

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE BIOLOGÍA

**Estimación de CO₂ acumulado por los manglares de la Bahía de Chame,
mediante análisis de cenizas de *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle***

Elaborado por
Lauri R. Sánchez G.

Para optar al título de
Licenciada en Biología con Orientación en Biología Ambiental

Panamá, 2015

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de graduación a mis dos hijas Laury Lisbeth Miranda Sánchez y Jesliani Lisbeth Miranda Sánchez quienes han sido mi inspiración y mi motivación para llegar a terminar mi carrera de la Licenciatura de Biología con Especialización Ambiental.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios quien me dio la fortaleza y la sabiduría en el transcurso de estos años de estudio.

Agradezco a mi esposo Jesús Isaías Miranda quien me dio su apoyo incondicional en mi preparación académica para realizarme como una profesional. De igual manera quiero agradecer a mis padres Maritza Gómez y Jorge Sánchez quienes siempre me ofrecieron su ayuda incondicional.

Quiero agradecer al profesor Anibal Taymes por formar parte del comité de asesores desde el inicio, por sus valiosos comentarios, correcciones y recomendaciones.

A la directora y asesora de este trabajo la profesora Magdalia Castillo y al asesor el profesor Jorge Mendieta les expreso mis más sinceros agradecimientos por su colaboración en la revisión y sus comentarios que contribuyeron en la culminación de este trabajo final de graduación.

Agradezco también al asesor el profesor Raúl Carranza por su colaboración en este trabajo final.

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá por prestarme las instalaciones de sus Laboratorios.

Y a las personas que colaboraron de alguna u otra forma en realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN.....	viii
1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Objetivo general.....	8
1.3. Objetivos específicos.....	8
1.4. Hipótesis de trabajo.....	8
2. Materiales y métodos.....	9
2.1. Área de estudio.....	9
2.1.1. Parcelas.....	10
2.2. Diseño estadístico y experimental.....	11
2.3. Trabajo de campo.....	13
2.4. Colecta y procesamiento de las muestras.....	17
2.5. Fórmulas utilizadas para estimar el porcentaje (%) de materia seca, cenizas y materia orgánica.....	17
2.6. Trabajo de laboratorio.....	19
3. Resultados.....	21
3.1. Estimación y comparación del CO ₂ acumulado en <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i>	21
3.2. Determinación del CO ₂ acumulado en las estructuras vegetales de mangle <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i>	21

3.3. Determinación de CO ₂ acumulado por zonas de marea o parcela.....	22
3.4. CO ₂ acumulado por superficie total del área de estudio.....	22
4. Discusión.....	24
4.1. Estimación y comparación del CO ₂ acumulado en <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i>	24
4.2. Determinación del CO ₂ acumulado en las estructuras vegetales de mangle <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i>	25
4.3. Determinación de CO ₂ acumulado por zonas de mareas o parcelas.....	26
4.4. CO ₂ acumulado por superficie total del área de estudio.....	28
5. Conclusiones.....	29
6. Inferencias futuras.....	30
7. Referencias bibliográficas.....	31
8. Anexo.....	35

ÍNDICE DE CUADROS	Pág.
Cuadro 1. Diseño experimental utilizado.....	12
Cuadro 2. Descripción de los factores o tratamientos.....	12
Cuadro 3. Diámetro a la altura del pecho DAP cm	15
Cuadro 4. Total de CO ₂ acumulado en <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i>	21
Cuadro 5. Total de CO ₂ acumulado en las estructuras vegetal.....	22
Cuadro 6. Total de CO ₂ acumulado por zonas de marea o parcela.....	22
Cuadro 7. CO ₂ acumulado en <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i> en las estructuras vegetal en las tres zonas de marea.....	36
Cuadro 8. Porcentaje de materia seca obtenido en <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i> entre mareas.....	37
Cuadro 9. Porcentaje de cenizas obtenido en <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i> entre mareas.....	38
Cuadro 10. Porcentaje de materia orgánica obtenido en <i>Avicennia germinans</i> <i>Rhizophora mangle</i> entre mareas.....	39
Cuadro 11. Medidas del diámetro a la altura del pecho (DAP) en <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i> en las tres zonas de mareas.....	40
Cuadro 12. Características físico química del sustrato por zonas de marea.....	41
Cuadro 13. Tablas de análisis estadísticos de hoja, tronco y raíz.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS	Pág.
Fig. 1. Localización del sitio de estudio.....	9
Fig. 2. Esquema de las zonas de marea.....	11
Fig. 3. Diseño de campo.....	14
Fig. 4. Fotografía de secado de las muestras.....	19
Fig. 5. Fotografía moliendo las muestras.....	20
Fig. 6. Fotografía de muestras para incinerar.....	20
Fig. 7. Total de CO ₂ acumulado en <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i> ..	43
Fig. 8. Total de CO ₂ acumulado por estructura vegetal en <i>Avicennia germinans</i> <i>Rhizophora mangle</i>	43
Fig. 9. CO ₂ acumulado por zonas de mareas chica, media y grande en <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i>	44
Fig. 10. Acumulación de CO ₂ en <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i> , según órgano vegetativo entre las tres marea chica, media y grande.....	44
Fig. 11. Porcentaje de materia seca obtenido <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i> entre mareas chica, media y grande.....	45
Fig. 12. Porcentaje de cenizas obtenido de <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i> entre marea chica, media y grande.....	45
Fig. 13. Porcentaje de materia orgánica obtenidas de <i>Avicennia germinans</i> y <i>Rhizophora mangle</i> entre marea chica, media y grande.....	46
Fig. 14. Fotografía de los mangles seleccionados.....	47
Fig. 15. Fotografía de algunas especies que se encuentran en el lugar de estudio.....	48
Fig. 16. Fotografía trabajo en campo.....	49
Fig. 17. Fotografía trabajo en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Agropecuaria.....	50

RESUMEN

Este estudio realizó para determinar el CO₂ acumulado por los manglares de la Bahía de Chame, estimado mediante un análisis de cenizas de *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* el sitio exacto del estudio está ubicado en La Tembladera (Bahía Chame) corregimiento de Cermeño, comunidad de Monte Oscuro en el distrito de Capira, en la provincia de Panamá Oeste. Se seleccionó una zona de manglar rivereño que se dividió en tres zonas de marea: chica, media y grande. Por cada zona de marea, se tomaron dos especies de mangle. De cada especie se seleccionaron al azar tres árboles para tomar las muestras de hoja, tronco y raíz. El procesamiento se llevó a cabo en el Laboratorio de suelo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá. Los resultados obtenidos demuestran que *Rhizophora mangle* acumula mayor cantidad de CO₂ que *Avicennia germinans*. La zona de marea chica obtuvo mayor porcentaje de CO₂ acumulado y el tronco es la estructura vegetal que acumula mayor cantidad de CO₂.

1. Introducción

Los manglares son bosques litorales se encuentran en la transición entre el mar y la tierra, en torno a estos bosques se estudian los beneficios biológicos de dichas comunidades, en la preservación de un hábitat de alta productividad (Suman, 1994). Dominan aproximadamente el 75 % las costa del mundo entre las latitudes 25° N y 25° S y están adaptados a áreas caracterizadas por altas temperaturas, salinidades fluctuantes y substratos anaeróbicos (Day *et al.*, 1987).

Se encuentran entre los ecosistemas tropicales más importantes, por ser área de crianza, alimentación, productividad primaria y protección de numerosas especies marinas de interés comercial (Hernández *et al.*, 1995).

En nuestro país mediante un acuerdo municipal, el distrito de Chame declaró las zonas de manglar área protegida. De esta forma quedó establecido en la Gaceta Oficial N° 26301 de mayo del 2009. En su artículo 2 establece los manglares como categoría de manejo de uso múltiple con el fin de preservar la diversidad biológica (Asamblea Nacional, 2009). Esta disposición legal le permite a las autoridades correspondientes, realizar actividades en conjunto con otras instituciones y con los residentes del área, como proyectos de reforestación del manglar, como actividad principal, entre otras de uso sostenible. Esto les permite a los pobladores obtener sustento y cumplir con sus necesidades básicas. Los usuarios del manglar se dedican a las siguientes actividades: carboneros, vareros, cangrejeros, leñadores, y concheros (Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables, INRENARE, 1996).

En Panamá, se estima que tiene la mayor variedad de especies de mangle entre todos los países del continente americano, habiéndose reportado 11 de las 65 especies (no híbridas) identificadas en el mundo, de acuerdo con el Atlas mundial de los manglares (Spalding *et al.*, 2010; ANAM, 2013).

Se pueden identificar por su taxonomía, morfología y descripción florística así como las zonas de vida en donde se desarrollan y su distribución.

Los manglares están siendo sometidos a constantes presiones que ocasionan su deterioro y destrucción. Por tal motivo, se hace necesario desarrollar programas dirigidos a promover la conservación de dicho ecosistema, a la recuperación de las áreas degradadas y a la búsqueda de alternativas para la población que depende de este recurso natural (ANAM, 2009). Son ecosistemas frágiles sometidos al impacto del cambio climático. No obstante existen, evidencias que estos humedales forestados tiene gran capacidad para mantenerse con mejor éxito que otros ecosistemas, frente a esta variabilidad físico ambiental de ritmo acelerado de nuestro cambio climático (Yañez *et al.*, 2010).

Para el desarrollo de las políticas nacionales relacionadas con el cambio climático, nuestro país, por medio de la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) creó la Unidad de Cambio Climático (UNCCD), en respuesta a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kioto (Torres, 2007; ANAM, 2010). Este acuerdo establece la importancia que tienen nuestros bosques para disminuir la aceleración del cambio climático que es producido por los gases emitidos al ambiente, donde el CO₂ es uno de los principales componentes.

El manglar como bosques que son, también contribuyen a desacelerar el cambio climático o cambio ambiental, lo que se conoce como mitigación del cambio climático. Los árboles de mangle capturan una significativa cantidad de Carbono de la atmósfera y la almacenan en sus raíces, troncos, ramas y hojas. Además, en el suelo del manglar, rico en materia orgánica, también se almacena mucho Carbono. Si se destruyen los manglares, gran parte de este Carbono almacenado tarde o temprano entrará a la atmósfera, contribuyendo así a la aceleración del cambio climático. (ANAM, 2013).

