosa*, por otro lado, mantuvo emisiones bajas y uniformes de CH₄, reflejando un impacto más limitado en este gas.

Estas diferencias están probablemente ligadas a las adaptaciones estructurales y fisiológicas de ambas especies, como la eficiencia de sus raíces en manejar condiciones redox y la disponibilidad de oxígeno en el suelo. *Rhizophora mangles* parece favorecer procesos anaeróbicos que incrementan el CH₄, mientras que *Laguncularia racemosa* contribuye predominantemente al flujo de CO₂. Esto evidencia el papel complementario de ambas especies en el equilibrio del carbono en los manglares de Sarigua.

Emisiones de CO₂ y CH₄ entre *Avicennia bicolor* (Ab) y *Rhizophora racemosa* (Rr), según la altura de la cámara en los árboles de mangles en el sitio de Los Azules (Antón I).

En los Azules (Antón I) La emisión de CO₂ y CH₄ en el sitio evidencia patrones contrastantes entre las especies *Avicennia bicolor* (Ab) y *Rhizophora racemosa* (Rr). En cuanto a las emisiones de CO₂, *Avicennia bicolor* presenta valores consistentemente más altos con menor variabilidad, independientemente de la altura de la cámara, lo que indica una emisión estable para esta especie. Por otro lado, *Rhizophora racemosa* muestra una mayor dispersión, especialmente a alturas superiores a un metro, sugiriendo que factores estructurales como el tamaño de sus raíces podrían influir en la variabilidad de sus emisiones. En el caso del CH₄, las emisiones son significativamente más altas en *Avicennia bicolor*, con una variabilidad moderada. *Rhizophora racemosa*, en contraste, tiene menores emisiones, pero con una mayor dispersión a alturas superiores. Esto apunta a que las emisiones de CH₄ están más influenciadas por las características de las especies y las condiciones ambientales específicas asociadas con las alturas de medición.

En general, *Avicennia bicolor* se destaca como el mayor emisor tanto de CO₂ como de CH₄, pero con patrones más consistentes, mientras que *Rhizophora racemosa* muestra una contribución menor, pero con una mayor sensibilidad a las condiciones de medición, especialmente para las emisiones de CH₄.

Emisiones de CO₂ y CH₄ entre *Avicennia bicolor* (Ab), según la altura de la cámara en los árboles de mangles en el sitio de Antón II.

En Antón II, las emisiones de CO₂ y CH₄ en *Avicennia bicolor* (Ab) presentan variaciones significativas en función de la altura de la cámara utilizada para las mediciones. Para el CO₂, los valores son más altos y variables a alturas inferiores a un metro, mientras que a alturas superiores los flujos son más bajos y consistentes. Esto sugiere que la altura de la cámara puede capturar dinámicas diferenciales de emisión, probablemente asociadas a micro variaciones en el intercambio gaseoso cerca de la superficie.

De manera similar, las emisiones de CH₄ son más altas en la altura inferiores a un metro, acompañados de una mayor variabilidad, mientras que en la cámara b las emisiones son menores y más estables. Estos resultados resaltan la influencia de la altura de la cámara en la medición de emisiones de gases de efecto invernadero, indicando que las condiciones ambientales y la proximidad al suelo pueden jugar un papel importante en las emisiones observadas. Este patrón sugiere que la altura de la medición es un factor clave que debe ser considerado al interpretar las emisiones en ecosistemas de manglare

5 CONCLUSIONES

- Las especies del género *Avicennia* mostraron mayores emisiones de CO₂ en el suelo en comparación con las especies del género *Rhizophora*.
- Las emisiones de CH₄ en suelo presentan diferente comportamiento de emisiones independientemente del sitio y especie.
- Las emisiones de CO₂ tienden a ser mayor a altura inferior a un metro que a alturas superiores a un metro.
- Las emisiones de CH₄ muestran variaciones en las emisiones en ambas alturas.
- Sarigua fue el sitio con mayor emisión tanto de CO₂ y CH₄ en suelo y árboles.
- Los mangles son ecosistemas esenciales para el equilibrio climático.

