

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

**Asociación de los parámetros físico-químicos del agua con la estructura y composición  
de los ensambles de manglar en la Bahía La Graciosa, Refugio de Vida Silvestre  
Punta de Manabique, Izabal, Guatemala.**

**Celeste Ligia Méndez Ortiz**

**BIÓLOGA**

**Guatemala, Julio de 2014**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA**

**Asociación de los parámetros físico-químicos del agua con la estructura y composición  
de los ensambles de manglar en la Bahía La Graciosa, Refugio de Vida Silvestre  
Punta de Manabique, Izabal, Guatemala.**

**INFORME DE TESIS**

**Presentado por**

**Celeste Ligia Méndez Ortiz**

**Para optar al título de**

**BIÓLOGA**

**Guatemala, Julio de 2014**



## **JUNTA DIRECTIVA**

Dr. Óscar Cóbar Pinto	DECANO
Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto	SECRETARIO
Lic. Liliana Magaly Vides Santiago de Urizar	VOCAL I
Dr. Sergio Alejandro Melgar Valladares	VOCAL II
Lic. Rodrigo José Vargas Rosales	VOCAL III
Br. Lourdes Virginia Nuñez Portales	VOCAL IV
Br. Julio Alberto Ramos Paz	VOCAL V



## **DEDICATORIA**

La presente tesis se la dedico a Dios, por estar en cada momento de mi vida, por brindarme la fuerza sabiduría y amor que he necesitado en cada etapa de mi vida.

A mi hijo Santiago, por ser la inspiración más grande en mi vida, por alegrar mis días y brindarme su amor. Por ser una de las razones más grandes para esforzarme cada día.

A mis padres Celeste Ortiz y José Diego Méndez por darme la vida y porque que con su esfuerzo siempre me han dado lo mejor. Les doy gracias por su apoyo y consejos que me han enseñado a luchar en la vida.

A mi hermano Kelvin, a mi sobrina Ximena y a todos mis tíos, tías, primos y primas a quienes quiero mucho.

A todas mis amigas y amigos con todo cariño: a Nora, Rosario, Jorge, Gaby, Rox, Maura, Rosita, Marito, Papita, Ángela, Carlita, Reina, Raiza y Jonathan. Por su amistad y por animarme a terminar este trabajo de tesis. Gracias por brindarme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi agradecimiento. Gracias por confiar en mí.

A mis amigas del colegio, con quienes he compartido gran parte de mi vida: Rosario, Nora, Gaby, Karen, Cecilia y Paula.

A la Universidad de San Carlos especialmente a la Escuela de Biología, por haberme permitido aprender tanto sobre la ciencia de la Biología y porque a través de mis años como estudiante y los trabajos que desempeñé aprendí mucho más de la vida.

A todos mis profesores, compañeros de la Universidad, con quienes conviví momentos alegres, divertidos, tristes y emocionantes como cuando salíamos de gira a un increíble lugar de Guatemala.

A las próximas biólogas Ángela, Bianka y María José para que su esfuerzo y experiencia en la U sea gratificante.

A mi país, Guatemala por sus hermosos paisajes y gran diversidad biológica y cultural. Por su cálida gente y hermosos poblados.

Al deporte, por enseñarme a nunca rendirme, a que no importa que tan difícil sea una carrera, lo importante es seguir avanzando y llegar a la meta aunque sea lento pero nunca rendirme.

A mis profesores y amigos Birgilio Herrera, Profe. Cordero, Jorge, Damaris, Jasmín y Roberto para quienes su vida es el deporte. Gracias por sus sabios consejos, su amistad, disciplina y duro entrenamiento que me ha hecho ser mejor.

Al arte, principalmente la música y la pintura que me han acompañado e inspirado en cada momento de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi mamá, por apoyarme económicamente para poder realizar los muestreos en la Bahía La Graciosa.

Al Dr. Jorge López Portillo del Instituto de Ecología (INECOL) de la Universidad de Xalapa, Veracruz, México por su asesoría en el diseño experimental de este trabajo de tesis.

A Carla del Cid, Jorge Jiménez y al guarda-recursos Marlon Vásquez, por su valiosa ayuda en la toma de datos en el campo.

A mi asesor Jorge Jiménez, a Maura Quezada y Claudio Méndez por su tiempo y apoyo con el análisis de resultados.

Al Dr. Juan Fernando Hernández, quien revisó este trabajo de tesis.

Al Herbario BIGU, especialmente a la Licda. Rosalito Barrios por proporcionarme el equipo que se utilizó para la toma de datos en el campo.

Al apoyo del personal administrativo de la Escuela de Biología, principalmente a Sandrita, Almita, Carlita, Mirla y Don Pedrito.



## ÍNDICE

	Página
1 RESUMEN	1
2 INTRODUCCIÓN	3
3 ANTECEDENTES	5
3.1 Humedales	5
3.1.1 Humedales marinos y estuarinos.	6
3.1.1.1 Concepto de estuario	6
3.1.1.1.1 Clasificación por mareas	6
3.1.1.1.2 Clasificación morfológica	7
3.1.1.1.2.1 Estuario dominado por el oleaje	7
3.1.1.1.2.2 Estuario dominado por la marea	7
3.2 Manglares	8
3.3 Ecología de los Manglares	8
3.4 Estructura de los Manglares	11
3.5 Clasificación de las especies de Mangle	12
3.5.1 Descripción especies de manglares de La Bahía La Graciosa	13
3.5.1.1 <i>Rhizophora mangle</i> L.	13
3.5.1.2 <i>Laguncularia racemosa</i> (L) Gaertn.	14
3.6 Trabajos hechos en Guatemala	15
3.7 Los manglares en el Caribe	16
3.8 Importancia de los ecosistemas de manglar	17
3.9 Condición actual de los manglares en Guatemala	20
3.10 Historia biogeográfica de las especies de mangle en el Caribe de Guatemala	22
3.11 Descripción del área de estudio	23
3.11.1 Laguna marino-costera, bahía la Graciosa, Izabal, Guatemala.	23
3.11.2 Cuencas	23
4 JUSTIFICACIÓN	26
5 OBJETIVOS	28
5.1 Objetivo general	28

5.2	Objetivos específicos	28
6	HIPÓTESIS	29
7	MATERIALES Y MÉTODOS	30
7.1	Materiales	31
7.2	Métodos	31
7.2.1	Diseño	31
7.2.1	Fase de campo	31
7.2.2	Análisis de las muestras vegetales	34
7.2.3	Análisis de la estructura y composición de las especies	35
7.2.4	Análisis de los parámetros físico-químicos del agua	36
7.2.5	Análisis Estadístico	36
8	RESULTADOS	39
8.1	Estructura y composición de los ensambles de manglar en la Bahía La Graciosa	39
8.2	Composición de las especies	39
8.3	Estructura de las especies	41
8.4	Análisis de los parámetros físico-químicos del agua a nivel intersticial	46
8.5	Asociación de los parámetros físico-químicos del agua con la estructura y composición de las especies	48
	Composición de las especies	
9	DISCUSIÓN	50
10	CONCLUSIONES	60
11	RECOMENDACIONES	62
12	BIBLIOGRAFÍA	63
13	ANEXOS	71

## 1. RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la asociación entre la estructura (densidad, área basal y altura) y composición de las especies de mangle con los parámetros físico-químicos del agua a nivel intersticial, tales como temperatura, pH, salinidad, conductividad, oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno y Sólidos Totales Disueltos (TDS) en nueve sitios alrededor de la Bahía La Graciosa, Izabal, Guatemala. En cada sitio se trazó un transecto lineal de 200 m paralelo a línea de la costa. Cada transecto se dividió en 10 puntos en donde se evaluó los parámetros ambientales y la estructura y composición de las especies arbóreas dentro del ensamble de manglar.

La composición de especies en la Bahía La Graciosa se encontró representada por nueve especies pertenecientes a nueve familias. Las especies más abundantes fueron el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), siendo ésta última la especie dominante. Se encontró otras siete especies pero su frecuencia fue muy baja. Los ensambles de manglar dominados por *R. mangle* como en el caso de la Bahía La Graciosa, se encuentran asociados con los mayores niveles de inundación y de menor salinidad, considerándose como una especie pionera entre los límites terrestres y marinos. Estas características reflejan que este sitio reúne las condiciones necesarias para que *R. mangle* crezca y se desarrolle ampliamente.

Se realizaron tres análisis de ordenación de Escalamiento Multidimensional No Métrico (NMDS). El primero se realizó para observar la ordenación de los nueve sitios de muestreo de acuerdo a la riqueza de especies. Este análisis reveló un ordenamiento de los transectos en dos grupos. El diagrama de agrupamientos jerárquico de Morisita-Horn revela el mismo resultado. El segundo y tercer NMDS, mostraron homogeneidad en la ordenación de los transectos de acuerdo a la estructura de las especies para el segundo NMDS y de las variables físico-químicas del agua intersticial en el tercer NMDS. Los diagramas de agrupamiento jerárquico de Morisita-Horn soportan estos resultados observando una alta homogeneidad de las variables analizadas representada en una baja disimilitud en los nueve sitios muestreados.

Se realizó correlaciones no paramétricas de Spearman para analizar la asociación entre la estructura y composición de las especies con las variables físico-químicas del agua. Los resultados mostraron valores de significancia muy bajos concluyendo que no existe asociación entre las variables correlacionadas. Este resultado revela que las variables físico-químicas del agua intersticial en la Bahía La Graciosa se mantuvieron constantes y homogéneas durante el período de estudio y no contribuyen a explicar la estructura y composición de las especies.