A nivel mundial los manglares cubren aproximadamente un 3 % de la superficie terrestre, sin embargo, constituyen importantes sumideros de Carbono, contribuyendo en un 40 % en la captura de CO₂ (Mitsch and Gosselink, 2000; ANAM, 2013). Los manglares estuarinos tienen una capacidad de secuestro de Carbono por unidad de área mucho mayor que otros sistemas de humedales (Bridgham *et al.*, 2006) y almacenan Carbono con una liberación mínima de gases de efecto invernadero debido a la inhibición de la metano-génesis por los sulfatos (Magenheimer *et al.*, 1996). De allí la importancia de conservar y proteger estos ecosistemas en nuestro país.

Por tal razón, esta investigación se propuso estimar el CO₂ acumulado por los manglares comparando dos especies de mangle en la Bahía de Chame, determinar la estructura vegetal de la planta donde hay mayor acumulación de CO₂ y brindar aporte sobre la función ecológica de los manglares, no solo a nivel nacional, sino también, a nivel global. A la contribución con información valiosa para recalcar la importancia de los manglares, que conlleven a su protección. De esta forma los conocimientos que se obtengan sobre este tema, pueden apoyar en la búsqueda

de soluciones para reducir los efectos del cambio climático y dar servicios ambientales a nuestro país.

1.1. Antecedentes

Los bosques de mangle, son terrenos presentes en las regiones tropicales y subtropicales del mundo que están en constante influencia de las grandes mareas, y por lo general, se encuentran en esteros donde crecen especies de árboles de mangle que presentan las adaptaciones necesarias para resistir el exceso de salinidad y la saturación del suelo con agua de mar (Mendieta, 2006; ANAM, 2013). Están adaptados a condiciones de estrés, tales como suelos limosos o arenosos inestables y con baja concentración de Oxígeno, influencia de los fuertes oleajes de la marea y el efecto de salinidades altas (Hernández *et al*, 2006).

Entre ellas están la acumulación de sal en los tejidos de los tallos, hojas y raíces, y la secreción de esta por medio de glándulas. También entre sus adaptaciones morfológicas presentan raíces aéreas y subterráneas que les permiten establecerse en suelos anaeróbicos y de sustrato semifluido, cumpliendo a la vez con la función de absorber agua y el intercambio gaseoso (Vásquez, 2007; Mainardi, 1996).

Estas características son precisamente las que le dan valor a la importancia ecológica de los bosques de mangle ya que, éstos no solamente contribuyen al aporte de materiales orgánicos y refugio de especies, sino que también le brindan protección a la zona costera por erosión (zona de amortiguamiento) de los fuertes

oleajes de las mareas y de los vientos (INRENARE, 1991). Sin olvidar su importancia como captadores de CO₂.

En Panamá, los bosques de mangle representan una superficie total de 1813,38 km², un aproximado de 170.000 hectáreas lo que equivale a un 2.3% de la superficie total del país (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, 2007; CATHALAC, 2007; ANAM, 2013). Durante los últimos 50 años, se han talado más de la mitad de los manglares existentes, de unas 360,000 hectáreas estimadas en 1969, a cerca de 170,000 en 2007 (Spalding et ál., 2010; ANAM, 2013).

Según Anguizola *et al.* (1988), Panamá cuenta con trece áreas principales de manglares: nueve se encuentran en la vertiente del Pacífico y cuatro en el Caribe. En el caso de los manglares del distrito de Chame, éstos cubren aproximadamente una superficie de 2,249 hectáreas (ANAM, 2002, 2006). La cobertura de manglar en el área de chame está compuesta por varias especies diferentes. Se encuentran en rodales puros como también mixtas con otras especies de mangle (INRENARE, 1996)

Entre las especies de mangle existente se encuentran: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Rhizophora racemosa* (mangle caballero), *Avicennia germinans* (mangle negro), *Avicennia bicolor* (mangle salado), *Conocarpus erectus* (mangle botón), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Pelliciera rhizophorae* (mangle piñuelo), *Tabebuia palustris* (Mangle marica) (Tribaldos, 2008; ANAM, 2010; ANAM, 2013).

En cuanto a la distribución geográfica en Panamá la especie más común y con mayor cobertura es *Rhizophora mangle*, ya que se encuentra en todas las áreas donde se desarrolla el bosque de mangle (Mendieta, 2006).

Entre las características dendrológicas para distinguirlo, están sus raíces fulcreas que se forman desde el tronco y se ramifican para formar otras raíces. Sus hojas simples y opuestas, de forma lanceolada y con pecíolo cortó. Además presentan coloración verde oscuro en el haz y verde amarillento en el envés, siendo ésta otra característica sobresaliente para su identificación (Salazar *et al*, 2000).

Otra de las especies de mayor cobertura en los bosques de mangle de Panamá, es la especie *Avicennia germinans*. Entre sus características dendrológicas están sus hojas simples y opuestas, con forma de lámina elíptica lanceolada, presenta un haz de coloración verde oscuro y el envés grisáceo. Como característica distintiva, está la corteza negruzca con un ligero reflejo plateado y neumatóforos en la base (Salazar *et al*, 2000).

Por ser las dos especies más comunes en Panamá, se seleccionaron para esta investigación, ya que, al ser las de mayor distribución geográfica presume que son las de mayor contribución en la captación del CO₂.

En resumen los manglares son de gran importancia para nuestro planeta. Sin embargo, están disminuyendo rápidamente en casi todas las regiones del planeta por la forma en que se desarrollan diferentes actividades humanas, cría de camarones, la tala directa, la construcción de puertos, hoteles y residencias en las costas, la construcción de represas que alteran los ríos que los alimentan, y la contaminación por actividades industriales y agropecuarias (ANAM, 2013).

Es importante destacar que los manglares tienen como función el mantenimiento de hábitats costeros marinos, provisión de alimento, refugio para gran variedad de organismos a diferente niveles tróficos, juegan un papel importante en mantener la

calidad del agua, la estabilidad de las costas, la cual controla la distribución de nutrientes, sedimentos (Yañez *et al* 2010). Además son purificadores del ambiente.

Considerando la importancia ecológica y económica del ecosistema de manglar en Panamá, el presente trabajo tiene como objetivo principal estimar la cantidad de CO₂ presente en dos especies de mangle: *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*, por medio del método del análisis de cenizas, tratando de comparar la eficacia de sus mecanismos fisiológicos en cuanto a la acumulación de CO₂ y además brindar un aporte a los conocimientos actuales referentes al área de estudio.

Los manglares juegan un papel muy importante en nuestro planeta ya que forman parte de la cobertura del bosque, ayudan a capturar y acumular el CO₂ emitido y también evitar el aumento de los efectos invernaderos. Se calcula que un manglar saludable captura del aire cada año el equivalente a 6.3 toneladas de carbono por hectárea (Murray *et al.*, 2011).

1.2. Objetivo general

- Estimar y comparar la acumulación de CO₂ en los mangle *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* del manglar de la Bahía de Chame en las diferentes zonas intermareales, por el método de cenizas.

1.3. Objetivos específicos

- Estimar la acumulación de CO₂ en *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* del manglar de la Bahía de Chame.
- Determinar en qué estructura vegetal de *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* hay mayor acumulación de CO₂.
- Determinar el porcentaje de CO₂ acumulado intermareal y por superficie total.
- Contribuir al conocimiento de las funciones que realizan *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* como captadores de CO₂.

1.4. Hipótesis de trabajo

H₁: La acumulación de CO₂ en el manglar depende de la estructura vegetal del mangle.

H₀: La acumulación de CO₂ en el manglar no depende de la estructura vegetal del mangle.

H₂: Existe diferencia significativa en la acumulación de CO₂ en el manglar, en cuanta las zonas intermareales.

H₀: No existe diferencia significativa en la acumulación de CO₂ en el manglar, en cuanta las zonas intermareales.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en La Tembladera (Bahía de Chame) corregimiento de Cermeño, comunidad de Monte Oscuro, en el distrito de Capira, en la provincia de Panamá (Figura 1) La localización geográfica es $79^{\circ}47' 26.4''$ W, $08^{\circ}41'19''$ N.



Figura 1. Localización del sitio de estudio.

Entre las características que presenta el área de estudio están las siguientes: La vegetación boscosa se encuentra en la categoría de bosque de manglar que consiste en un sistema productivo con vegetación leñosa natural o espontánea. La capacidad agrológica del suelo es no arable, con limitaciones muy severas. La zona de vida corresponde a bosque muy húmedo montano bajo. Presentan muy pocas oportunidades para el uso forestal en cualquier escala. (ANAM, 2010)

Este sitio también se caracteriza por presentar formaciones rocosas producto de las erupciones volcánicas que se dieron en el período Terciario y, que al enfriarse y solidificarse, el magma o roca fundida de manera rápida, se formaron entonces rocas de tipo volcánicas o extrusivas. De acuerdo al tipo de ecorregión, es un área

terrestre extensa que contiene conjuntos particulares de comunidades naturales y que poseen tres altitudes en común, en este caso, el sitio se encuentra en la clasificación de manglares del golfo de Panamá (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, 2007).

Según (ANAM, 2010), En Panamá se distinguen cinco tipos de clima: El de esta zona es un clima tropical de sabana con una precipitación anual mayor a los 2,500 m.m, *con* precipitación menor de 60 m.m. La temperatura media del mes más fresco es mayor de 18 °C. La diferencia entre la temperatura del mes más cálido y el mes más fresco es menor a 5 °C.

2.1.1. Parcelas.

Para marcar las parcelas del estudio en primera instancia se realizó un recorrido por la zona con un morador del lugar Señor Santiago González quien reside en el sitio desde hace más de 45 años y conoce a la perfección hasta donde llegan las mareas. Como segundo paso, comprobó "*in situ*" los agujeros que se daban. Una vez conocido este limitante procedió a marcar las parcelas, (mayores detalles se darán más adelante). La zona se dividió, según las mareas, en marea chica, media y grande. Esta separación se realizó con ayuda de la tabla de marea de ETESA, (2014).