6 RECOMENDACIONES

- Las especies de manglares, tienen diferentes roles en las emisiones de CO₂ y CH₄. Por lo tanto, es importante priorizar la protección y la promoción de aquellas especies que tienden a presentar una mayor emisión de gases de efecto invernadero.
- Dado que las actividades humanas pueden alterar las condiciones del suelo y aumentar las emisiones de CO₂ y CH₄, se recomienda la adopción de prácticas más sostenibles, como la mejora de la gestión de los suelos y el uso de técnicas de acuicultura que minimicen los impactos negativos sobre los ecosistemas de manglares.
- Estudios a futuro deben incluir factores fisicoquímicos del suelo y parámetros ambientales, dado que estos factores juegan un papel importante en las emisiones tanto de CO₂ y CH₄. Esta información es importante para entender mejor las dinámicas de emisión de gases de efecto invernadero y cómo estas especies responden a cambios en el medio ambiente.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Alongi, D. M. (2008). Mangrove Forests: Resilience, Protection from Tsunamis, And Responses to Global Climate Change. In *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (Vol. 76, Issue 1, Pp. 1–13). <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>
- Alongi, D. M. (2014). Carbon Cycling and Storage in Mangrove Forests. *Annual Review of Marine Science*, 6, 195–219. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>
- Alongi, D. M. (2015). The Impact of Climate Change on Mangrove Forests. In *Current Climate Change Reports* (Vol. 1, Issue 1, Pp. 30–39). Springer. <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0002-x>
- Anama-Arap. (2013). Manglares En Panamá: Importancia, Biodiversidad Y Medidas Para Su Conservación. *Biocenosis*, 33(2), 17–27. <https://doi.org/10.22458/Rb.V33i2.4538>
- Arrhenius, E. C. (1896). Model Of the Greenhouse Effect in Context. In *Royal Swedish Academy of Sciences* (Vol. 26, Issue 1).
- Beers, L. C. Y F. (2020). La Contribución De Los Ecosistemas De Carbono Azul A La Mitigación Del Cambio Climático. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/bn12_blue_carbon_ccmitigation_s.pdf
- Boone Kauffman, J., Heider, C., Norfolk, J., & Payton, F. (2014). Carbon Stocks of Intact Mangroves and Carbon Emissions Arising from Their Conversion in The Dominican Republic. In *Ecological Applications* (Vol. 24, Issue 3).
- Bulmer R., Lundquist Cj., & Schwendenmann L. (2015). Sediment Properties and Co2 Efflux from Intact and Cleared Temperate Mangrove Forests. *Biogeosciences*, 12(20), 6169–6180. <https://doi.org/10.5194/bg-12-6169-2015>
- Cabezas A., Mitsch W., Macdonnell C., Zhang L., Bydarek F., & Lasso A. (2018). Methane Emissions from Mangrove Soils in Hydrologically Disturbed and Reference Mangrove Tidal Creeks in Southwest Florida. *Ecological Engineering*, 114, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.041>