Sin embargo, se observó valores significativos al correlacionar la latitud geográfica y la riqueza de especies con un valor de significancia de 0.033 y la longitud geográfica con la densidad de especies dando un valor de significancia de 0.013. Este resultado corrobora el resultado del análisis de regresión de Mantel con base a las distancias euclidianas para las coordenadas geográficas y las distancias de Bray-Curtis para las densidades de las especies. La prueba de Mantel dio un valor de significancia de 0.028 confirmando que existe un patrón espacial de las densidades de las especies en La Bahía La Graciosa que no es explicado con los parámetros analizados. Este patrón podría ser explicado por otros parámetros que no fueron medidos en este estudio tales como la textura y los nutrientes del sedimento así como las concentraciones de nitratos y fosfatos del agua.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los bosques de manglar están constituidos por árboles capaces de soportar períodos de inundación frecuentes y amplias variaciones de salinidad por lo que pueden establecerse en zonas costeras y ribereñas con influencia mareal. La productividad de los manglares está entre las mayores de los ecosistemas costeros (Vélez y Polonia 2001).

Los manglares constituyen el hábitat permanente o temporal de muchas especies de plantas y animales, algunas de ellas migratorias y otras especies que actualmente se encuentran amenazadas o en peligro de extinción, como el manatí del Caribe (*Trichechus manatus*). Proveen protección a las zonas costeras, dispersando la energía generada por tempestades, oleadas y vientos fuertes (Field, 1996; Alongi, 2002). Aportan nutrientes a los arrecifes de coral, detienen el aporte de sedimento excesivo y son refugio del 90% de alevines y estados juveniles de peces marinos de importancia comercial. La fauna de los manglares ayuda a controlar las poblaciones de mosquitos que transmiten enfermedades graves como la malaria, el paludismo o el dengue; son hábitat adecuado para actividades de ecoturismo y fuente potencial de ingresos y calidad de vida para los habitantes locales; ayudan a controlar la erosión y por su ubicación en zonas bajas protegen la línea de la costa (Andrewartha y Birchch, 1954).

Uno de los problemas básicos en ecología es establecer las causas que determinan la estructura y composición de los organismos, la cual depende de una gama de factores como el origen biogeográfico de las especies, y los ecológicos como la hidrología, la dinámica de nutrientes, periodos de inundación, temperatura, humedad, factores físicos y químicos del medio, vegetación, tipo de sedimentos, dispersión e interacciones con otras especies (Krebs, 1978). En particular, la tolerancia de los manglares a los factores físicos o químicos del agua a nivel intersticial pueden limitar su estructura, composición, distribución, desarrollo y reproducción (Krebs, 1978; Moreno-Casasola, 1986).

En Guatemala se han identificado cuatro especies de mangles *Rhizophora mangle* L, *Avicennia germinans* Gaertn, *Laguncularia racemosa* L y *Conocarpus erectus* L. Los manglares del Caribe Guatemalteco han presentado cambios en la distribución y abundancia de las

especies que conforman estos ecosistemas en respuesta a los cambios climáticos pasados (Castaño, 2007) y al cambio climático actual (INVEMAR-CORPOGUAJIRA, 2006).

Adicionalmente se encuentra una disminución significativa del área cubierta por los ecosistemas de manglar, especialmente en lugares con mayor influencia antrópica directa, en respuesta a la presión ejercida sobre sus recursos. Pese a esta situación, aunado a que se desconoce la dinámica particular de los ensambles de manglar del Caribe Guatemalteco, se buscó estudiar la asociación que existe entre la estructura y composición de los ensambles de manglar con los parámetros físico-químicos del agua a nivel intersticial en nueve sitios de la Bahía la Graciosa, Refugio de Vida Silvestre, Punta de Manabique, Izabal, Guatemala.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1.Humedales**

El término humedal comprende una gran variedad de ecosistemas, por lo que su definición es algo compleja. En general, son sistemas cuyas características están determinadas por la presencia de agua, sea esta dulce, salobre o salada. Es decir ríos, lagos, lagunas, pantanos, sistemas costeros como los ecosistemas de manglar, sistemas hídricos subterráneos, arrecifes coralinos, estuarios, arroyos, turberas y manantiales (Méndez y Flores, 2001). Los humedales muestran una enorme diversidad de acuerdo a su origen, localización geográfica, su régimen acuático y químico, vegetación dominante y características de suelo o sedimento (Davis, Blasco y Carbonell, 1996).

Aunque existen varias definiciones de humedales, la más utilizada en la actualidad es la definición de la Convención Ramsar: "Son extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros" (Ramsar, 2006). Los humedales son de importancia vital, no sólo para la biodiversidad y las funciones que desarrollan a escala ecológica, sino porque proveen de funciones de apoyo y productos esenciales para las comunidades humanas. (Valdivieso, 1999).

Los humedales deben tener una o más de las siguientes características:

- a) los suelos son hidromorfos, es decir, están saturados de agua durante parte del año o bien todo el año, lo que les da una coloración con diferentes tonos de gris.
- b) debe presentar una lámina o capa de agua poco profunda o bien agua subterránea próxima a la superficie del terreno, ya sea permanente o temporal, y
- c) al menos periódicamente, el terreno debe mantener una vegetación acuática, es decir plantas que requieran de inundación para crecer y reproducirse (Moreno-Casasola, Infante, 2009).

En general se ha clasificado a los humedales en tres grandes tipos: marinos y estuarinos, Lacustres, Palustres, herbáceos, arbustivos y arbóreos. En ésta investigación solamente se describirá y detallará sobre los humedales marinos y estuarinos por estar representados en La Bahía La Graciosa (Moreno-Casasola y otros, 2009).

Los humedales marinos y estuarinos están sobre la zona costera, con acceso al mar de manera permanente o esporádica (por ejemplo por la presencia de una barra arenosa que se forma anualmente), y por lo menos ocasionalmente reciben escurrimientos de agua dulce. Ejemplo de ello son las praderas de pastos marinos, los estuarios, los manglares y las marismas.

### **2.1.1. Humedales marinos y estuarinos**

#### **2.1.1.1. Concepto de estuario**

Ha habido a lo largo del tiempo varios intentos para clasificar los estuarios en diferentes tipos, basados en las descripciones físicas y/o procesos biológicos o químicos que tienen lugar en ellos. La definición más comúnmente aceptada de estuario, es la de Cameron y Pritchard (1963): “Un estuario es un dominio de agua costero semiconfinado, que tiene una conexión libre con el mar y donde el agua de mar se diluye con el agua dulce proveniente del desagüe continental” (Dyer, 1997).

#### **2.1.1.2. Clasificación por mareas**

Davies (1964) realizó una clasificación de los estuarios basada en sus rangos de mareas:

- Micromareales < 2 m
- Mesomareales < 4 m, > 2 m
- Macromareales < 6 m, > 4 m
- Hipermareales > 6 m

### **3.1.1.1.2. Clasificación morfológica**

Dalrymple et. al. (1992) han considerado el desarrollo morfológico como parte de una secuencia evolutiva, que es determinada por la influencia de la intensidad del río, el oleaje y las mareas.

**3.1.1.1.2.1. Estuarios dominados por oleaje:** En éstos, las olas tienen un efecto importante en la boca, donde el sedimento erosionado de la línea de costa es transportado a lo largo de la playa formando una barra. Ésta estrecha la boca, y se formará hasta que las corrientes de marea que aumentan gradualmente con la disminución de la sección transversal, lleguen a un equilibrio de modo que la erosión del sedimento de la punta de la barra sea tan rápida como lo es su depósito allí debido a la deriva litoral.

**3.1.1.1.2.2. Estuarios dominados por la marea:** se forman como resultado de corrientes de marea importantes respecto al efecto del oleaje. La boca generalmente tiene bancos de arena que son alineados con el flujo de la corriente y alrededor de los cuales circula el sedimento. En la cabeza del estuario la influencia de la marea disminuye y el flujo de río se vuelve dominante. Estos estuarios suelen ocurrir en zonas de condiciones macromareales.

## **3.2. Manglares**

El término “mangle” deriva de un vocablo guaraní que significa árbol torcido y los manglares corresponden a la vegetación arbórea de la zona de mareas que corresponde al ecotono entre los ambientes marino y terrestre (Agraz-Hernández *et al.*, 2006). Ellison y Stoddart (1991) definen a los manglares como un grupo taxonómicamente diverso de árboles tolerantes a la salinidad y que crecen principalmente en regiones tropicales y subtropicales. Duke (1992) define mangle como un árbol, arbusto, palma o helecho que generalmente excede

más del metro de alto y crece en la zona intermareal en áreas marino costeras o en los márgenes de los estuarios (Snedaker, 1981).

Los manglares se consideran no sustituibles, debido a su singularidad y grado de adaptación a ambientes adversos, características logradas a través de millones de años de evolución con el medio (Day, Conner, Ley-Lou y Machado, 1986). Se consideran ecosistemas estratégicos debido a la gran variedad de bienes y servicios ambientales que ofrecen. A nivel biológico, tienen un papel importante en el ciclo del carbón dado que son sumideros de CO<sub>2</sub> y fuentes de carbón oceánico (Duke, 1992). Los manglares son hábitat de gran diversidad faunística, incluyendo mamíferos, aves, reptiles, peces, moluscos, insectos y microorganismos (Field, 1996).

A nivel socio-económico, estos ecosistemas proporcionan a las comunidades humanas locales productos forestales como carbón, leña, madera y materiales para la construcción. Así mismo, sustentan recursos pesqueros y constituyen sitios de anidación, alimentación y reproducción para cangrejos, camarones y moluscos. Por otro lado, pueden proveer protección a las zonas costeras, dispersando la energía generada por tempestades, oleadas y vientos fuertes (Field, 1996; Alongi, 2002). Las características más importantes para estos ecosistemas son principalmente la salinidad del agua, la duración y frecuencia de las inundaciones, la altura de las aguas, y temperatura, entre otras (Snedaker, 1982).

### **3.3. Ecología de los Manglares**

Los manglares alcanzan su máximo desarrollo en suelos con alturas que van entre los 0.10 y 1.50 m., sobre el nivel del mar, inundados por éste casi todo el año o por aguas salobres de los estuarios, llamados popularmente esteros o canales, formados por los ríos que desembocan en el mar (Pannier, 1972).