La zona de marea chica comprende un total de 125 m teniendo como referencia el estuario más cercano al río en dirección a mar.

La zona de marea media comprende a 90 m inicia donde termina la zona de marea chica en dirección al mar.

La zona de marea grande está conformada por 75 m, inicia donde termina marea media y termina cerca a tierra firme.

La Figura 2 muestra el esquema de las zonas de marea.

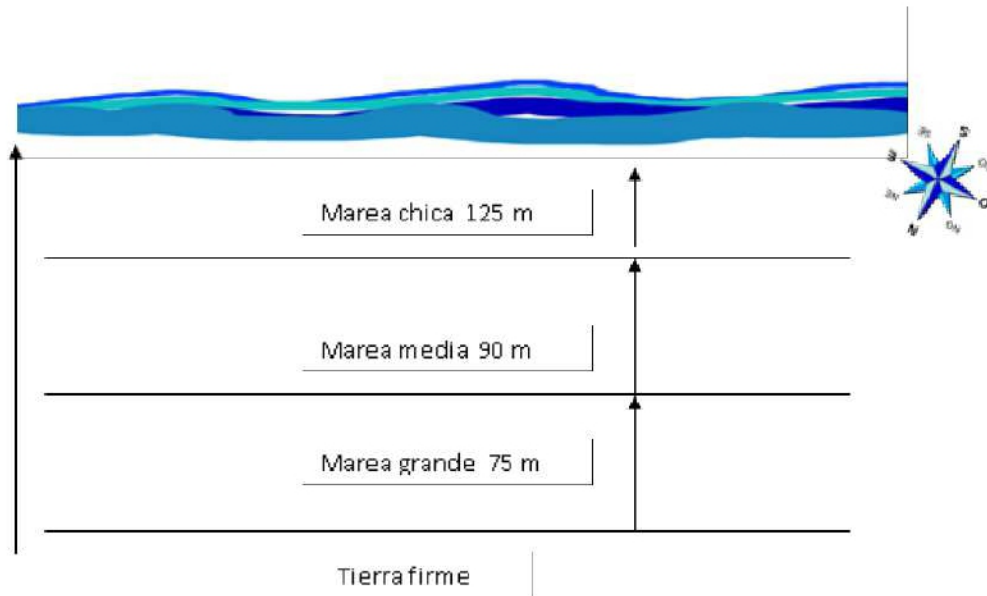


Figura 2. Esquema de las zonas de marea.

2.2. Diseño estadístico y experimental.

Se utilizó el diseño de análisis factorial $2 \times 3 \times 3 \times 3$, para llevar a cabo la estimación de CO_2 acumulado en *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*. La unidad experimental corresponde a cada parcela.

El Cuadro 1 corresponde al diseño experimental utilizado en el estudio. Cada parcela está compuesta por los tres factores. Como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Diseño experimenta utilizado.

Factor A	
Especies	A1 <i>Avicennia germinans</i> (3 repeticiones)
	A2 <i>Rhizophora mangle</i> (3 repeticiones)
Factor B	
Zonas de marea	B1 chica
	B2 media
	B3 grande
Factor C	
Estructura vegetal	C1 hoja
	C2 tronco
	C3 raíz

La descripción de los factores se muestra en el Cuadro 2. Se hicieron tres repeticiones de cada variable. En total se obtuvo 54 muestras.

Cuadro 2. Descripción de los factores o tratamientos.

		FACTOR A				FACTOR B				$\sum X^2$ $\sum X$
		B1	B2	B3	X	B1	B2	B3	X	
C1	R1									
	R2									
	R3									
X										
C2	R1									
	R2									
	R3									
X										
C3	R1									
	R2									
	R3									
X										
$\sum X^2$										
$\sum X$										

2.3. Trabajo de Campo.

El trabajo de campo se dividió en tres fases:

1. Localización del área de estudio, para el cual se realizó un recorrido previo y selección del lugar más adecuado.
2. Delimitación de las parcelas al cual se hizo referencia en el punto 2.1.1.
3. Selección al azar de las especies de mangle, tanto de *Rhizophora mangle* como de *Avicennia germinans* en cada zona de marea.

En este punto nos referimos un poco más a como se determinaron las zonas de marea e identificación de las especies de mangle.

Las distancias entre cada zona de marea se midieron con una cinta métrica. Se tomó como punto de referencia un estuario cercano al río, en dirección hacia el mar, la coordenadas 079°47'26.4" W, 08°41'19" N. A partir de este punto se midió una distancia de 125 m que comprende al área de marea chica e inicia la marea media que llega hasta los 90 m, de aquí en adelante corresponde la marea grande 75 m es decir es la más cercana a tierra firme. En la zona de marea chica, la marea llega a los 12 pies de altura. En la media a 15 pies y en la grande a 17 pies.

En total la zona de estudio midió 290 m de largo y 10 m de ancho. Se trazaron tres transeptos en cada parcela en dirección hacia el mar (noreste). Entre cada zona de marea se dejaron 2 metros de distancia para separar una de la otra. La disposición del manglar en cada zona de marea se muestra en la Figura 3.

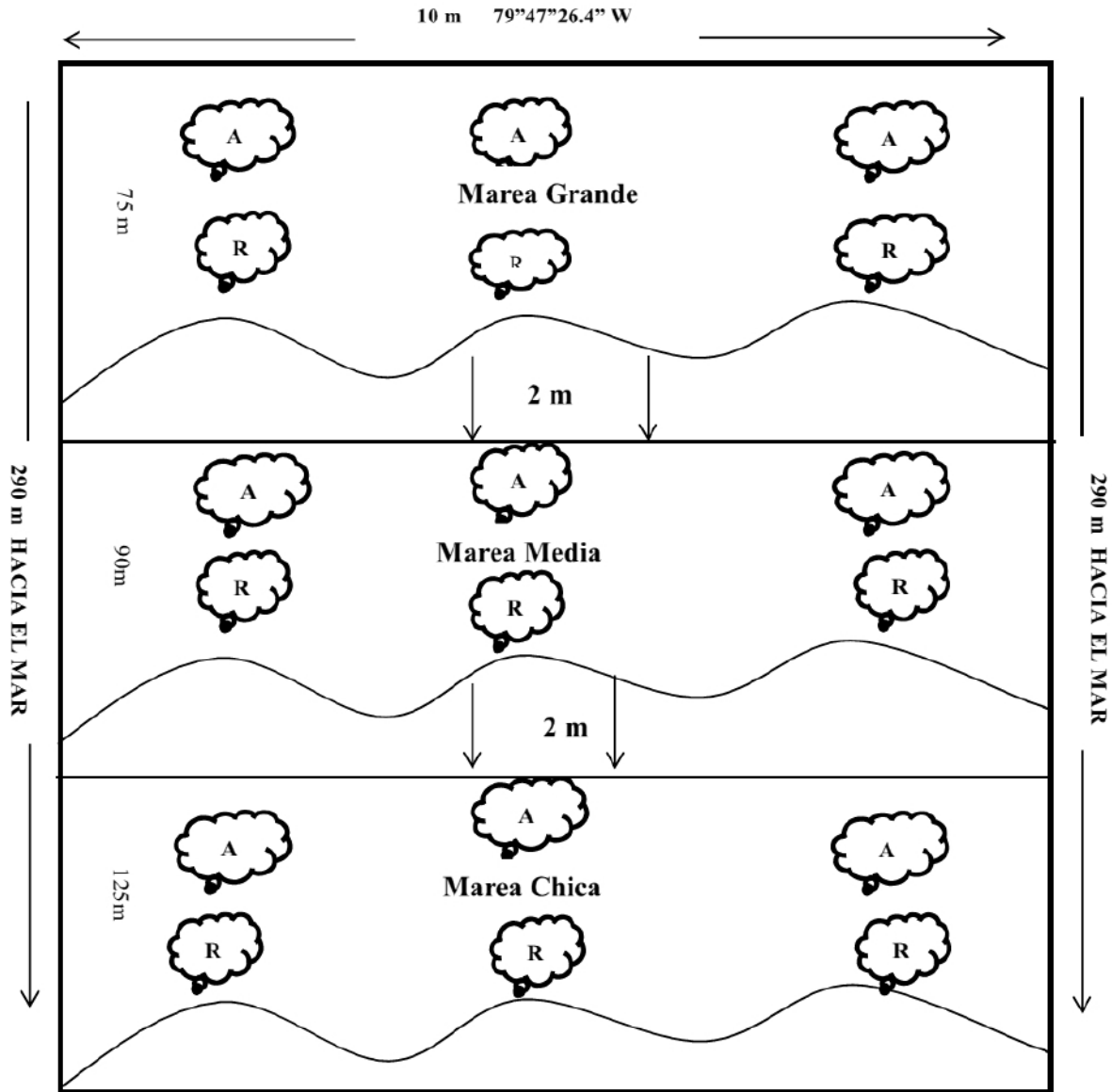


Figura. 3. Diseño de campo.

Por cada zona de marea se identificaron las especies de mangle a muestrear. Se escogieron al azar tres árboles jóvenes de *Avicennia germinans* y tres árboles de *Rhizophora mangle* por zona de marea, a una distancia de 5 metros entre cada árbol. Como se observa en la Figura 3.

Con una cinta métrica se le midió la circunferencia de los troncos de cada árbol como se observa en el Cuadro 3 para obtener el diámetro a la altura del pecho (DAP) con la siguiente formula:

$$DAP = \frac{\text{circunferencia (m)}}{3,1416}$$

Cuadro 3. Diámetro a la altura del pecho DAP (cm).

Especie	Marea chica	Marea media	Marea grande
	DAP (cm)		
<i>Rhizophora mangle</i>	4,4	7,9	7,5
<i>Avicennia germinans</i>	23	17,7	17,2

Identificación de las dos especies de mangle:

Se utilizaron las características según ANAM, (2013)

1. *Rhizophora mangle* (Mangle rojo), también conocido como mangle caballito (en Darién) y gateador (en Veraguas).