- Castillo, J. A. A., Apan, A. A., Maraseni, T. N., & Salmo, S. G. (2017). Soil Greenhouse Gas Fluxes in Tropical Mangrove Forests and In Land Uses on Deforested Mangrove Lands. *Catena*, 159, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.08.005>
- Castillo, Y. B., Kim, K., & Kim, H. S. (2021). Thirty-Two Years of Mangrove Forest Land Cover Change in Parita Bay, Panama. *Forest Science and Technology*, 17(2), 67–79. <https://doi.org/10.1080/21580103.2021.1922512>
- Chen, G., Chen, B. & Chen, S. (2016). Soil Greenhouse Gas Emissions Reduce the Contribution of Mangrove Plants to The Atmospheric Cooling Effect. *Environmental Research Letters*, 11(12). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/12/124019>
- Cole, J. J. (2013). The Carbon Cycle. In *Fundamentals of Ecosystem Science* (Pp. 109–135). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-091680-4.00006-8>
- Covey, K. R., Wood, S. A., Warren, R. J., Lee, X., & Bradford, M. A. (2012). Elevated Methane Concentrations in Trees of An Upland Forest. *Geophysical Research Letters*, 39(15). <https://doi.org/10.1029/2012gl052361>
- Das, N., & Mandal, S. (2022). Microbial Populations Regulate Greenhouse Gas Emissions in Sundarban Mangrove Ecosystem, India. *Acta Ecologica Sinica*, 42(6), 641–652. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2021.07.011>
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011a). Mangroves Among the Most Carbon-Rich Forests in The Tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), 293–297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011b). Mangroves Among the Most Carbon-Rich Forests in The Tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), 293–297. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>
- Fourqurean J., B., Kauffman., Lovelock C., Megoniga J., Rahman A., Saintilann., Simard M., (2019). *Coordinadores De La Iniciativa Internacional De Carbono Azul Conservación Internacional*. www.lucn.org/es

- Giani, L., Bashan, Y., Holguin, G., & Strangmann, A. (1996). Characteristics And Methanogenesis of The Balandra Lagoon Mangrove Soils, Baja California Sur, Mexico. In *Geoderma* (Vol. 72). Elsevier.
- Goldenfum, J. A. (Joel A., International Hydropower Association., & Unesco/Iha Greenhouse Gas Emissions from Freshwater Reservoirs Research Project. (2010). Ghg Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs: Derived From: The Unesco/Iha Greenhouse Gas Emissions from Freshwater Reservoirs Research Project. International Hydropower Association (Iha).
- Gómez, N., Rodríguez, L., López Serrano, F., & Pinzón, R. (2023). Assessment Of Soil Respiration Process in A Mangrove Swamp of Panama's Bay. *Heliyon*, 9(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18189>
- Herold, M., María Román-Cuesta, R., Mollicone, D., Hirata, Y., Laake, P. Van, Asner, G. P., Souza, C., Skutsch, M., Avitabile, V., & Macdicken, K. (2011). Options For Monitoring and Estimating Historical Carbon Emissions from Forest Degradation in The Context of Redd+. <http://www.cbmjournals.com/content/6/1/13>
- Herrera Silveira, J. A., Camacho Rico, A., Pech, E., Pech, M., Ramírez Ramírez, J., & Teutli Hernández, C. (N.D.). Dinámica Del Carbono (Almacenes Y Flujos) En Manglares De México Carbon Dynamics (Stocks And Fluxes) In Mangroves Of Mexico.
- Herrera Silveira, J. A., Camacho Rico, A., Pech, E., Pech, M., Ramírez Ramírez, J., & Teutli Hernández, C. (2016). Dinámica Del Carbono (Almacenes Y Flujos) En Manglares De México Carbon Dynamics (Stocks And Fluxes) In Mangroves Of Mexico.
- Intergovernmental Panel On Climate Change. (2022). Land–Climate Interactions. In *Climate Change And Land* (Pp. 131–248). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.004>
- Ippc. (2001). *Atmospheric Chemistry And Greenhouse Gases*.
- Ippc. (2021). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis* (P. Z. A. & B. Z. (Eds.) V. Masson-Delmotte, Ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Ippc. (2014). *Informe De Síntesis Ar5: Cambio Climático 2014* (R. Pachauri, Meyer L., Allen M., Barros V., Broome J., Cramer W., Jiang K., Jiménez B., Kattsov V., Lee H., Leprince-Ringuet N., Brinkman S., Mulugetta Y.,