El componente orgánico de los sedimentos es generalmente escaso, limitado a diatomeas y partes silíceas derivadas de gramíneas; algunos sedimentos poseen un olor fuerte debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) en altas concentraciones, lo que impide muchas veces

una población muy extensa. Está comprobado experimentalmente que los manglares requieren para su óptimo desarrollo de un mínimo de cloruro de sodio, los que les hace comportarse como halófilas facultativas (resistentes a la salinidad) (Moreno-Casasola 2009).

Pannier (1972) ha constatado que el valor de la concentración salina óptima para el desarrollo de las plantas de mangle colorado no es un valor fijo sino que varía según las condiciones lumínicas del ambiente. La salinidad influye de manera determinante en la fisiología de las plantas, en particular de las diferentes especies de mangle (Moreno-Casasola 2009). El mayor nivel de concentración de solutos disueltos produce el aumento de la presión osmótica del agua, lo que se enfrenta con modificaciones tanto en las raíces finas como en los tejidos de conducción de agua y el tamaño y grosor de las hojas. En los manglares en ambientes con baja concentración de sales en el agua, por ejemplo, menores de 20 partes por mil (ppt o unidades prácticas de salinidad, ups), los individuos crecen en forma arbórea y alcanzan las mayores alturas, pero en ambientes con mayor salinidad, la altura tiende a disminuir (Snedaker, 1981).

Otro factor que afecta el desarrollo de los individuos de mangle es la textura del suelo. El mangle rojo (*Rhizophora mangle*) se distribuye generalmente en los bordes de los cuerpos de agua, en las riberas de las corrientes y en las zonas de inundación constante por el efecto de las mareas. Ésta especie se desarrolla sobre sedimentos anóxicos de textura arcillo-limoso o limosa y con alto contenido de materia orgánica. Los manglares con un bajo régimen de intensas fluctuaciones de nivel de inundación, forman bosques mixtos con mangle negro y mangle blanco. En los manglares de borde, donde se presentan derrames de petróleo crudo, ésta especie resulta muy afectada al ocluirse las lenticelas ubicadas en su raíces, pudiendo causarles daño severo (López-Portillo, 2011, p.50).

Las especies de manglar poseen adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permiten ocupar hábitats bajo condiciones especiales, tales como suelos desde limosos hasta arenosos, inestables y con baja concentración de oxígeno, en ambientes salinos y salobres. (Agraz-Hernández y otros, 2006, p.2).

Con base en la captación de iones, la captación, retención y expulsión de iones vegetales, las halófitas se han clasificado en acumuladores, excretoras y rechazadoras de iones. De acuerdo a la clasificación original, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus* son consideradas como acumuladoras, aunque recientemente se ha comprobado que *L. racemosa* es excretora (Sobrado, 2004). *Avicennia germinans* excreta las sales a través de glándulas foliares (Sobrado 2002). *Rhizophora mangle* es una especie rechazadora de iones, lo que se demuestra al analizar los sedimentos cercanos a sus raíces (Snedaker, 1982.).

Otra característica muy importante es que, a pesar de tener distinto origen filogenético, las distintas familias de mangle han adquirido adaptaciones similares a su hábitat. Una de ellas es el sistema radicular (raíces aéreas o fúlcreas de tipo zancuda), que le dan a los árboles una fijación perfecta en el sustrato fangoso (Moreno-Casasola 2009).

Éste sistema radicular presentan lenticelas que permiten la entrada de oxígeno entre los poros del parénquima (tejido fundamental blando-esponjoso de las plantas). Estas raíces están en contacto gaseoso con la atmósfera mientras existen otras sumergidas en el sustrato fangoso o en las aguas. La aireación de las raíces está influida por el ritmo de las mareas porque la concentración de oxígeno decae en las raíces sumergidas hasta el 2% mientras que cuando existe marea baja y las raíces ya no están sumergidas, el nivel de la concentración de oxígeno es alta, 18% o más. Las raíces, además, actúan como un sistema colador, reteniendo una gran cantidad de sedimentos. Los neumatóforos son grupos de raíces que captura oxígeno atmosférico y de raíces de cable y de anclado que penetran hasta 60 cm y que da estabilidad y soporte al tronco (Snedaker, 1982).

Otra característica de los manglares, es que el desarrollo de embriones no quedan en estado de vida latente dentro de las semillas, sino que prosiguen su desarrollo mientras las semillas continúan adheridas a la planta madre y se desprende de ésta en un avanzado estado de desarrollo, como puede observarse en *Rhizophora mangle*; a partir de éste fenómeno se han creado hipótesis acerca de que ésta adaptación fue creada para que la interferencia salina en la germinación sea evitada. Estas semillas o hipocótilos al caer del árbol encajan en el fango del

sustrato y comienzan a desarrollar raíces, ocurriendo así una continua regeneración del mangle rojo o colorado (Sáenz, 1984).

El manglar es refugio de peces, de una diversidad de cangrejos y de camarones, todos ellos de una gran demanda en los estuarios y por consiguiente en los manglares. Sáenz en 1984 estableció que algunos peces y crustáceos requieren para su desarrollo variaciones de salinidad, las cuales solamente las encuentran en los estuarios y, por consiguiente en los manglares (Lugo y otros 1974).

Los tejidos subterráneos de cualquier planta requieren oxígeno para la respiración. En suelos que no están anegados la difusión de gas entre las partículas del suelo puede suministrar la necesidad de oxígeno. En un suelo anegado, los espacios entre las partículas están llenas de agua. Incluso cuando el agua está saturada con oxígeno, su concentración es muy inferior a la del aire, y la tasa de difusión de oxígeno a través el agua es de aproximadamente 10,000 veces menos que a través del aire. Por lo tanto, el movimiento de oxígeno en suelos saturados es muy limitado por la respiración aeróbica de las bacterias del suelo. El resultado es que los suelos de los manglares a menudo son prácticamente anóxicos. Un método conveniente de medir el estado anaeróbico del suelo es mediante el potencial redox (reducción y oxidación). Un suelo bien oxigenado tendrá un potencial redox superior a 300 mV. Como la disponibilidad de oxígeno, el potencial redox también disminuye, de modo que un suelo de manglares anóxico puede dar una lectura de -200 mV o menos (Snedaker, 1982.).

#### **3.4. Estructura de los manglares**

La estructura de los manglares, está determinada por diversos factores como salinidad, flujos de mareas, frecuencia y periodos de inundación, clima, características físicas del sedimento, características físicas y químicas del agua, frecuencia de huracanes, parásitos y enfermedades, energía del oleaje, edad del bosque, contaminantes y otras actividades humanas (Flores-Verdugo, 1989).

Con base a la fisonomía y condiciones ambientales de los manglares, Lugo y Snedaker (1974) distinguieron 5 tipos estructurales: 1. Manglar de matorral (manglares enanos) 2. Manglar sobrelavado (manglar de inundación), 3. Manglar de cuenca 4. Manglar de borde y 5. Manglar ribereño. La Bahía La Graciosa se encuentra rodeada de mangle clasificado como manglar de borde. El manglar de borde, es el que encontramos bordeado de lagunas costeras de estuarios y bahías. Es posible observar la zonación clásica de *Rhizophora Mangle* y/o *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*. Existe pendiente topográfica e influencia de mareas.

### **3.5. Clasificación de las especies de mangle**

Chapman (1970) y Walsh (1974) reportaron 55 especies pertenecientes a 16 géneros de 11 familias. Lugo y Snedaker (1974) enumeran un total de 75 especies, 32 especies y 23 familias. Blasco (1988) indica que las plantas leñosas del manglar son 53 especies incluidas dentro de 23 géneros pertenecientes a 16 familias. Agraz-Hernández y colaboradores (2006) identificaron 69 especies núcleo (3 especies de helechos, una de palma y 65 de arbustos o árboles) correspondientes a 24 géneros distribuidos en 19 familias.

Esta discrepancia se debe en parte a la taxonomía controversial de varios géneros y especialmente a la falta de criterios para delimitar un manglar en su borde interno, que generalmente presenta una zona de transición en la que las especies halófilas (tolerantes a concentraciones altas de salinidad) se mezclan con especies de ambientes salobres o de agua dulce. Estas condiciones crean gradientes de salinidad e inundación que se desplazan en respuesta a fluctuaciones estacionales en la intensidad de las lluvias, el viento, el caudal de los ríos y la amplitud de las mareas (Cook, 1996).

El número y distribución de las especies de mangle es un problema biogeográfico, menos de 10 especies se encuentran en los Trópicos del Nuevo Mundo (Alongi, 2002).

### 3.5.1. Descripción de las especies de mangle de La Bahía La Graciosa.

En Guatemala hay cinco especies de mangle: mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle negro (*Avicennia germinans*), el botoncillo o mangle botón (*Conocarpus erectus*) y *Rhizophora harrisonii* (híbrido de *Rhizophora mangle*), (Arrecis, 1992). En la flora de Nicaragua se dice que *Rhizophora harrisonii* es un híbrido entre *Rhizophora mangle* y *R. racemosa*. Moldenke (1975) separa al género *Avicennia* de la Familia Verbenaceae creando la familia Aviceniaceae. A continuación se presenta una descripción de las familias y especies que conforman los ecosistemas de manglar en la Bahía La Graciosa.