Familia Rhizophoraceae

- Árbol que alcanzan hasta 25 m de altura y de 10 a 50 cm de diámetro del tallo.
- Tiene raíces que salen de la base del tronco antes de hundirse en el suelo, con forma de arco, y que luego se ramifican en los extremos.
- Su corteza exterior es color marrón, internamente es de color rojo oscuro.
- Tiene hojas en formas ovaladas o elípticas, simples y opuestas, con textura como encerada, de 5 a 15 cm de largo y de 3 a 7 cm de ancho.

- Sus flores son ramificadas, de color verde amarillento (1-2 flores por inflorescencia).
- Sus frutos son ovalados o como la punta de una lanza, de 10 a 20 cm de largo.
- Sus semillas o propágulos germinan dentro del fruto y tienen forma de bastón, alargado y puntiagudo, de hasta 32 cm de largo.

2. *Avicennia germinans* (Mangle negro), También conocido como mariangolo (en la provincia de Panamá).

Familia Avicenniaceae

- Árbol que alcanzan hasta 30 m de alto.
- Sus raíces son verticales y crecen hacia arriba alrededor de la base del tronco.
- Tiene corteza exterior color café-grisáceo oscuro y con fisuras que forman pequeñas placas rectangulares.
- Sus hojas son simples y opuestas, de 8 a 15 cm de largo y de 2 a 4 cm de ancho, con forma como la punta de una lanza aguda, verde oscuro de frente y grisáceo al reverso, y usualmente tiene cristales de sal en ambos lados.
- Sus flores son blancas o crema, con 1 a 15 pares de flores por inflorescencia.
- El fruto es ovalado o elíptico, de 5 cm de largo, cubierto por una estructura carnosa y esponjosa, que se abre como una cáscara de dos partes y contiene una única semilla.
- Prefiere suelos que son inundados periódicamente por acción de las mareas, densos, negros y pobres en oxígeno.
- Puede tolerar mayores niveles de salinidad y bota el exceso de sal por las hojas (por eso los cristales).

2.4. Colecta y procesamiento de las muestras.

Las muestras de hoja se cortaron con tijeras podadoras y las del troco y raíz con machete. Con un machete se cortaron el tronco y raíces por especie. En una primera fase se cortaron en piezas muy pequeñas y se guardaron en bolsas ziploc separadas en hoja, tallo y raíz por especie y zona de marea. Una vez identificadas se almacenaron en una hielera para ser llevadas al laboratorio de la Facultad de Ciencias Agropecuaria donde se procesaron. Se recogieron 18 muestras triplicadas en total: por cada zona de marea. En total tres muestras de hoja, tronco y raíz de cada especie de mangle para un total de 54 muestras.

Se recogieron muestras del sustrato para conocer su características físico química en las tres zonas de marea: chica, media y grande.

2.5. Fórmulas utilizadas para estimar el porcentaje (%) de materia seca, cenizas y materia orgánica.

Las formulas empleadas para los diferentes cálculos fueron sugeridos por el personal de la Facultad de ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá .

- Fórmula utilizada para sacar el porcentaje (%) de materia seca

$$\% \text{ de mat seca a } 65^{\circ} \text{ C} = \frac{\text{recipiente} + \text{mat seca } 65^{\circ} \text{C (g)}}{\text{recipiente} + \text{mat húmeda (g)}} \times 100$$

- Fórmula utilizada para sacar porcentaje (%) de cenizas

$$\% \text{ cenizas} = \frac{\text{crisol} + \text{ceniza (g)}}{\text{crisol} + \text{mat seca al horn (g)}} \times 100$$

- Fórmula utilizada para sacar el porcentaje (%) de materia orgánica

$\% \text{Materia Orgánica} = \text{Mat Seca } \% - \text{Cenizas } \%$.

- Fórmula utilizada para sacar porcentaje (%) de CO₂.

$$\text{CO} = \% \text{MO} / 1,721$$

Para obtener el % de CO₂ se utilizó el cálculo de rutina en el laboratorio de suelo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá. La fórmula utilizada incluye el valor factor de Van Benmelen equivalente 1,721 el 58.11% corresponde al porcentaje carbono de la materia orgánica. El contenido de la materia orgánica se deduce del carbón orgánico expresado como $100\%/58.11\% = 1.721$ (Jackson, 1964; Martínez, 2008; Salomón, 2011).

- Fórmula utilizada para estimar el CO₂ por zonas de marea o parcela.

Para estimar el CO₂ por parcela y superficie total se calcula primero la cantidad total de m² de la siguiente forma.

Zona de marea chica midió: 125 m de largo y 10m de ancho: 1250 m²

Zona de marea media midió: 90 m de largo y 10 m de ancho: 900 m²

Zona de marea grande midió: 75m de largo y 10m de ancho: 750 m²

De la sumatoria de las zonas de marea o parcelas se obtiene la superficie total, que en este caso es 2,900 m².

- Fórmula utilizada para calcular el CO₂ por parcela = CO₂ acumulado por zona de marea x distancia de la zona de marea en m².

➤ Fórmula utilizada para calcular la superficie total del área de estudio =

$$\frac{\text{CO}_2 \text{ acumulado} \times \text{superficie total del área}}{\text{superficie total de las parcelas}}$$

2.6. Trabajo de laboratorio.

El trabajo en el laboratorio consistió en:

1. El primer paso fue llevar las muestras a secado. Con la ayuda de una balanza digital se procedió a tomar el peso húmedo de las hojas, tronco y raíz. Una vez obtenido el peso húmedo, se tomó el peso de la bolsa de papel, donde se introdujeron las muestras, que se colocaron al horno por 48 horas a 65°C. Las muestras secas se dejaron por 24 horas a temperatura ambiente y luego se pesaron. Por diferencia de peso se obtuvo el peso seco. En la Figura 4 se observa el proceso de secado de las muestras en el horno.



Figura. 4. Fotografía de secado de las muestras.

2. El segundo paso fue moler las muestras secas de hoja, tronco y raíz de forma individual, por especie. Luego se tomaron los pesos de las muestras molidas de hoja, tronco y raíz para llevarlas al proceso de cenizas. En la Figura 5 se observa cómo se molieron las muestras para incineración.



Figura. 5. Fotografía moliendo las muestras.

3. El tercer paso es la incineración. El polvo obtenido de cada muestra fue pesado, antes de ser llevado al incinerador donde se mantuvieron a una temperatura de 100 °C. Se trabajaron por día 18 muestras hasta completar las 54 muestras. En la Figura 6 se observan las muestras para incinerar.



Figura. 6. Fotografía de muestras para incinerar.

3. Resultados

3.1. Estimación y comparación del CO₂ acumulado en *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*.

Para conocer la especie de mangle que acumula más CO₂ entre *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*, se sumaron los porcentajes de CO₂ obtenidas en

las tres estructuras vegetales (hoja, tronco y raíz), para cada una de las especies en las tres zonas de mareas.

Los resultados obtenidos se resumen en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Total del CO₂ acumulado en *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*.

3.2. Determinación del CO₂ acumulado en las estructuras vegetales de

<i>Avicennia germinans</i>	<i>Rhizophora mangle</i>
CO ₂ (g)	
560,47	607,33

***Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*.**

Para determinar la estructura vegetal que acumula mayor cantidad de CO₂ se realizó la sumatoria total de cada estructura vegetal, en las tres zonas de marea, para cada especie de mangle.

Los resultados muestran que el tronco es la estructura vegetal que tiene mayor acumulación y hoja y raíz tienen cantidades similares. Detalles de estos resultados se observan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Total de CO₂ acumulado en las estructuras vegetales.

Estructuras	<i>Avicennia germinans</i>	<i>Rhizophora mangle</i>	Total
CO₂ (g)			
Hoja	116,48	134,16	250,64
Tronco	339,27	351,17	690,44
Raíz	104,72	122	226,72

3.3. Determinación de CO₂ acumulado por zona de marea o parcela.

Para determinar el total de CO₂ acumulado por parcelas (zonas de marea), se realizó una sumatoria individual en cada una de las tres zonas de marea, en las dos especies mangle.

En cuanto a determinación por zonas de marea la muestran que marea chica hay mayor acumulación y marea media y marea grande tienen resultados parecidos.

Detalles de estos resultados se observan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Total de CO₂ acumulado por zonas de marea o parcela.

Estructuras	<i>Avicennia germinans</i>	<i>Rhizophora mangle</i>	Total
CO₂ (g/m²)			
Marea chica	221437,5	231562,5	453,000
Marea media	166212	177741	343953
Marea grande	149115	168442,5	317557,5

3.4. **CO₂ acumulado por superficie total del área de estudio.**

El total de CO₂ acumulado por superficie total del área de estudio, es de 355,069.142 g/m². Se calculó de la siguiente forma: manglar de Monte Oscuro 881.628 m², el CO₂ acumulado de los manglares *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* es de 1167.98 g y superficie total de la parcela 2,900 m². Se multiplico el CO₂ total acumulado en *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans* por la superficie total del área y se dividió entre la superficie de total de las parcela eso nos da la estimación aproximada del CO₂ acumulado.

Por consiguiente CO₂ acumulado por superficie total del área de estudio =

$$\frac{1167.98 \text{ g} \times 881.608 \text{ m}^2}{2,900 \text{ m}^2} = 355,069.142 \text{ g/m}^2$$

4. Discusión

4.1 Estimación y comparación del CO₂ acumulado en *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*.

El estudio realizado es de gran importancia biológica y ecológica. Desde principios de la década de los años 80, ya se reconocía a los humedales como una fuente importante de Carbono y su contribución clave en el ciclo del mismo (Armentano, 1981).

Se pudo determinar con los resultados obtenidos que existen diferencias entre las dos especies en la acumulación de CO₂, (Cuadro 4). La que acumuló un porcentaje mayor de CO₂ fue *Rhizophora mangle*, a diferencia de *Avicennia germinans* que obtuvo menor porcentaje, aunque ambas realizan la función de captar, absorber y acumular el CO₂ además indica que *Rhizophora mangle* es un buen captador de CO₂ y es de mucho beneficio para los ecosistemas ya que ayudan a absorber este gas emitido en la naturaleza y a purificar el ambiente.