- Minx J., Van Kesteren L., & Van Boxmeer F., Eds.).
[Http://Www.Ipcc.Ch](http://www.ipcc.ch).
- Ippc. (2021). Climate Change 2021 : The Physical Science Basis : Summary For Policymakers : Working Group I Contribution To The Sixth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change (Pirani A., Zhai P., & Masson-Delmotte V., Eds.).
- Jeffrey, L., Reithmaier, G., Sippo, J., Johnston, S., Tait, D., Harada, Y., & Maher, D. T. (2019). Are Methane Emissions From Mangrove Stems A Cryptic Carbon Loss Pathway? Insights From A Catastrophic Forest Mortality. *New Phytologist*, 224(1), 146–154.
[Https://Doi.Org/10.1111/Nph.15995](https://doi.org/10.1111/Nph.15995)
- Kauffman, J., Donato María, D., & Adame, F. (2013). Protocolo Para La Medición, Monitoreo Y Reporte De La Estructura, Biomasa Y Reservas De Carbono De Los Manglares.
- Krauss, K. W., Mckee, K. L., Lovelock, C. E., Cahoon, D. R., Saintilan, N., Reef, R., & Chen, L. (2014). How Mangrove Forests Adjust To Rising Sea Level. In *New Phytologist* (Vol. 202, Issue 1, Pp. 19–34).
[Https://Doi.Org/10.1111/Nph.12605](https://doi.org/10.1111/Nph.12605)
- Ld'croz, K. L. B. (1993). Conservation And Management Of Latin American Mangroves.
- Li-Cor Biosciences. (2019). Using The Smart Chamber Soil Gas Flux Survey Chamber.
[Https://Www.Licor.Com/Documents/Air7lwis5dn1n6d0xt6r3ij2hai35yv](https://www.licor.com/documents/Air7lwis5dn1n6d0xt6r3ij2hai35yv)
- Lin, C., Kao, Y., Chou, C., Wu, H., Ho, C., & Lin, J. (2020). Methane Emissions From Subtropical And Tropical Mangrove Ecosystems In Taiwan. *Forests*, 11(4). [Https://Doi.Org/10.3390/F11040470](https://doi.org/10.3390/F11040470)
- Luo & Zhou, X. (2006). Chapter 1: Introduction And Overview.
[Https://Doi.Org/10.1016/B978-0-12-088782-8.50001-2](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-088782-8.50001-2)
- Ministerio De Ambiente. (2022). Panamá Y El Abordaje Del Cambio Climático. Ministerio De Ambiente.
[Https://Dcc.Miambiente.Gob.Pa/Cambio-Climatico-En-Panama/](https://dcc.miambiente.gob.pa/cambio-climatico-en-panama/)
- Ministerio De Ambiente. (2023). Los Manglares Pilar De La Economía Azul En Panamá.

- Murray, B. C., Pendleton, L., Jenkins, W. A., & Sifleet, S. (2011). Green Payments For Blue Carbon Economic Incentives For Protecting Threatened Coastal Habitats.
- Naciones Unidas. (1998). Protocolo De Kyoto De La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático.
- Nelson C., & A. O. (2020). Emisiones_De_Dioxido De Carbono En Estratos De Mangles (2). *Biologia Tropical*.
- Oscar L. Y Yenifer D. (2023). Plan De Conservación Para Los Humedales De La Bahía De Parita. www.Audubonpanama.Org
- Pangala, S. R., Moore, S., Hornibrook, E. R. C., & Gauci, V. (2013). Trees Are Major Conduits For Methane Egress From Tropical Forested Wetlands. *New Phytologist*, 197(2), 524–531. <https://doi.org/10.1111/Nph.12031>
- Peña L., (2020). Soluciones Basadas En La Naturaleza Frente Al Cambio Climático: Restauración De Dunas Y Marismas. *Uhinak*, 10(8). <https://doi.org/10.1002/Ecs2.2828>
- Pendleton, L., Donato, D. C., Murray, B. C., Crooks, S., Jenkins, W. A., Sifleet, S., Craft, C., Fourqurean, J. W., Kauffman, J. B., Marbà, N., Megonigal, P., Pidgeon, E., Herr, D., Gordon, D., & Baldera, A. (2012). Estimating Global “Blue Carbon” Emissions From Conversion And Degradation Of Vegetated Coastal Ecosystems. *Plos One*, 7(9). <https://doi.org/10.1371/Journal.Pone.0043542>
- Primavera, J. H., & Esteban, J. M. A. (2008). A Review Of Mangrove Rehabilitation In The Philippines: Successes, Failures And Future Prospects. In *Wetlands Ecology And Management* (Vol. 16, Issue 5, Pp. 345–358). <https://doi.org/10.1007/S11273-008-9101-Y>
- Primavera, J. H., Friess, D. A., Van Lavieren, H., & Lee, S. Y. (2018). The Mangrove Ecosystem. In *World Seas: An Environmental Evaluation Volume Iii: Ecological Issues And Environmental Impacts* (Pp. 1–34). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00001-2>
- Richards, D. R., & Friess, D. A. (2016). Rates And Drivers Of Mangrove Deforestation In Southeast Asia, 2000-2012. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America*, 113(2), 344–349. <https://doi.org/10.1073/Pnas.1510272113>