**3.5.1.1 *Rhizophora mangle* L.** Comúnmente se denomina mangle colorado ó mangle rojo (Standley y Steyermark, 1958). Es un árbol o arbusto, halófito (tolera hábitats de agua salada), de 1.5 m hasta 30 m de altura. Tronco derecho con numerosas raíces zancudas. La corteza es rojiza con un ligero sabor amargo. Contiene de 15 a 35% de su peso seco en taninos. Ésta especie se caracteriza por tener raíces ramificadas, curvas y arqueadas, destacan las modificaciones de sus raíces en prolongaciones aéreas del tallo como zancos o prolongaciones cortas que emergen del suelo llamadas neumatóforos. Crece en una amplia variedad de ambientes acuáticos dulceacuícolas y salobres, aunque es más común como especie dominante en los manglares. Se distribuye en ambas costas del continente americano desde Florida hasta Brasil y desde Baja California hasta Ecuador, también en África (Standley y Steyermark, 1958; Novelo, 2008). Ésta especie puede usarse para restaurar terrenos degradados, mantener la calidad del agua al filtrar contaminantes y proporciona hábitat para una amplia variedad de fauna. La producción y descomposición de las hojas proporciona alimento, nutrientes y sustrato para microorganismos que son parte de la cadena alimenticia de muchas especies de importancia comercial como camarones, cangrejos y pescado. Los suelos formados bajo ésta especies se caracterizan por un

elevado pH, alta relación carbono/nitrógeno y alto contenido en azufre oxidable, nitrógeno, fósforo y carbono. Tales suelos pasan a ser muy ácidos cuando se cambia su uso para cultivos agrícolas (Novelo, 2008). Se encuentra en las condiciones de mayor inmersión del suelo y de menor salinidad, entre 0 a 37 g/l, con tolerancia de hasta 65 ups (Cintrón 1978 y Teas 1979), considerándose como una especie pionera en los límites terrestres y marinos. Esta especie presenta un mecanismo de exclusión de las sales, así como lenticelas en las raíces adventicias para captar el oxígeno atmosférico. Se desarrolla en las desembocaduras de ríos donde se forman lagunas someras con aguas salobres sujetas a la actividad de las mareas (Agraz-Hernández, 2006, p.10).

**3.5.1.2. *Laguncularia racemosa* (L) Gaertn.** Comúnmente se le llama mangle blanco (Standley y Steyermark, 1958). Árbol mediano de hasta 20 m de altura y con un diámetro a la altura del pecho de hasta 60 cm, de tronco recto, ramas ascendentes y copa redondeada y densa. Corteza externa fisurada, gris oscura, y la interna tiene un exudado rojizo. Crece cerca de los bordes de esteros o canales, en zonas ligeramente más elevadas donde el flujo de la marea es menos aparente. También comparte zonas de estuario de ríos o formaciones de arena con *R. mangle*. Crece en una amplia variedad de suelos: arenosos, arcillosos o limosos. Su distribución abarca desde el sur de Florida (EUA), a través de México, Centroamérica y las Antillas, hasta Perú y Brasil en América del Sur. Se encuentra en las condiciones de mayor inmersión del suelo, tiempo de residencia del agua y de menor salinidad entre, 0 a 42 g/l, con tolerancia hasta 80 g/l. (Jiménez, 1984). Esta especie presenta mecanismo de excreción de las sales, así como lenticelas en sus neumatóforos para captar el oxígeno atmosférico (Agraz-Hernández, 2006, p.10). En Guatemala se distribuye en los estuarios de la Costa Sur y del Caribe. Al igual que *R. mangle*, la tala excesiva y la conversión de extensos bosques de mangle por fincas

camaroneras y salineras han perjudicado el ecosistema reduciendo sus poblaciones.

### **3.6. Trabajos hechos en Guatemala**

Existen pocas investigaciones sobre la biología y ecología de manglares del Atlántico de Guatemala, la mayoría de esfuerzos se han enfocado en estudios de conservación de manglares de las zonas marino-costeras del Pacífico del país. Entre los ejemplos de investigaciones relacionadas con manglar en la zona marino-costera del Pacífico de Guatemala, se puede encontrar la tesis de licenciatura de Godoy (1980), quien realizó una investigación sobre la distribución, composición florística y análisis estructural del manglar en Las Lisas en el cual se reportan siete especies de mangle concluyendo que la distribución de los mismos es influenciada por las condiciones ambientales del área, además que algunas de éstas variaciones puede deberse al grado de intervención humana.

En 1984, Sáenz estudio la relación entre algunos parámetros físico-químicos del ecosistema estuarino y su relación con el desarrollo de *Rhizophora mangle* L en el manglar de Las Lisas en el Pacífico de Guatemala. En el año 1992, Arrecis (1992) realizó un estudio sobre la situación actual del manglar en Manchón Guamuchal, San Marcos, Retalhuleu, reportando cuatro especies de mangle. Además, se cuantificó la cobertura de manglar y se tomó en el campo algunos factores ambientales. En el año 2,000 se desarrolló un Proyecto sobre el aprovechamiento sostenible de los recursos asociados a los manglares del pacífico de Guatemala conocido como proyecto Manglares o Manglares del Pacífico. El Proyecto fue desarrollado por iniciativa de la Oficina Regional para Mesoamérica de la Unión Mundial para la naturaleza UICN/ORMA y cuyo objetivo primordial fue contribuir a la conservación y protección del medio ambiente natural del manglar de la Costa Pacífica guatemalteca y en algunos casos, recuperar situaciones de deterioro existentes y contribuir al desarrollo económico, social y cultural de las comunidades costeras.

Por otro lado, han existido esfuerzos por conocer la diversidad de especies de macroinvertebrados asociados a los ecosistemas de manglar. Yon (1998) realizó una evaluación

del cultivo de ostión de manglar (*Crassostrea rhizophorae*), como una alternativa económica rentable en el área de trabajo en la zona marino-costera del atlántico de Guatemala. Incluyendo dentro del estudio tanto aspectos biológicos, de cultivo, aceptabilidad del ostión, así como de mercadeo del mismo.

De los pocos estudios elaborados en el país sobre la relación de las variables ambientales y el desarrollo de los ecosistemas de manglar, puede mencionarse el elaborado por Sáez (1984), quien abordó el estudio de algunos parámetros físico-químicos del ecosistema estuarino y su relación con el desarrollo de *Rhizophora mangle* en el manglar de Las Lisas, en la Costa Pacífica de Guatemala.

Arrivillaga (1999), a través de la Evaluación Ecorregional del Arrecife Mesoamericano identificó 30 potenciales elementos de conservación para el Caribe, mencionando a los manglares como uno de los principales, ya que, estos ecosistemas sirven como áreas de cría de especies de importancia comercial como el caracol rosado (*Strombus gigas*), langosta de espinosa (*Panulirus argus*), meros (*Serranidae*) y pargos (*Lutjanidae*) y para otras especies de importancia recreativa como robalo (*Centropomus sp.*), sábalo (*Megalops atlanticus*) y macabí (*Albula vulpes*). El Caribe Mesoamericano está representado por cuatro géneros de mangles: *Rhizophora*, *Avicenia*, *Laguncularia* y *Conocarpus* distribuidos en aproximadamente 300,000 hectáreas y un gran número de parches (The Nature Conservancy, 2008).

### **3.7. Los manglares en el Caribe**

Según Bossi (1990), en algún momento de la historia más del 60 % de las costas tropicales del mundo estuvieron cubiertas por manglares. Sin embargo ésta cobertura se ha visto perturbada por diversos factores como la urbanización y la erosión. En la región del gran Caribe, la cobertura es variada abundando donde existe un relieve plano, un gran flujo mareal y aportes constantes de agua dulce (Gilman, Ellison, Duke y Field, 2008.).

Los manglares pueden ser encontrados desde las costas oeste y sur de la Florida en el Caribe del Continente Americano, en los cayos de la Florida, costas de México y en el golfo. Luego se le puede encontrar en el Caribe de Belice y sus cayos pasando por Guatemala, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá. Estos manglares y los sistemas arrecifales sirven de santuario para aves migratorias y animales en peligro de extinción. Luego en Sudamérica se le puede encontrar en el sistema de lagunas Ciénaga Grande en la costa norte de Colombia y luego en las lagunas costeras y estuarios de los ríos San Juan y Orinoco en Venezuela. (Alongi, 2002).

En las costas de Guyana, Surinam y Guyana Francesa se encuentran vastas extensiones de mangle que se distribuyen tierra adentro hasta donde se consigue la influencia del mar. (Gilman y otros 2008).

### **3.8. Importancia de los ecosistemas de manglar**

En el mundo, los manglares representan solamente 1% de los bosques tropicales (16 millones de hectáreas). Estos ecosistemas así como otros humedales costeros son muy importantes para la biodiversidad y para las comunidades humanas que viven de sus recursos en las regiones tropicales y subtropicales (Field, 1996).

Los manglares son uno de los ecosistemas más productivos del planeta (24 ton/ha/año) con una productividad anual similar al más productivo de los cultivos como la caña de azúcar (20 ton/ha), e incluso ocho veces superior al más eficiente de los pastizales para ganado (3 ton/ha) (Hebrew University of Jerusalem, 1984). Como consecuencia de esta elevada productividad, los manglares sostienen importantes pesquerías en las lagunas costeras así como de la zona marina adyacente (Cámara y Diaz 1997).

Muchos organismos de importancia pesquera viven toda su vida o parte de ella en lagunas costeras con manglares en sus riberas. Algunos ejemplos podríamos mencionar, el camarón (en sus fases juveniles), ostión, mejillón, pata de mula, lisa y mojarra, entre otras. En el caso del camarón (*Litopenaeus spp.*), en sus estados larvarios y juveniles se dirige a las

lagunas costeras, donde se alimenta hasta ser pre-adultos y adultos listos para salir al mar a desovar, por lo que la interrupción de su ciclo de vida debido a la sobrepesca en las lagunas, a la contaminación de éstas, a su rápido asolvamiento, a la reducción de los aportes por ríos y arroyos por la construcción de presas, así como a la deforestación de manglar, afectaría de manera significativa al recurso, tanto en la laguna como en alta mar, ya que, aseguran la sustentabilidad de la pesca regional y constituyen zonas de desove y crianza de especies de importancia comercial (Turner y Lewis, 1997).

Por lo anterior, es lógico inferir que la destrucción de los manglares impactaría negativamente a las pesquerías locales y de alta mar. Algunos autores estiman una pérdida anual de más de 800 kg de camarón y pescado de valor comercial por cada hectárea de manglar destruido (Morales, 1979).