Se tomaron las medidas del diámetro a la altura del pecho (DPA) de cada mangle por zona de marea. Como se observa en el Cuadro (3), se puede observar que la anchura y el tamaño de cada árbol de *Rhizophora mangle* es menor en comparación con *Avicennia germinans*, lo que indica, que el tamaño del árbol no impide que el mangle realice sus función de captar, absorber y acumular el CO₂.

A pesar que *Rhizophora mangle* no se encuentra en su hábitat común y que no presentaba el crecimiento suficiente, los datos obtenidos muestran que es la especie que mayor cantidad de CO₂ acumula, a diferencia *Avicennia germinans* que

presento un porcentaje menor en la acumulación de CO₂. Este estudio permite conocer y comparar el comportamiento de los mangles de este lugar.

Las mezclas de especies de mangle y el lugar en que se encuentren el comportamiento en cuanto a la fijación del Dióxido de Carbono son casi similares.

4.2. Determinación del CO₂ acumulado en las estructuras vegetales de *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*.

Los análisis estadísticos muestran que la estructura vegetal la hoja y tronco no hay diferencias significativas en ninguna de las tres zonas de marea sin embargo la raíz muestra diferencia significativa en la zonas de marea chica y grande. Como se observa en el Cuadro 13.

Con respecto a la estructura vegetal se encontró que es el tronco de *Rhizophora mangle* el que acumula mayor cantidad de CO₂ seguido de sus hojas y por último la raíz. Tomando en cuenta que el tronco es más leñoso debido al xilema, se espera que ocurra mayor almacenamiento de CO₂. En el caso de las hojas como capturan el CO₂ y el mismo se utiliza en la fotosíntesis y también parte para la liberación de O₂ y parte se acumula en ella probablemente a ello se debe que acumula menor cantidad de CO₂. La raíz es la parte del árbol que menos acumula CO₂. Se puede observar en el Cuadro 5 la cantidad de CO₂ en cada estructura vegetal.

Por eso en los ambientes naturales la biomasa esta almacenada en forma aérea (troncos, ramas, hojas), subterránea (raíces). Otra forma de almacén es la necromasa (hojas y troncos muertos), el detrito y materia orgánica contenida en suelos y sedimentos (Honorio & Becker, 2010; Morales, 2010).

En *Avicennia germinans* presentó mayor acumulación de CO₂ en su tronco, similar a *Rhizophora mangle*, tomando en cuenta también es leños como *Rhizophora mangle*. En el caso de las hojas similar a *Rhizophora mangle* fue la segunda que presentó acumulación de CO₂ que es capturado del ambiente y la raíz al igual que *Rhizophora mangle* es la última parte que acumula CO₂.

Según Roulet, (2000); Morales, (2010) y Crooks et al., (2011) la capacidad de almacenaje que tiene cada mangle puede ser variable y depende de las características fisiológicas de las especies.

4.3. Determinación del CO₂ acumulado por zona de marea o parcela.

Se pudo determinar que la zona de marea o parcela que acumuló mayor cantidad de CO₂ entre los mangle *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* fue la de marea chica. En esta zona de marea, existen estuarios y los manglares se encuentran con frecuencia cubiertos de agua, lo que puede ser unos de los factores que la favorecen en la acumulación del CO₂ y por esto, ocurre mayor descomposición de materia orgánica y mayor cobertura de mangle. La zona de marea media fue la segunda, el mangle que se encuentra en esta zona con poca frecuencia están cubiertos de agua pero si hay descomposición de materia orgánica en menor cantidad lo cual aporta CO₂ en menor escala. La zona de marea grande en esta zona se está más hacia la tierra y no se encuentran estuarios. . En el Cuadro 6 podemos observar la cantidad de CO₂ que acumula cada zona de marea.

Los manglares perciben agua solo cuando hay aguaje lo cual disminuye la cantidad de CO₂ acumulado. Parte del CO₂ que capturan, absorben y acumulan los mangles

es emitido al ambiente por muchos contaminantes y parte es por descomposición de la materia orgánica

Algunos estudios indican que la composición de los residuos de plantas, así como el incremento de la salinidad, afecta el flujo superficial del CO₂ y C orgánico disuelto durante la descomposición del residuo de plantas, pudiendo ser una consideración importante para el almacenamiento de Dióxido de Carbono (CO₂) en sistemas salinos, por lo tanto, se considera a las plantas halófitas como una alternativa para la captura de Carbono (Olsen et al., 1996; Moreno *et al*, 2002).

Se realizó un estudio de suelo en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, con el propósito de conocer las características físico químicas del sustrato de cada zonas de marea chica, media y grande, la textura es franco, areno, arcilloso (F.A.A.). Como se observa en el Cuadro 12. Estas características físico químicas permiten conocer como está compuesto el sustrato de cada zonas de marea donde se encuentra los mangle y cuál puede ser influenciado en la acumulación de CO₂.

Los suelos de los hábitats costeros almacenan mayor cantidad de carbón orgánico. Se estima que los humedales costeros almacenan entre 12% y 50% del carbón global, (Sahagian *et al* 1998; Houghton et al., 2001; Ferrati et al., 2005; Mitsch y Gosselink, 2007; Morales, 2010).

Karmakar (1982) menciona que los residuos del mangle son el principal componente orgánico y su acumulación se atribuye a la intensa actividad biológica que acompaña su descomposición, en el período en que el suelo permanece con bajo contenido de agua.

El agua es el principal componente en suelos de humedales y las condiciones temporales a permanentes de anaerobiosis son las que determinan la mayoría de los procesos que en ellos se desarrollan (Brady & Weil, 1999; Moreno *et al*, 2002). Donde hay descomposición de materia orgánica en mayor escala así mismo habrá mayor acumulación de CO₂. Probablemente por esta razón la zona de marea chica obtuvo mayor porcentaje de CO₂ acumulado.

4.4. CO₂ acumulado por superficie total del área de estudio.

La cantidad de CO₂ acumulado en la superficie total del área en que se realizó el estudio fue de 355,069.142 g/m². Esto indica que los manglares son buenos captadores de CO₂. Que acumulan una cantidad de CO₂ bastante significativo. Se demuestra así la importancia que tienen los manglares en la captura y acumulación del CO₂, proporcionándonos un ambiente más limpio y que puedan ayudar en los efectos del cambio climático.

Según, Mitsch & Gosselink, (2000); Morales, (2010) al respecto señalan que los humedales actúan como fuente, sumidero y transformadores de materiales químicos y biológicos, se destaca su función como sumideros de Carbono y estabilizadores climáticos en escala global. Por ello, mantener los manglares es un valor agregado que cada país tiene.

Los manglares desempeñan un papel muy importante en la captura del CO₂ ya que también tienen la capacidad de remover CO₂, por medio de la fotosíntesis, biomasa viva y la fracción del suelo, que ayudan al ambiente a purificarlo de este gas contaminante que perjudica nuestros ecosistemas.

5. Conclusiones

- Los manglares capturan un porcentaje significativo de CO₂.
- *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*, son dos especies importantes para la captura y acumulación de CO₂ en nuestro ecosistema.
- El mangle que acumula mayor cantidad de CO₂ es *Rhizophora mangle*, por lo que serviría como mayor captador de CO₂ en ambientes contaminados.
- La estructura vegetal que más acumula CO₂ es el tronco y la que menos acumula es la raíz.
- La zona de marea o parcela que acumula más CO₂ fue la de marea chica, que coincide con mayor cobertura de mangle y la que acumula menor es la de marea grande.
- *Avicennia germinans* es una especie alternativa para capturar CO₂, en el caso que no esté presente *Rhizophora mangle* sin embargo el manteniendo juntas estas dos especies se potencializa la captura de CO₂, lo que contribuye a un ambiente más limpio.

6. Inferencias futuras

- Se exhorta a los futuros estudiantes que van a hacer investigaciones que realicen estudios en otros manglares para conocer si existe un mismo comportamiento.
- Que se realicen futuras investigaciones en la estimación de CO₂ en otras especies mangle existente en nuestro país, en este lugar de estudio.
- Realizar estudio que determinen la interacción que tengan los mangles entre sustrato y absorción del CO₂.
- Hacer investigaciones para conocer y comparar si existe un mismo comportamiento tanto en árboles jóvenes como adultos.

7. Referencias bibliográficas

ANAM. 2006. Levantamiento de información cartográfica y revisión de estudios realizados anteriormente sobre los manglares en Panamá. Proyecto de conservación y repoblación de áreas amenazadas del bosque del manglar del pacífico Panameño. .

ANAM. 2009. Informe final de los resultados del proyecto Fases I y II. Panamá. 40 págs.

ANAM. 2010. Atlas Ambiental de la República de Panamá. Primera edición. Novo Art, S.A. Panamá. 190 págs.

ANAM. 2013. Manglares de Panamá, Importancia, mejores prácticas y regulaciones vigentes.

Anguizola, R., V. Cedeño & G. Sopalda. 1988. Inventario de manglares de la República de Panamá. Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia". 24 págs.

Armentano, T. V. 1981. The potential significance of tropical organic soils for the carbon balance of the terrestrial biosphere.

http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=5468757

Asamblea Nacional. 2009. Acuerdo municipal N° 9, establece como Área de uso múltiple a ciertas áreas del distrito de Chame. Gaceta Oficial de la República de Panamá. N° 26301, publicada el 11 de junio de 2009. 6 pág.

Brady, N.C. y R.R. Weil. 1999. The nature and properties of soils. 9ª ed. Prentice-Hall. EUA. 881 pág.

Bridgham, S.D., Megonigal, J.P., Keller, J.K., Bliss, N.B. and Trettin, C. 2006. The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands* 26:889–916.

CATHALAC. 2007. Diagnóstico del estado actual de los manglares, su manejo y su relación con la pesquería en Panamá. (Primera etapa). Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Mundo. 125 pág.