- R.Lauri. (2015). Estimación De Co₂acumulado Por Los Manglares De La Bahía De Chame, Mediante Análisis De Cenizas De Avicennia Germínans Y Rhizophora Mangle.
- Sanderman, J., Hengl, T., Fiske, G., Solvik, K., Adame, M., Benson, L., Bukoski, J., Carnell, P., Cifuentes-Jara, M., Donato, D., Duncan, C., Eid, E., Ermgassen, Z., Lewis, C., Macreadie, P. I., Glass, L., Gress, S., Jardine, S., Jones, T., Landis, E. (2018). A Global Map Of Mangrove Forest Soil Carbon At 30 M Spatial Resolution. *Environmental Research Letters*, 13(5). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/Aabe1c>
- Schaeffer-Novelli, Y., Cintrdn-Molero, G., Soares, M., & De-Rosa, T. (2000). Brazilian Mangroves. *Aquatic Ecosystem Health And Management*, 3(4), 561–570. <https://doi.org/10.1080/14634980008650693>
- Schuur, E., Abbott, B., Bowden, B., Brovkin, V., Camill, P., Canadell, G., Chanton, P., Chapin, S., Christensen, R., Ciais, P., Crosby, T., Czimczik, C. I., Grosse, G., Harden, J., Hayes, J., Hugelius, G., Jastrow, D., Jones, J., Kleinen, T., Zimov, A. (2013). Expert Assessment Of Vulnerability Of Permafrost Carbon To Climate Change. *Climatic Change*, 119(2), 359–374. <https://doi.org/10.1007/S10584-013-0730-7>
- Soilfluxpro. (2023). Soilfluxpro™ Software Instruction Manual.
- Spalding, Mark., Kainuma, Mami., & Collins, Lorna. (2011). Atlas Mundial De Los Manglares. Unesco.
- Thorhaug, A. L., Poulos, H. M., López-Portillo, J., Barr, J., Lara-Domínguez, A. L., Ku, T. C., & Berlyn, G. P. (2019). Gulf Of Mexico Estuarine Blue Carbon Stock, Extent And Flux: Mangroves, Marshes, And Seagrasses: A North American Hotspot. *Science Of The Total Environment*, 653, 1253–1261. <https://doi.org/10.1016/J.Scitotenv.2018.10.011>
- Tomlinson B. (1986). *The Botany Of Mangroves* (Cambridge University).
- Tomlinson, P. B. (Philip B. (1986). *The Botany Of Mangroves*.
- Troxler, T. G., Barr, J. G., Fuentes, J. D., Engel, V., Anderson, G., Sanchez, C., Lagomasino, D., Price, R., & Davis, S. E. (2015). Component-Specific Dynamics Of Riverine Mangrove Co₂ Efflux In The Florida Coastal Everglades. *Agricultural And Forest Meteorology*, 213, 273–282. <https://doi.org/10.1016/J.Agrformet.2014.12.012>