Los manglares constituyen el hábitat permanente o temporal de diversas especies de plantas y animales, así como de especies migratorias y otras especies que actualmente se encuentran amenazadas o en peligro de extinción, como el manatí del Caribe (*Trichechus manatus*), el cocodrilo de río o cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*), así como el jaguar (*Pantera onca*) y el ocelote o margay (*Leopardus wiedii*) (The Nature Conservancy, 2008).

Los humedales en general y los manglares en particular, proporcionan servicios ambientales a la humanidad; actúan como biofiltros de aguas de desecho y amortiguan los efectos de ciclones y tormentas tropicales; almacenan carbono, nutrientes y sedimento, aportan nutrientes a los arrecifes de coral y detienen el aporte de sedimento excesivo, son refugio del 90% de alevines y estados juveniles de peces marinos de importancia comercial; representan zonas de refugio, alimentación y reproducción de una gran variedad de moluscos y crustáceos de importancia económica; fuente de recursos básicos como carbón, leña, madera, taninos, peces y moluscos; la fauna de los manglares ayuda a controlar las poblaciones de mosquitos que transmiten enfermedades graves como la malaria, le paludismo o el dengue; son hábitat adecuado para actividades de ecoturismo y fuente potencial de ingresos y calidad de vida para los habitantes locales; ayudan a controlar la erosión y por su ubicación en zonas bajas protegen la línea de la costa. Estos beneficios son conocidos como servicios ambientales (Field, 1996).

Por los servicios ambientales que proporcionan los humedales, son considerados ecosistemas prioritarios para ser conservados. La desaparición de humedales (entre ellos los manglares-humedales tropicales de ambientes salinos) deriva en grandes costos a la economía regional y nacional, por los fuertes cambios de la topografía costera. Además, las poblaciones que se instalan en zonas de manglar y en las riberas de los ríos, son muy susceptibles a efectos devastadores de ciclones o huracanes. Los manglares entonces, son considerados ecosistemas prioritarios y es por eso que mantener sus características hidro-ecológicas y planear su uso adecuado y sostenible es fundamental para reconocer los múltiples servicios ambientales que brindan en el ámbito estatal y nacional, así como para asegurar políticas que aseguren su conservación (López-Portillo *et al.*, 2011, p.30-31).

Como consecuencia del desconocimiento de la importancia de estos ecosistemas y por la dificultad de evaluar sus beneficios indirectos, extensas zonas de manglar han sido destruidas por diversas causas, como el desarrollo portuario, petrolero, agropecuario, acuícola, modificando la composición y distribución de las especies de manglar. (Olson *et al.*, 1996).

En el ámbito mundial, se estima una destrucción aproximada de 35% de los manglares en los últimos 20 años (1.75%/año). En 1982 se estimaba una pérdida anual de 1%, cifra que prácticamente se ha duplicado en los últimos 20 años. La principal causa se le atribuye a la camaronicultura con 38% (Tabilo-Valdivieso, 1999).

El establecimiento del manglar está determinado por diversos factores ambientales como el clima, los procesos geomorfológicos y evolutivos, el período de inundación o hidroperíodo (frecuencia y duración de la inundación de cierta área), la disponibilidad de nutrientes provenientes de los ríos, del manto freático y de los escurrimientos terrestres, la salinidad intersticial y del agua, la luminosidad, el oleaje y corrientes, el viento, el tipo de suelo, las enfermedades y la herbivoría; así como por impactos negativos directos derivados de la actividad humana, como la ampliación de la frontera agropecuaria y acuícola, los asentamientos humanos, portuarios y turísticos, la extracción excesiva de madera, la construcción de bordos y canales interiores, los tapas y sierras, así como también los impactos

indirectos como la erosión de suelos de la cuenca, la construcción de presas, la desviación de ríos, la apertura/clausura total o parcial de bocas, ríos y arroyos por escolleras y bordos y la contaminación del agua (Alongi, 2002).

### **3.9. Condición actual de los manglares en Guatemala**

Los manglares de Guatemala se encuentran distribuidos principalmente en la región litoral del Pacífico y en menor proporción en el Caribe. Los del Pacífico se encuentran distribuidos en esteros a lo largo de la costa de los departamentos de San Marcos, Retalhuleu (38% del total), Escuintla (23%), Santa Rosa (20%) y Jutiapa (19%). En el Caribe se encuentran algunos remanentes de mangle en los sistemas de lagunas del Río Sarstún, bahías de Santo Tomás de Castilla y La Graciosa, en el departamento de Izabal. El estimado más reciente de cobertura de manglares en el país correspondiente al año 2007 de acuerdo a The Nature Conservancy (2008), es de 161 ha para el Caribe y 21,682 para el Pacífico.

En general, se ha perdido cerca de la mitad de la cobertura de manglar en un período de 60 años (The Nature Conservancy, 2008). Se reportan cinco especies de mangle para Guatemala en el Pacífico: *Rhizophora mangle*, *Rhizophora harrisonii*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*. En el Caribe no existen reportes de *C. erectus* y tampoco hay registros documentados de *R. harrisonii* (Arrecis, 1992).

La riqueza del manglar como ecosistema radica en el considerable número de especies de fauna y flora que dependen de él en alguna parte de su ciclo de vida, más que en el número de árboles y arbustos considerados como mangle. Muchas de las especies de fauna asociadas al manglar se encuentran en peligro por pérdida de hábitat o comercialización ilícita principalmente, y están incluidas en la Lista Roja del CONAP, Apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) y la Lista Roja de la UICN (The Nature Conservancy, 2008).

En la zona marino-costera está representada el 83% de la ictiofauna guatemalteca. Un reciente estudio de ictiofauna asociada a las raíces de mangle en dos áreas del Pacífico

(Quintana, 2007) registró un total de 36 especies pertenecientes a 20 familias. Dicho estudio subraya que los individuos juveniles fueron los principales usuarios de las raíces del mangle rojo. El manglar representa un hábitat sumamente importante para un grupo numeroso de aves, que dependiendo de los autores incluye entre 110 a 150 especies para la vertiente del Pacífico y 88 especies para el Caribe, lo cual constituye aproximadamente el 55% de la riqueza reportada para el país (Heyman y Kjerfve, 1999).

El Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas –SIGAP– cuenta con ocho áreas que contienen zonas de manglar. En el Pacífico se encuentran el Parque Nacional Sipacate-Naranjo (2,000 ha de extensión), Área de Uso Múltiple Monterrico (2,800 ha), Reserva Natural Privada Canaima (25 ha) y Reserva Natural Privada La Chorrera-Manchón Guamuchal (1,243 ha). Las cuatro áreas protegidas en la zona del Caribe son el Biotopo Protegido Chocón Machacas (6,265 ha), Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil (47,433 ha), Área de Uso Múltiple Río Sarstún (35,200 ha) y Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique (151,878.45 ha). Tres de las áreas protegidas en el país que incluyen manglares cuentan además con el reconocimiento internacional de Sitios Ramsar: Manchón-Guamuchal incluido en la Lista de Humedales de Importancia Internacional en 1995, Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique (2000) y Área de Usos Múltiples Río Sarstún (2007) (ONCA 2001).

Entre las amenazas para el mangle en Guatemala se incluyen su uso no racional para la producción de carbón y leña, utilización como tutor en cultivos y corte para la construcción de viviendas. Sin embargo, el mayor problema para este ecosistema lo constituye el cambio de uso de la tierra para usos agropecuarios, el establecimiento de salineras, la construcción de camaroneras y centros turísticos. En las partes altas de las cuencas, la deforestación creciente y el manejo inapropiado de los suelos aumentan la erosión y el transporte de sólidos hasta el litoral. La contaminación por residuos líquidos, tanto residuales como industriales, es otra de las amenazas al ecosistema (Arrecis 1992).

### 3.10. Historia biogeográfica de las especies de mangle en el Caribe de Guatemala

La consolidación de Centro América como istmo, es la explicación más probable de la riqueza de especies de mangle que se encuentran en el Caribe y el Pacífico de Guatemala. Hace aproximadamente 3.5 millones de años, las especies de manglar (*Rhizophora*, *Avicennia*, *Laguncularia* y *Pellicera*) se encontraban ampliamente distribuidas en el Caribe y el Pacífico. Anteriormente el istmo estaba representado por una cadena de islas volcánicas a través de las cuales existía una comunicación entre el Atlántico y el Pacífico por lo que las especies de manglar, se encontraban ampliamente distribuidas en el Caribe y el Pacífico. (Rull, 1998).

Un considerable número de elementos florísticos y faunísticos desaparecieron de la cuenca del Caribe durante el Mioceno debido a que ocurrió un cambio climático progresivo hacia climas secos estacionales evidenciado por un aumento del polen de pastizales en el área del Caribe. (Flenley, 1979; Pregill y Olson, 1981). Este cambio hacia climas secos estacionales culminó con las glaciaciones ocurridas en el Pleistoceno (Germeraad *et al.*, 1968).

La aridez glacial del Plioceno debió afectar tanto los manglares del Pacífico como los del Caribe. Sin embargo, la región del Chocó, en la costa Pacífica de Colombia, parece haber mantenido altas precipitaciones. Por consiguiente se lograron conservar ambientes salobres que funcionaron como refugio para algunas especies de manglar restringidas a suelos con salinidades menores a las 35 ‰ (Jiménez, 1984). Además de permitir la supervivencia de estas especies, esta región promovió el surgimiento de nuevas especies a partir de ancestros encontrados tanto en el Pacífico como en el Caribe. El surgimiento y consolidación del istmo centroamericano separó definitivamente la flora del pacífico, impidiendo que estas nuevas especies colonizaran el Caribe Centroamericano. Estas nuevas especies, dieron su característica identidad y mayor diversidad a la flora de los manglares del Pacífico (*Phryganocidia phellosperma*, *Mora oleifera*, *Pavonia rhizophorae*) (Gentry, 1982).