Crooks, Stephen, Dorothee Herr, Jerker Tamelander, Dan Laffoley, and Juston Vandever. *Mitigating Climate Change through Restoration and Management of Coastal Wetlands and Near-shore Marine Ecosystems*. Environmental Department Paper 121, Washington, DC: World Bank, 2011, 59

Day, J.W., Conner, W.H., Ley-Lou, F., Day, R.H. and Machado, A. 1987. The productivity and composition of mangrove forest, Laguna de Terminos, Mexico. *Aqua. Botany* 27:267-284.

- Etesa, 2014. Hidrometeorología de Etesa Panamá.
- Ferrati, R. & Canziani, G. A. 2005 An analysis of water level dynamics in Esteros del Ibera wetland. *Ecological modeling* 186: 17-27.
- Hernández, A. P. & V. S. Weiss. 1995. Algunas comunidades macrobentónicas asociadas al manglar (*Rhizophora mangle*) en Laguna Términos, Golfo de México *Rev. Biol. Trop.* 43(1-3):117-129.
- Hernández, C., Trejos, R., Portillo, J., Verdugo, F., Zacarías, J. J. 2006. Guía de Campo - Identificación de los manglares en México. México. Universidad Autónoma de Campeche. 45 pág.
- Honorio, E.N., y Baker, T. R. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana/ Universidad de Leeds. Lima, 54 pág.
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Nogueira, M. P., van der Linden J., y Xiaosu, D. Eds., 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contributions of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 881 pág.
- INRENARE. 1991. Proyecto PD-128/91 Rev. 2 (F): Manejo, conservación y desarrollo de los manglares de Panamá. INRENARE. Panamá. 22 pág.
- INRENARE. 1996. Diagnóstico y Evaluación de las actividades dentro de las cuencas en las áreas del proyecto manejo, conservación y desarrollo de los manglares Panamá. OIMT. 1-28 pág.
- Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. 2007. Atlas Nacional de la República de Panamá. Cuarta Edición. Novo Art S.A. Panamá. 290 pág.
- Karmarkar, S.M. 1982. Senescence in mangroves. In: W. Junk, ed. *Contributions to the ecology of halophytes*. La Haya, Holanda. pág. 173.
- Mainardi, V. 1996. El manglar de Térraba Sierpe en Costa Rica. Primera edición. Costa Rica. CATIE. 91 pág.
- Magenheimer, J.F., Moore, T.R., Chmura, G.L. and Daoust, R.J. 1996. Methane and carbon dioxide flux from a macrotidal salt marsh, Bay of Fundy, New Brunswick. *Estuaries* 19:139-145.
- Mendieta, J. 2006. Las plantas en el bosque de mangle. *Tecnociencia* 8(2): 7-21.
- Mitsch, W.J., Gosselink, J.G. 2000. *Wetlands*. John Wiley & Sons Inc. New York. 920 pp.

Mitsch, W.J., y Gosselink, J.G. 2007. Wetlands. 4a Ed., Jhon Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

Morales S. 2010. Humedales Costeros De La Península De Yucatán Almacenes De Carbono, Conectividad Y Respuesta Ante Escenarios De Cambio Climático

Moreno E., Guerrero A. Gutiérrez Ma., Ortiz C., Palma D. 2002. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. 115-128 pág.

Moreno E., Guerrero A. Gutiérrez Ma., Ortiz C., Palma D. 2002. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. 115-128 pp.

Murray B.C., Pendleton L., Jenkins W.A. y S. Sifleet. 2011. *Green payments for blue carbon: Economic incentives for protecting threatened coastal habitats*. Report NI R 11-04, Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, Duke University (EE. UU.).

Olsen, M.W., Frye, R.J., y Glenn, E.P. 1996. Effect of salinity and plant species on CO₂ flux and leaching of dissolved organic carbon during decomposition of plant residue. *Plant and soil*. 179:183-188.

Roulet, N.T. 2000. Peatlands, carbon storage, greenhouse gases, and the Kyoto protocol: prospects and significance for Canada. *Wetlands* 20: 605-615.

Sahagian, D. & Melack, J. (eds) 1998. Global wetland distribution and functional characterisation: Trace gases and the hydrologic cycle. Report from the Joint IGBP/IGAC-IGAC-LUCC wetlands workshop, Santa Barbara.

Salazar, R., Soihet, C. y Méndez, J. 2000. Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Volumen 1. CATIE. Costa Rica – Turrialba. 203 pág.

Spalding, M., Kaimuna, M. y L. Collins. 2010. *Atlas mundial de los manglares*. Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT) y Sociedad Internacional para los Ecosistemas de Manglares (IMSE) (Malasia).

Suman, D. 1994. El ecosistema de manglar en América Latina y la cuenca del Caribe: su manejo y conservación. The tinker foundation. Miami, Florida – Estados Unidos. 191 pág.

Torres, Y. 2007. Los Sumideros de Carbono: Un Análisis de la Potencialidad Económica en un Bosque de Manglar del Pacífico Colombiano Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad del Valle Colombia. 92 pág.

Tribaldos, A. 2008. Guía de identificación de manglares del humedal Bahía de Panamá. Proyecto de Biomonitorio Participativo en el Humedal Bahía de Panamá. Sociedad Audubon de Panamá. Novo Art S.A. Panamá. 19 pág.

Vásquez. 2007. Producción forestal: fundamentos – antología. Primera edición. Costa Rica – San José. Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUED). 964 pág.

Yáñez A.A., R. Twilley & A. Lara- Domínguez. 2010. Impacto del Cambio Climático sobre la zona costera. Primera edición. México. 127 pág.

Yáñez A.A. 2010. Los Manglares Frente al Cambio Climático. Tropicalización Global del Golfo de México. Instituto de Ecología A. C. (CPI-CONACYT), Unidad de Ecosistemas Costeros El Haya, Xalapa, Veracruz, México. 125 pág.

ANEXOS

Cuadro 7. CO₂ acumulado en *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* en las estructuras vegetal en las tres zonas de marea.

		FACTOR A1				FACTOR A2				ΣX	ΣX ²
		B1	B2	B3	X	B1	B2	B3			
C1	R1	14,04	14,74	15,96		14,43	14,33	14,78			
	R2	9,84	16,90	15,98		16,93	10,91	18,13			
	R3	5,51	6,39	17,12		16,37	11,71	16,57			
X	29,39	38,03	49,06	116,48	47,73	36,95	49,48	134,16			
C2	R1	40,86	35,21	38,56		40,38	39,22	42,73			
	R2	38,64	37,64	36,69		38,29	41,00	33,72			
	R3	38,55	35,49	37,63		36,47	42,10	37,26			
X	118,05	108,34	112,88	339,27	115,14	122,32	113,71	351,17			
C3	R1	14,03	13,11	14,02		6,20	9,99	23,85			
	R2	7,67	14,79	13,09		9,22	13,47	21,14			
	R3	8,01	10,23	9,77		6,96	14,76	16,41			
X	29,71	38,31	36,88	104,72	22,38	38,22	61,4	122			
ΣX				560,47				607,33	1167,8	1,36x10 ⁶	

Cuadro 8. Porcentaje de materia seca obtenido en *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* entre mareas.

	Marea Chica	Marea Media	Marea Grande
% MATERIA SECA			
Hoja			
Rhizophora 1	34,17	34,87	36,33
Rhizophora2	37,86	31,06	39,52
Rhizophora3	37,43	32,34	37,32
Total	109,46/3=36,5	98,27/3=32,8	113,17/3=37,7
Avicennia			
Avicennia1	36,02	37,05	39,44
Avicennia2	31,79	40,59	40,31
Avicennia3	26,92	26,47	41,37
Total	94,73/3=31,6	104,11/3= 34,7	121,12/3=40,4
Tronco			
Rhizophora1	70,71	68,6	75,54
Rhizophora2	67,71	72,1	60,72
Rhizophora3	65,5	74,61	65,8
Total	203,92/3= 67,9	215,31/3=71,8	172,06/3=57,4
Avicennia			
Avicennia 1	71,88	63,49	68,8
Avicennia2	68,34	67,13	65,74
Avicennia3	68,18	63,75	66,87
Total	208,4/3= 69,5	194,37/3=64,8	201,41/3=67,13
Raíz			
Rhizophora1	25,89	28,66	49,8
Rhizophora2	27,08	32,34	43,54
Rhizophora3	24,87	34,92	36,2
Total	77,84/3= 25,9	95,92/3=31,9	129,54/3=43,2
Avicennia			
Avicennia 1	36,27	32,26	35,4
Avicennia2	29,61	35,2	34,99
Avicennia3	31,94		31 31,14
Total	97,82/3=32,6	98,46/3=32,8	101,53/3=33,8

Cuadro 9. Porcentaje de cenizas obtenido en *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* entre mareas.

	Marea Chica	Marea Media	Marea Grande
% CENIZAS			
Hoja			
Rhizophora 1	9,33	10,21	10,9
Rhizophora2	8,71	12,28	8,31
Rhizophora3	9,25	12,18	8,81
	27,29/3=9,1	34,67/3=11,6	28,02/3=9,3
Avicennia1	11,86	11,69	11,98
Avicennia2	14,84	11,5	12,8
Avicennia3	17,43	15,47	11,9
	44,13/3=14,7	38,66/3=12,9	36,68/3=12,2
Tronco			
Rhizophora1	1,22	1,1	2
Rhizophora2	1,82	1,53	2,69
Rhizophora3	2,73	2,15	1,68
	5,77/3=1,9	4,78/3=1,6	6,37/3=2,1
Avicennia 1	1,56	2,88	2,44
Avicennia2	1,83	2,35	2,59
Avicennia3	1,83	2,68	2,11
	5,22/3=1,7	7,91/3=2,6	7,14/3=2,4
Raíz			
Rhizophora1	15,21	11,47	8,76
Rhizophora2	11,21	9,19	7,15
Rhizophora3	12,9	9,52	7,95
	39,32/3=13,1	30,18/3=10,1	23,86/3=7,9
Avicennia 1	12,13	9,69	11,27
Avicennia2	16,41	9,74	12,45
Avicennia3	18,15	13,38	14,33
	46,69/3=15,6	32,81/3=10,9	38,05/3=12,7

Cuadro 10. Porcentaje de materia orgánica obtenido en *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* entre mareas.