- Unep. (2006). *M Arine And Coastal Ecosystems And Human Well-Being Synthesis A Synthesis Report Based On The Findings Of The Millennium Ecosystem Assessment.*
- Van Haren, J., Brewer, P. E., Kurtzberg, L., Wehr, R. N., Springer, V. L., Espinoza, R. T., Ruiz, J. S., & Cadillo-Quiroz, H. (2021a). A Versatile Gas Flux Chamber Reveals High Tree Stem Ch₄ Emissions In Amazonian Peatland. *Agricultural And Forest Meteorology*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108504>
- Van Haren, J., Brewer, P. E., Kurtzberg, L., Wehr, R. N., Springer, V. L., Espinoza, R. T., Ruiz, J. S., & Cadillo-Quiroz, H. (2021b). A Versatile Gas Flux Chamber Reveals High Tree Stem Ch₄ Emissions In Amazonian Peatland. *Agricultural And Forest Meteorology*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108504>
- Vega, A. S. O. M. M. (2023). *Diagnóstico Del Estado Actual De Los Manglares, Su Manejo Y Su Relación Con La Pesquería En Panamá.*
- Velázquez-Pérez, C., Tovilla-Hernández, C., Romero-Berny, E. I., & De Jesús-Navarrete, A. (2019). Mangrove Structure and Its Influence on The Carbon Storage In La Encrucijada Reserve, Chiapas, Mexico. *Madera Y Bosques*, 25(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531885>
- Yoro, K. O., & Daramola, M. O. (2020). Co₂ Emission Sources, Greenhouse Gases, And the Global Warming Effect. In *Advances In Carbon Capture: Methods, Technologies And Applications* (Pp. 3–28). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819657-1.00001-3>
- Zheng, X., Guo, J., Song, W., Feng, J., & Lin, G. (2018). Methane Emission from Mangrove Wetland Soils Is Marginal but Can Be Stimulated Significantly by Anthropogenic Activities. *Forests*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/F9120738>

8 ANEXO

Fotografías

Mediciones de Flujos de gases en Suelo y Árboles de mangles.

Fuente: Fotografía Propia,2023



Fig.1 Cámara estática midiendo los flujos de gases CO_2 y CH_4 en el suelo.



Fig.2 Cámara diseñada midiendo los flujos de gases CO_2 y CH_4 en árbol de mangle.



Fig.3 toma de datos observables en el entorno.



Fig.4 Collar PVC con neumatóforos en *Avicennia germinans*.

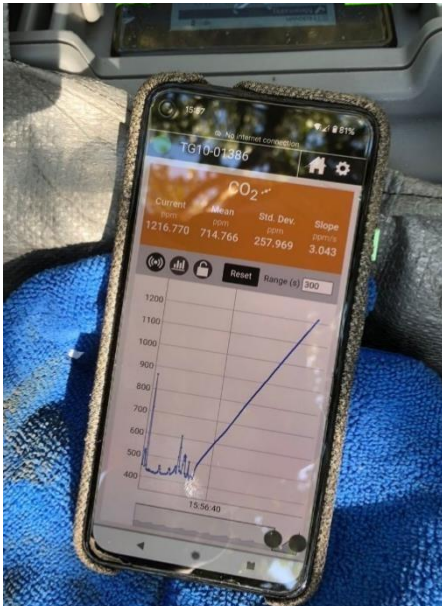


Fig.5 Curvas de concentración de gases de CO₂ en suelo.



Fig.6 Curvas de concentración de gases de CH₄ en suelo.



Fig.7 Curvas de concentración de gases de CO₂ en Árboles de mangles.



Fig.8 Curvas de concentración de gases de CH₄ en Árboles de mangles.