Con el advenimiento de climas más húmedos, después del Pleistoceno, las especies de esta región fueron colonizando aquellas secciones del litoral Pacífico influenciadas por climas húmedos (Costa Rica, Panamá, Colombia y Ecuador). Los sucesos climáticos asociados al

periodo glacial del Pleistoceno diferenciaron, florísticamente, los manglares del Caribe y del Pacífico; pero al mismo tiempo originaron, en la ya consolidada costa Pacífica de Centro América, dos grupos florísticos de manglares: **1)** especies restringidas a climas secos estacionales (*Avicennia bicolor*, *Clerodendrum pittieri*) y **2)** especies limitadas a climas lluviosos (*Pelliciera rhizophorae*, *Mora oleifera*). Estos grupos restringidos climáticamente, están acompañados por un núcleo de especies que trascienden estas fronteras (*Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*) (Rull, 1998).

### **3.11. Descripción del área de estudio**

#### **3.11.1. Laguna marino-costera, bahía la Graciosa, Izabal, Guatemala.**

El área de estudio está localizada al noreste del territorio nacional, en el departamento de Izabal, en la costa atlántica, dentro del Refugio de vida silvestre Punta de Manabique (Figura 1). Bahía La Graciosa es una laguna costera poco profunda, rodeada de bosques de manglar con *Rhizophora mangle* como especie dominante. Los sustratos arenosos dominan la boca de la bahía, mientras que en el interior está dominado por sustratos de limo y arcilla. La bahía tiene una profundidad media de dos metros, con una profundidad máxima de 9 metros. El rango de mareas es pequeño con un máximo de un metro. La principal influencia de agua dulce es el área de Río Dulce, el cual está ubicado al este de la costa atlántica. La particularidad del área se debe a la configuración, posición geográfica, relaciones orográficas, naturaleza del sustrato y nivel freático muy alto. (Arrivillaga y Baltz, 1999).

#### **3.11.2. Cuencas**

La hidrología en la Reserva de Vida Silvestre Punta de Manabique está directamente afectada por la dinámica en la parte alta de la cuenca, desde los sitios de mayor susceptibilidad a la erosión de Guatemala. El Motagua es el río de mayor caudal en el área. Parte del material que acarrea el río Motagua está formado por desechos y aguas servidas recogidas a lo largo de su recorrido, especialmente de la ciudad de Guatemala y las zonas agrícolas del Valle del Motagua. El delta del río Motagua y hacia el Oeste, la planicie que contiene las cuencas de los ríos Motagua Viejo, San Francisco, Piteros y Canal Inglés, junto a la mitad final del valle del

Motagua pertenecen a la Provincia Fisiográfica denominada Depresión del Motagua. Los ríos Pichilingo y Machacas, que desembocan en la Bahía de Amatique, corresponden a la paralela Depresión de Izabal. El trabajo erosivo y la acumulación de aluviones son elementos clave en la interpretación de la Punta de Manabique como una gran llanura de inundación. En el extremo Nororiental hay intensa deposición de sedimentos y en el paisaje son típicos los recovecos o sinuosidades de ríos bien desarrollados, tanto como los abandonados: lagunas en herradura y recovecos fósiles (CECON-CDC, 1992).

Los ríos más importantes son: Motagua Viejo, San Francisco y Piteros, que desembocan en el Golfo de Honduras; el Machacas, en el sector Occidental descarga a la Bahía de Amatique. Existen corrientes pequeñas, de entre uno a cinco kilómetros de longitud, tales como el Río Chiquito (afluente del Motagua), Estero Motaguilla, Estero Guineo, San Francisco del Mar (desemboca unido a los ríos Piteros y San Francisco), Creek Grande (desemboca en el Canal Inglés) y los ríos Pioquinto y Creek Negro, que recorren la zona pantanosa Occidental al Sur del Machacas (Palacios 2003).

El Golfo de Honduras es una proyección del Mar Caribe, que recibe varias corrientes continentales importantes. Entre ellas están, desde el Noroeste, los ríos Sarstún, Dulce y Motagua; corrientes secundarias son Piteros y Motagua Viejo. La conformación geográfica del Golfo y la gran cantidad de agua que le llega desde tierra, provoca un marcado descenso de la salinidad. El flujo de agua dulce de las áreas más lluviosas del Sur de Belice, Guatemala y Honduras eleva el nivel del flujo hacia el Este, conduciendo corrientes superficiales que salen del interior del Golfo de Honduras. En respuesta a los ocasionales vientos del Sur, aguas oceánicas, profundas, claras y ricas en nutrientes van de la fosa Cayman y entran al Golfo fluyendo al Oeste. La circulación del Golfo de Honduras es dominada por un giro de circulación en contra de las agujas del reloj (Heyman y Kjerfve, 1999).

Existen cuerpos de agua afectados por lentos flujos y reflujos, dispersos en toda el área y que en el pasado fueron o ensanchamientos fluviales o cauces secundarios de ríos. Entre las mayores se encuentran la Laguna Santa Isabel, la parte final del río San Francisco del Mar y la Laguna Jabalí. Esta se localiza a 5 km en línea recta al norte del casco de la finca La Inca. Estos

cuerpos hídricos son importantes para el mantenimiento de la fauna silvestre regional (CECON-CDC, 1992).

El Canal Inglés es una vía acuática de aproximadamente 10 km de longitud, el cual comunica a la Laguna Santa Isabel con la Barra de Jaloa. El Canal debe su nombre a que durante los años 1900 - 1905 los ingleses abrieron un canal de aproximadamente 20 metros de ancho, desde la Laguna Santa Isabel hasta el Río Piteros donde continuaba hasta el mar, esto, con el propósito de extraer madera (Caoba) del bosque. El Canal es en su mayor extensión artificial, dicha sección corresponde a la comprendida entre el Río creek Grande y Río Piteros (Palacios 2003).

La sección este del Canal se une al cauce natural del Río Creek Grande que desemboca hacia la Laguna de Santa Isabel y esta a su vez se comunica a la Bahía La Graciosa. La sección oeste del Canal se conecta con el Río Piteros el cual al unirse posteriormente con el Río San Francisco desemboca hacia la Barra de Jaloa y posteriormente hacia el mar. Su existencia hace que la península Punta de Manabique estacionalmente se convierta en una isla, separada del continente por medio de una franja acuática angosta. Por su importancia como vía pública de transporte y por la belleza de su paisaje, los pobladores aledaños están interesados en que dicho canal cuente con mantenimiento continuo, pues actualmente es muy difícil y riesgoso transitarlo (ONCA, 2001).



**Figura 1.** Mapa del área de muestreo: Bahía La Graciosa, Punta de Manabique ubicada dentro de la Zona Marino-Costera del Caribe de Guatemala (ARC MAP 9.2).

#### **4. Justificación**

Los manglares se consideran ecosistemas estratégicos debido a la gran variedad de bienes y servicios ambientales que ofrecen. Se consideran no redundantes o no sustituibles, debido a su singularidad y grado de adaptación a ambientes adversos, características logradas a través de millones de años de evolución con el medio (Pool, Lugo, y Snedaker, 1975). A nivel biológico, tienen un papel importante en el ciclo del carbón dado que son sumideros de CO<sub>2</sub> y fuentes de carbón oceánico (Alongi, 2002). Son hábitat de gran variedad de mamíferos, aves, reptiles, peces, moluscos, insectos y microorganismos (Pool, Snedaker, y Lugo 1977). A nivel socio-económico, estos ecosistemas proporcionan a las comunidades humanas locales productos forestales como carbón, leña, madera y materiales para la construcción. Por su productividad, sustentan recursos pesqueros y constituyen sitios de anidación, alimentación y reproducción para peces, cangrejos, camarones y moluscos. Proveen protección a las zonas costeras, dispersando la energía generada por tempestades, oleadas y vientos fuertes (CONABIO, 2008, p.10; López-Portillo et al., 2011, p.31).

Los manglares de la zona marino-costera del Caribe de Guatemala tienen un considerable valor ambiental y económico. No obstante, las condiciones del ecosistema se están deteriorando por la intensa presión humana local (Windevoxhel y otros, 2009). Lo anterior, aunado a la vulnerabilidad de la zona ante fenómenos naturales, genera efectos adversos en el complejo manglar-estuario, entre los que destacan: 1. reducción en la diversidad y calidad de sus recursos, 2. disminución de la capacidad de amortiguamiento de los manglares hacia los efectos de las inundaciones por disminución de cobertura vegetal y la erosión acelerada de los suelos, 3. contaminación del agua, suelo y aire ocasionado por el mal manejo de desechos sólidos y aguas negras humanas, 4. disminución de la abundancia de las especies de interés comercial, con la consecuente disminución de ingresos para pescadores artesanales y su pérdida de calidad de vida (Flores-Verdugo, 1989).

Dada la importancia de los manglares en el Caribe de Guatemala y debido a los vacíos de información que existen en el área, fue vital conocer las características hidro-ecológicas que existen dentro de los bosques de manglar de esta zona para poder planear un uso adecuado y

sostenible para asegurar políticas que busquen su conservación. Ésta investigación tuvo como objetivo establecer la asociación entre algunos parámetros físico-químicos del agua y la estructura y composición las comunidades de manglar en la Bahía La Graciosa, Refugio de vida Silvestre Punta de Manabique, Izabal, Guatemala. Se espera que en el futuro, la información generada a través de ésta investigación sea de utilidad para que se formulen planes y programas de conservación y manejo de estos importantes ecosistemas.



## **5. Objetivos**

### **5.1. Objetivo general**

Determinar la asociación entre la estructura y composición de los ensambles de manglar y los parámetros físico-químicos dentro de la Bahía La Graciosa.

### **5.2. Objetivos específicos**

**5.2.1.** Determinar la estructura y composición de los ensambles de manglar presentes dentro de la Bahía La Graciosa.

**5.2.2.** Analizar la asociación entre los parámetros físico-químicos del agua y la estructura y composición de las comunidades de manglar alrededor de la Bahía La Graciosa.



## **6. HIPÓTESIS**

Hay una asociación entre la estructura y composición de las comunidades de manglar y los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, salinidad, conductividad, oxígeno disuelto y nivel de agua) en la en la Bahía la Graciosa, Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, Izabal, Guatemala.