	Marea Chica	Marea Media	Marea Grande
	% MATERIA ORGÁNICA		
Hoja			
Rhizophora1	24,84	24,66	25,43
Rhizophora2	29,15	18,78	31,21
Rhizophora3	28,18	20,16	28,51
	82,17/3=63,4	63,6/3=21,2	85,15/3=28,4
Avicennia			
Avicennia1	24,16	25,36	27,46
Avicennia2	16,95	29,09	27,51
Avicennia3	9,49	11	29,47
	50,6/3=16,9	65,45/3=21,8	84,44/3=28,1
Tronco			
Rhizophora1	69,49	67,5	73,54
Rhizophora2	65,89	70,57	58,03
Rhizophora3	62,77	72,46	64,12
	198,15/3=66,1	210,53/3=70,2	195,69/3=65,23
Avicennia			
Avicennia 1	70,32	60,61	66,36
Avicennia2	66,51	64,78	63,15
Avicennia3	66,35	61,07	64,76
	203,18/3=67,7	186,46/3=62,2	194,27/3=64,8
Raíz			
Rhizophora1	10,68	17,19	41,04
Rhizophora2	15,87	23,18	36,39
Rhizophora3	11,97	25,41	28,25
	38,52/3=12,8	65,78/3=21,9	105,68/3=35,2
Avicennia			
Avicennia 1	24,14	22,57	24,13
Avicennia2	13,2	25,46	22,54
Avicennia3	13,79	17,62	16,81
	51,13/3=17,0	65,65/3=21,9	63,48/3=21,2

Cuadro 11. Medidas del diámetro a la altura del pecho (DAP) de *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* en las tres zonas de marea.

Especies	Marea Chica	Marea Media	Marea Grande
Rhizophora 1	15	20	42
Rhizophora2	12	32	14
Rhizophora3	14	23	15
Total	41/3=13.7 cm	75/3=25	71/3=23.7
Avicennia1	88	66	56
Avicennia2	29	46	41
Avicennia3	100	55	66
	217/3=72.3	167/3=55.7	163/3=54.3

Cuadro 12. Características físico química del sustrato por zonas de marea.

	Textura	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Acidez	Al	Mat Org	N	H	Cu	Mn	Zn
	Árena-limo-arcilla	En agua (1.2.5)	Ppm	Ppm	Ppm	MEQ/100G	MEQ/100G	MEQ/100G	MEQ/100G	%	%	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm
Zona de marea chica	44-26-30	6.84	78.4	998	1178	14.4	3.9	0.1	0	6.4	0.15	164	3	36	14
	F.A.A.	P.A	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Alto	Medio	Medio	Alto
Zona marea media	46-28-26	6.84	88.8	1002	1480	14.9	4.2	0.1	0	6.54	0.15	167	4	38	15
	F.A.A.	P.A	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Alto	Medio	Medio	Alto
Zona marea grande	48-28-24	6.84	89.4	1018	2184	15.1	4.8	0.1	0	6.7	0.18	168	4	40	18
	F.A.A.	P.A	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Alto	Medio	Medio	Alto

Cuadro 13. Tablas de análisis estadístico de hoja, tronco y raíz

Análisis estadístico de Hoja y Sitios de muestreo

Columna1	SS	Degr. of Freedom	MS	F	P
Intercept	2942.604	1	2942.604	227.6458	0.000000
Especie	6.379	1	6.379	0.4935	0.495772
Sitio	46.371	2	23.186	1.7937	0.208186
Especie*Sitio	12.528	2	6.264	0.4846	0.627489
Error	155.115	12	12.926		

Análisis estadístico de tronco y sitio de muestreo

Columna1	SS	Degr. of Freedom	MS	F	P
Intercept	20561.54	1	20561.54	4380.436	0.000000
Especie	1.68	1	1.68	0.358	0.560857
Sitio de Muestreo	1.48	2	0.74	0.158	0.855728
Especie*Sitio de Muestreo	33.02	2	16.51	3.518	0.062766
Error	56.33	12	4.69		

Análisis estadístico de raíz y sitios de muestreo

Columna1	SS	Degr. of Freedom	MS	F	P
Intercept	2173.045	1	2173.045	268.5876	0.000000
Especie	14.868	1	14.868	1.8377	0.200181
Sitio de Muestreo	152.322	2	76.161	9.4134	0.003479
Especie*Sitio de Muestreo	74.544	2	37.272	4.6068	0.032764
Error	97.088	12	8.091		

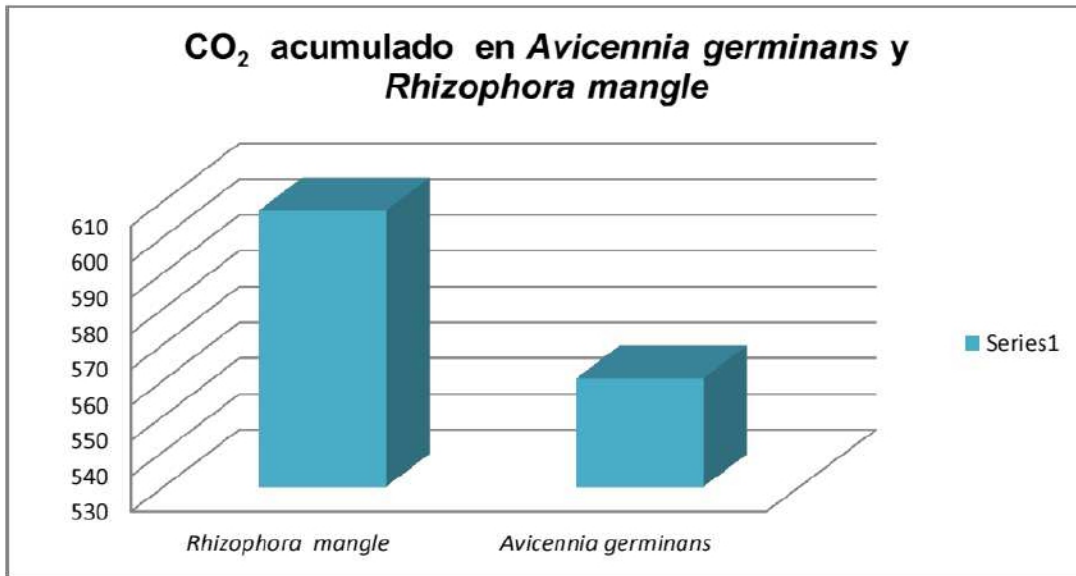


Figura. 7. Total de CO₂ acumulado en *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*.

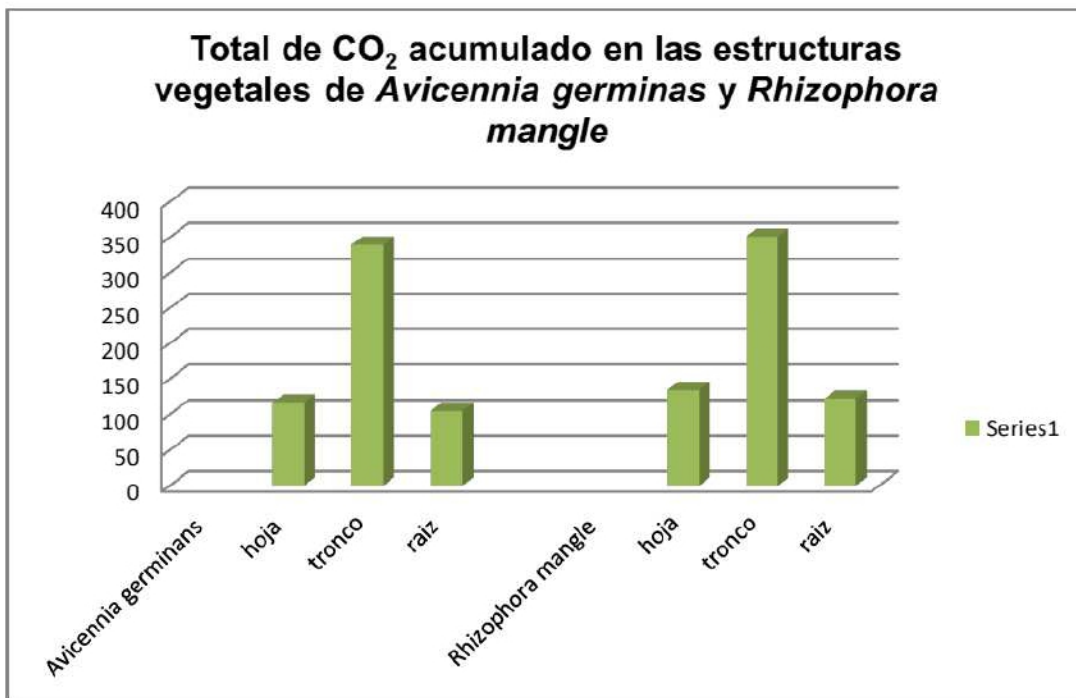


Figura. 8. Total de CO₂ acumulado por estructura vegetal en *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*.



Figura. 9. CO₂ acumulado por zonas de marea chica, media y grande en *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*.

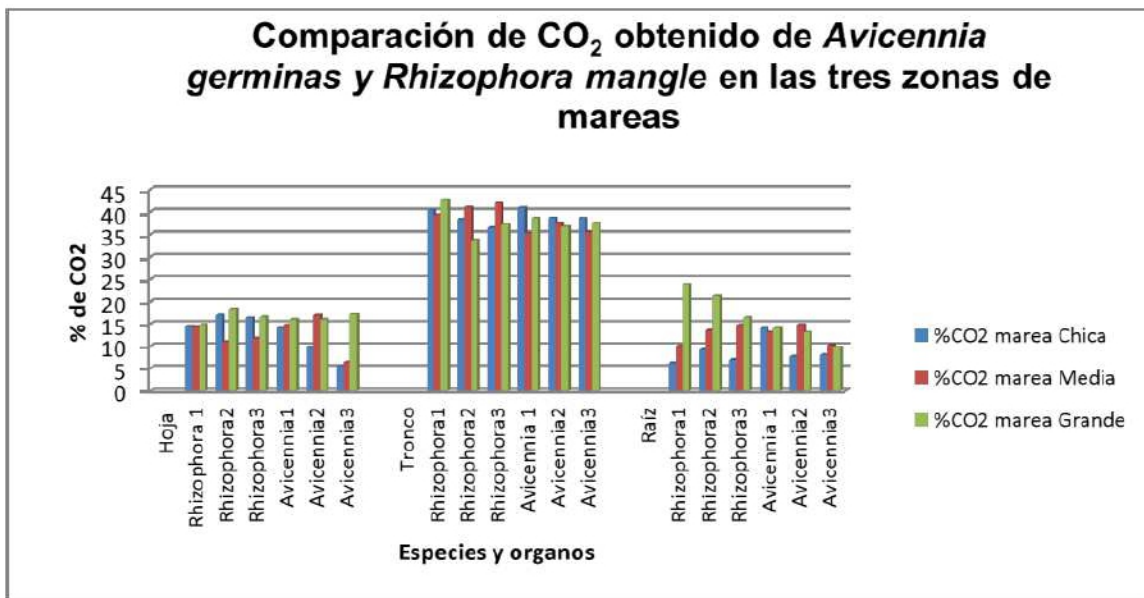


Figura. 10. Acumulación de CO₂ en *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*, según órgano vegetativo en las tres mareas chica, media y grande.

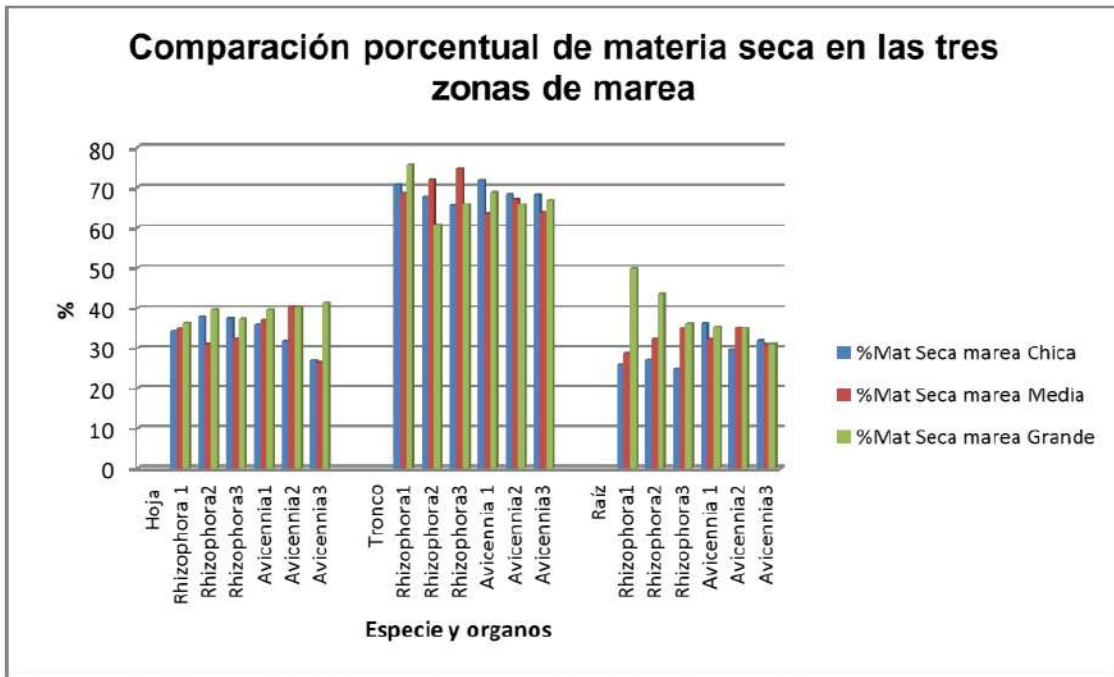


Figura. 11. Porcentaje de materia seca obtenidas *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* entre mareas chica, media y grande.

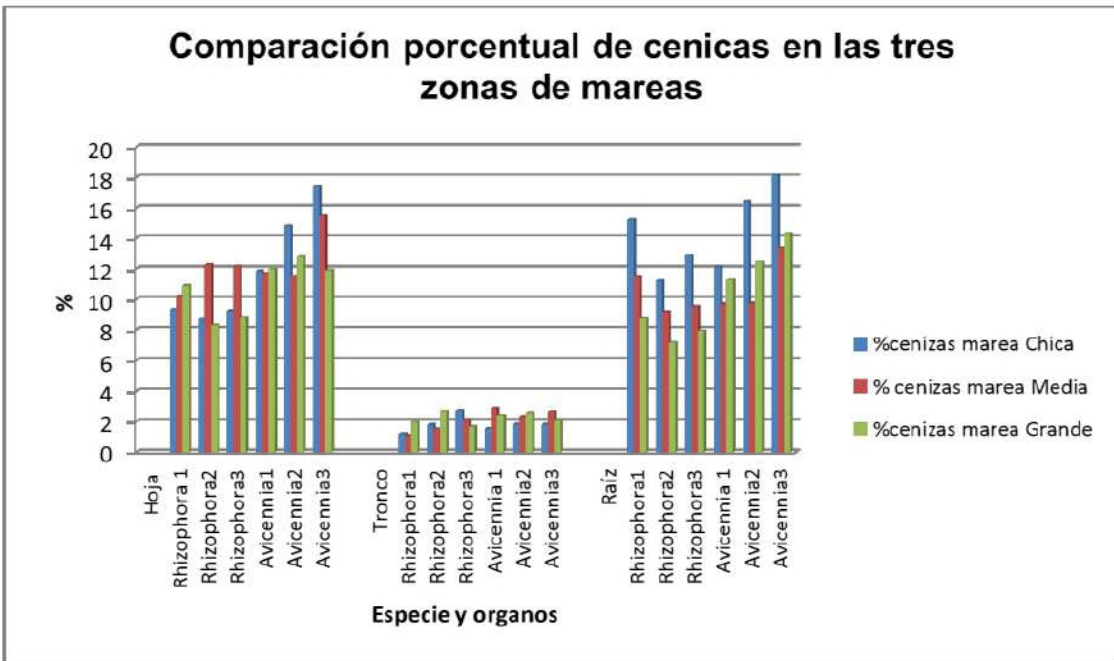


Figura. 12. Porcentaje de cenizas obtenidas de *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* entre marea chica, media y grande.

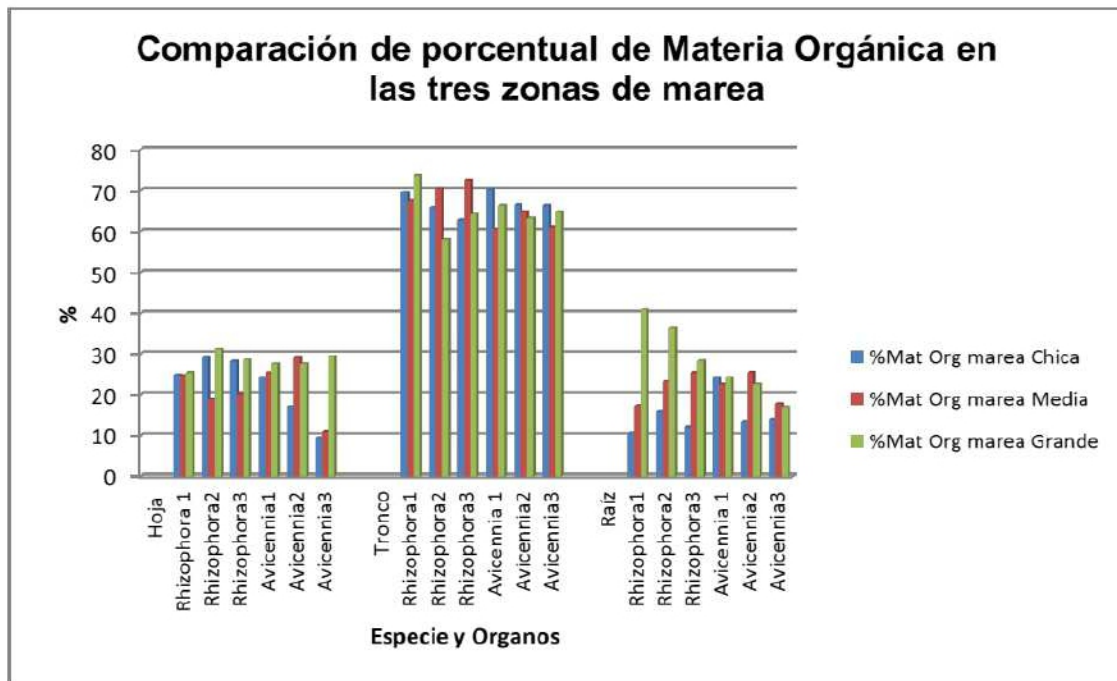


Figura. 13. Porcentaje de materia orgánica obtenidas de *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle* entre marea chica, media y grande.



A



B

Figura. 14. Fotografía de los mangles seleccionados. A). *Rhizophora mangle*. B) *Avicennia germinans*.



A



B



C

Figura. 15. Fotografía de algunas especies que se encuentran en el lugar de estudio. A). *Rhizophora racemosa*. B). *Avicennia bicolor*. C) Poaceae. *Spartina spartinae*



A



B



C



D



E

Figura. 16. Fotografía trabajo en campo. A). Foto de la distancia de las zonas de marea. B). Foto de medidas de anchura del tronco. C). Foto de la colecta de hoja. D). Foto de la colecta de tronco. E) Foto de la colecta de raíz.



A



B



C



D



E



F

Figura. 17. Fotografía trabajo en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Agropecuaria. A). Horno con muestras para secar. B). Foto moliendo las muestras secas en el molino. C). Foto de muestras molidas. D). Foto pesando las muestras molidas. E). Incinerador. F). Foto de muestras para incinerar.