## **7. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **7.1. Materiales y equipo**

Nucleador de sedimentos

Sonda multiparamétrica HACH

Disco de Secchi

Sistema de Posicionamiento Global (GPS Garmin 76 Csx)

Cámara digital marca Sony serie H-7

Esteroscopio trilocular Motic con cámara

Computadora hp Pavilion

Impresora Canon MP 140

Lancha de 26 pies de largo con motor de 4 tiempos y 70 caballos de fuerza.

Cinta métrica de 50 m

Cruceta para marcar transectos

Boletas de campo

Bolsas para guardar muestras de mangle

Botellas de polietileno

Hielo

Bolsas ziploc

Marcadores permanentes

Tijeras de podar

Tijera podadora de árboles

Cinta de marcaje

Prensa de Herbario

Procesador de palabras Microsoft Office Word 2007

Hoja de cálculo Microsoft Office Excel 2007

Flora de Guatemala de Standley, P.y Steyermark (1958).

Guía de campo para la identificación de manglares de Agraz-Hernández y otros (2010).

## **7.2. Métodos**

### **7.2.1. Diseño**

**Universo:** comunidades de manglar de la Bahía La Graciosa, Refugio de vida Silvestre, Punta de Manabique, Izabal, Guatemala.

**Muestra:** especies de mangle alrededor de la Bahía la Graciosa.

**Unidad muestral:** transecto lineal de 200 m paralelo a la línea de la costa en los nueve sitios de muestreo.

**Lugar:** Bahía La Graciosa, Punta de Manabique, Izabal, Guatemala

**Temporalidad:** época seca (febrero de 2013).

**Sitios de muestreo:** 9 sitios de muestreo rodeando la Bahía La Graciosa, Izabal, Guatemala.

**Covariables:** nivel del agua, temperatura, pH, salinidad, conductividad, oxígeno disuelto y TDS de agua intersticial.

**Variables dependientes:** estructura de comunidades de manglar: 1) densidad y 2) área basal. Composición: 1) Riqueza de especies de mangle y su distribución.

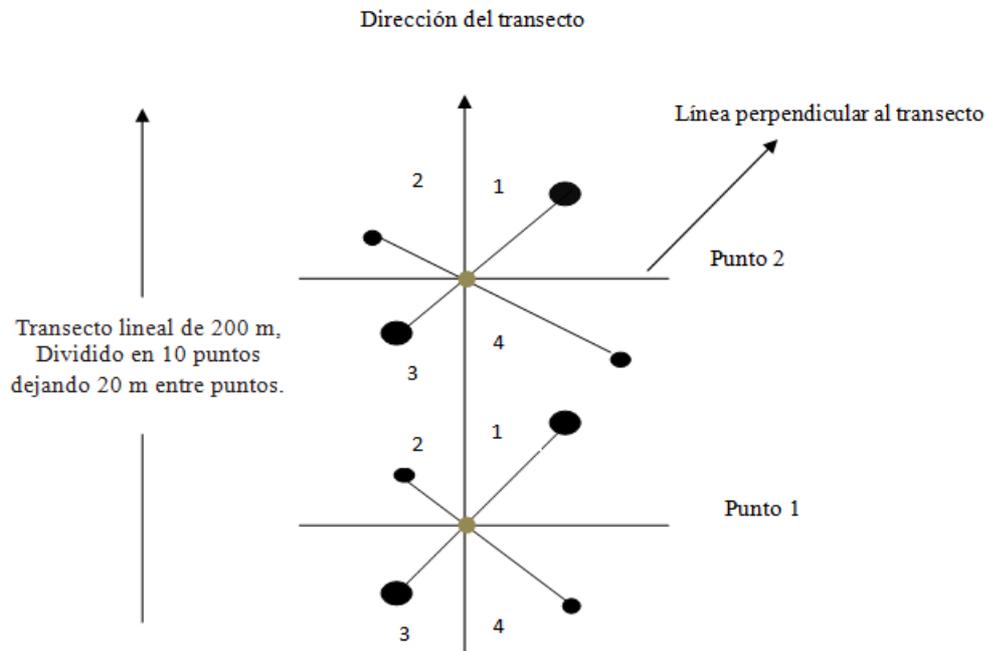
#### **7.2.1. Fase de campo**

Los datos fueron tomados en febrero de 2013. En febrero del año 2012 se llevó a cabo la visita de reconocimiento del área de estudio, la cual se recorrió en una lancha tiburonera de 26 pies de largo, con la cual se localizaron sitios con remanentes de mangle y se ubicaron las coordenadas geográficas de los mismos por medio de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Al recorrer toda la zona se encontró que

existen remanentes de mangle en los sistemas de lagunas del Río Sarstún, Punta Cocolí, Bahía de Santo Tomás de Castilla y La Graciosa. Por consideraciones logísticas, los muestreos únicamente se realizarán en La Bahía La Graciosa.

Se seleccionó nueve sitios de muestreo alrededor de la Bahía La Graciosa (ver figura 3). El método de muestreo que fue empleado corresponde al del muestreo por cuadrante a un punto central de Cottan y Curtis (1956) modificado para manglares por Cintrón (1982). El método consistió en un transecto lineal de 200 m paralelo a línea de la costa de 10 puntos en total, dejando 20 metros entre puntos. En cada punto se colocó una cruceta de madera de un metro de largo sobre un poste vertical fijo al suelo (ver figura 2). La cruceta definió cuatro cuadrantes al infinito y en cada cuadrante se mide la distancia en metros del árbol (ó fuste) más cercano al centro de la cruceta (el punto central), se mide también su perímetro a la altura del pecho (a 1.30 de altura aproximadamente) en centímetros ó a 30 cm por arriba de las raíces adventicias en el caso de *Rhizophora spp* con una cinta plástica de sastre. El diámetro (D) se obtiene a partir del perímetro (P) con la siguiente fórmula:  $D=P/\pi$ . (Agraz-Hernández, Noriega-Trejo, López-Portillo, Flores-Verdugo y Jiménez-Zacarías, 2006, p.12).

Se identificaron las especies y altura aproximada de cada una, excluyendo los árboles con diámetros menores a 2.5 cm (8 cm de perímetro). Se midieron 4 árboles por punto (uno por sector de la cruceta). Los árboles ya medidos no fueron tomados para la siguiente determinación (Agraz-Hernández y otros, 2006, p. 12) (Figura 1).



**Figura 2.** Esquema del método de muestreo que fue utilizado. Modificado de Agraz-Hernández *et al.*, 2006.

En cada punto se midió datos físico-químicos del agua por medio de una sonda multiparamétrica HACH HQ40d a nivel intersticial (entre 10-15 cm por debajo del nivel del suelo). El agua intersticial fue tomada con una nucleador de sedimentos (López-Portillo com Pers., 2012) En cada punto se registró los siguientes datos en la boleta de campo: temperatura, pH, salinidad, conductividad, TDS, nivel de agua y oxígeno disuelto.



**Figura 3.** Ubicación de los nueve sitios de muestreo en la bahía la Graciosa, Punta de Manabique, Izabal, Guatemala. Fotografía aérea proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional de Guatemala-IGN- 2006.

### **7.2.2. Análisis de las muestras vegetales**

Se colectó cinco individuos de cada especie de mangle en los sitios de muestreo con la finalidad de verificar la identidad de las especies. En el área de estudio, se realizó la herborización de las plantas colectadas por medio de una prensa de herbario y papel periódico. Cada muestra de mangle se colocó dentro de hojas de papel periódico con un código de identificación y el nombre posible de la especie. Todas las muestras fueron guardadas en una prensa de herbario para su posterior secado y refrigerado en el Herbario del Centro de Estudios Conservacionistas de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia (CECON). Todas las muestras fueron identificadas hasta la categoría taxonómica de especie utilizando la Flora de Guatemala, la Flora Mesoamericana y la Flora de

Nicaragua(de quiénes).Las especies identificadas fueron montadas en papel texcote y se elaboró una ficha de herbario para cada muestra con los datos respectivos de identificación.

### **7.2.3. Análisis de la estructura y composición de las especies**

Los resultados fueron expuestos en tablas, una presentando los parámetros físico-químicos del agua intersticial y otra presentando los datos de estructura y composición de especies que componen los ensambles de manglar de cada transecto. Se evaluó la composición de las especies por medio de conteos. Esto se llevó a cabo según la metodología de Cottan y Curtis (1956) modificado para manglares por Cintrón y Novelli (1974) que consiste en un cuadrante a un punto central(Ramos, y otros, 2004, p.56; Newton, 2007, p. 96).

La estructura de las comunidades de manglar se calculó en términos de densidad, área basal y alturas. La densidad se calculó de la siguiente manera: a. Se obtuvo la distancia promedio de las 40 mediciones en metros. b. Se elevó al cuadrado dicha distancia c. Se le aplicó el inverso a la distancia elevada al cuadrado ( $1/m^2$ ) y este valor se multiplica por 10,000. Este valor dio como resultado el número de árboles por metro cuadrado y al multiplicarlo por 10,000 dio el número de árboles (fustes) por hectárea (densidad absoluta del bosque de manglar) d. Del total de puntos (40) se calculó el porcentaje de cada especie. Esto dio como resultado, la densidad relativa de cada especie. e. La densidad relativa de cada especie se multiplicó por la densidad absoluta del bosque de manglar (c) este producto dió como resultado la densidad absoluta de cada especie por hectárea. La sumatoria de las densidades absolutas de cada especie debe darnos el valor en c (Agraz-Hernández y otros, 2006, p.12).

El área basal de cada árbol fue calculada de la siguiente manera: se midió la circunferencia o perímetro del árbol o fuste con una cinta métrica común, el valor obtenido (en cm) se elevó al cuadrado y se dividió entre  $4 \times \pi$  (=12.566).Otra opción para calcular el área basal en  $cm^2$  de un árbol, es elevar al cuadrado el perímetro y se multiplica por 0.0796.Para obtener el área basal promedio de cada especie de manglar se obtuvo el

promedio de las áreas basales y con esto el área basal promedio de cada especie en  $\text{cm}^2$  (ABP) (Agraz-Hernández, y otros, 2006, p.13).

Finalmente con los resultados obtenidos de las frecuencias de las especies por transecto se calculó el inverso del índice de Dominancia de Simpson para conocer la diferencia en la frecuencia de las especies en cada transecto por medio de la dominancia.

#### **7.2.4. Análisis de los parámetros físico-químicos del agua**

En los nueve sitios de muestreo alrededor de la Bahía La Graciosa, se colocó un transecto lineal paralelo a la línea de la costa de 200 m. Cada transecto se dividió en 10 puntos en los cuales se midió los siguientes parámetros físico-químicos del agua por medio de una sonda multiparamétrica HACH HQ40d a nivel intersticial (entre 10-15 cm por debajo del nivel de los sedimentos): temperatura, pH, salinidad, conductividad, TDS, nivel de agua y oxígeno disuelto. El agua intersticial fue tomada con un nucleador de sedimentos (López-Portillo com Pers., 2012). Todos los datos fueron anotados en una boleta de campo. Los resultados fueron anotados en una base de datos en Microsoft Excel. Se realizó los promedios de todas las variables físico-químicas en los nueve transectos y se presentaron en tablas.

#### **7.2.5. Análisis Estadístico**

Se realizó tres análisis de ordenación multivariante denominado Análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico–NMDS- por medio del paquete estadístico R (R Development Core Team). El primer análisis de NMDS se realizó para comparar la composición de especies en los nueve transectos. El segundo análisis de NMDS para comparar los resultados de las variables estructurales de las especies (densidad, área basal y altura) y el último NMDS para comparar los parámetros físico-químicas del agua intersticial en los nueve transectos.

El NMDS es una técnica que trata de representar en un espacio geométrico de pocas dimensiones las proximidades existentes entre un conjunto de objetos (Cayuela, 2010). El NMDS fue el método de ordenación más adecuado para los datos obtenidos en este estudio dado que no son normales. Este método también es apropiado cuando los datos están en una escala discontinua o arbitraria. Una ventaja del NMDS frente a otras técnicas de ordenación es que, al estar basada en rangos de distancias, tiende a linealizar la relación entre las distancias ambientales y las distancias biológicas (se calcularon a partir de una matriz de sitios x especies) (Arce, 1993). Para cada análisis de NMDS se calculó el stress y  $R^2$  y se realizó un análisis de agrupamiento jerárquico de disimilitud de Morisita-Horn para observar mejor las agrupaciones de los transectos de acuerdo a sus disimilitudes.

Para conocer la asociación entre la estructura (densidad, área basal y altura) y la composición (riqueza) de especies con los parámetros físico-químicos del agua (temperatura, pH, salinidad, conductividad, TDS y oxígeno disuelto de agua intersticial) se calculó un coeficiente de correlación de Spearman por medio del paquete estadístico R (Jiménez, com. Pers 2013).

El coeficiente de Spearman es un coeficiente no paramétrico alternativo al coeficiente de correlación de Pearson cuando este no cumple los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Al ser Spearman una técnica no paramétrica es libre de distribución probabilística (Sheskin, 2004). En una correlación de Spearman a medida que el valor se aproxima a 1, significa que la relación lineal entre las dos variables es más fuerte y mientras que el valor de p se aproxima a 0 significa que la relación lineal entre las dos variables es más débil. Finalmente, cuando el valor de r se aproxima a 0 no hay ninguna relación entre las dos variables (Guerrero y Ramírez 2002).

Se realizó un análisis de regresión de Mantel con base a las distancias euclidianas para las coordenadas geográficas y las distancias de Bray-Curtis para las abundancias de las especies. La prueba de Mantel, se utiliza para calcular la correlación lineal entre dos matrices de proximidad (disimilaridad o similaridad). Se utiliza a menudo

en ecología para comprobar si existe correlación entre varios sitios, por una parte en término de abundancia de las especies estudiadas, y por otra parte en término de características geográficas (Leps, & Smilauer, 2010).

## **8. RESULTADOS**

### **8.1 Estructura y composición de los ensambles de manglar en la Bahía La Graciosa.**

Se tomó datos de la estructura y composición de las especies de mangle para conocer su asociación con los parámetros físico-químicos del agua a nivel intersticial tales como temperatura (°C), pH, TDS (mg/l), Salinidad (‰), conductividad (mS/cm), oxígeno disuelto (mg/l) y porcentaje de oxígeno (%) y la estructura y composición de las especies, en nueve sitios de muestreo alrededor de la Bahía La Graciosa. Los datos de las especies y de parámetros físico-químicos del agua fueron tomados en febrero de 2013 mediante la metodología de Cottan y Curtis (1956) modificado por Cintrón (1982) para manglares. Se obtuvo mediciones de 40 árboles por transecto aproximadamente, ya que, hubo puntos donde no se encontró especies. En total se midió 354 árboles en toda la Bahía.

Para evaluar la composición de especies de mangle se anotó el nombre científico y la frecuencia de cada una. En algunos casos se anotó únicamente las familias (ver tabla 1). Para evaluar la estructura de los ensambles de manglar se midió las siguientes variables de las especies, distancia promedio (m), altura (m), densidad (árbol/Ha), área basal (m<sup>2</sup>) y profundidad (m). Con estos datos estructurales se calculó la densidad, área basal y altura de los individuos de cada especie.

Para evaluar los parámetros físico-químicos del agua intersticial se obtuvo diez mediciones en cada transecto. En total se realizó 90 mediciones de parámetros físico-químicos del agua a nivel intersticial alrededor de la Bahía La Graciosa. Las variables medidas fueron temperatura (°C), pH, TDS (mg/l), Salinidad (g/l), conductividad (mS/cm), oxígeno disuelto (mg/l) y porcentaje de oxígeno (%).

### **8.2 Composición de las especies**

Se reportó nueve especies de árboles en la Bahía La Graciosa pertenecientes a nueve familias. En la tabla 1 puede observarse que las especies *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) estuvieron presentes en los nueve transectos del área

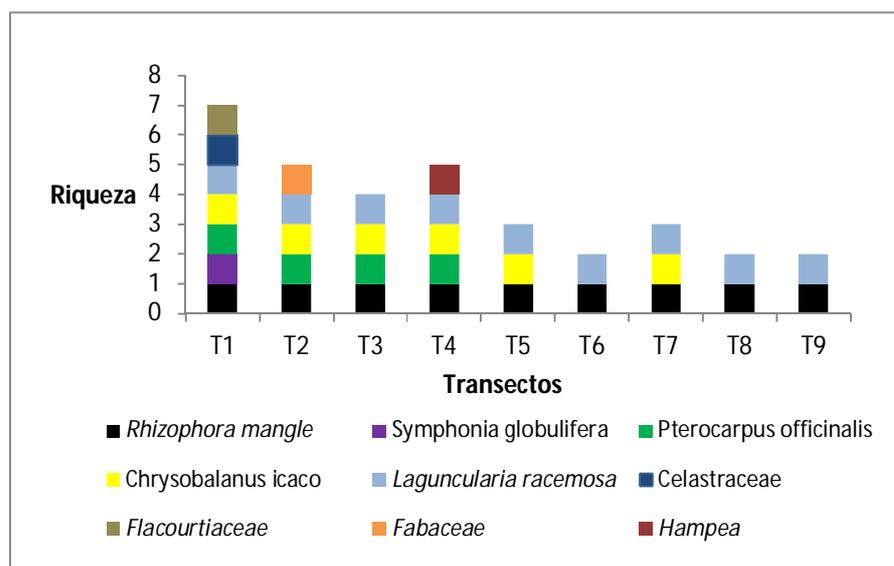
dentro del estudio lo que representa una frecuencia del 100%. Sin embargo, la especie dominante fue *R. mangle* con 291 observaciones y *L. racemosa* con 22 observaciones. *Chrysobalanus icaco* fue vista en un 66% y *Pterocarpus officinalis* en un 44.44%. Las especies con el menor número de observaciones y menor frecuencia fueron *Hampea sp.*, Celastraceae, Flacourtiaceae y Fabaceae con solamente una observación y una frecuencia del 11.11%. Estas especies fueron observadas únicamente en un transecto del área de estudio. El mangle *Conocarpus erectus* (botoncillo) fue observado una vez pero se ubicó fuera de los puntos muestreados.

**Tabla 1.** Composición de especies y familias presentes en los ensamblajes de manglar en Bahía La Graciosa. Número de individuos y frecuencia (%) observada de cada especie.

<b>Especie</b>	<b>Nombre</b>	<b>Familia</b>	<b>n.</b>	<b>Frecuencia (%)</b>
<b>1</b>	<i>Rhizophora mangle</i>	<b>Rhizophoraceae</b>	<b>291</b>	<b>100</b>
<b>2</b>	<i>Laguncularia racemosa</i>	<b>Combretaceae</b>	<b>22</b>	<b>100</b>
<b>3</b>	<i>Chrysobalanus icaco</i>	Chrysobalanaceae	13	66.66
<b>4</b>	<i>Pterocarpus officinalis</i>	Fabaceae	16	44.44
<b>5</b>	<i>Symphonia globulifera</i>	Clusiaceae	3	11.11
<b>6</b>	<i>Hampea sp.</i>	Fabaceae	1	11.11
<b>7</b>	-	Celastraceae	1	11.11
<b>8</b>	-	Flacourtiaceae	1	11.11
<b>9</b>	-	Fabaceae	2	11.11

Fuente de Datos Experimentales

En la figura 4 puede observarse que el transecto uno es el que contiene la mayor riqueza, con siete especies, seguido del transecto dos y cuatro con cinco especies. Los transectos con la menor riqueza fueron el transecto seis, ocho y nueve con únicamente dos especies.



Fuente de Datos Experimentales

**Figura 4.** Riqueza de las especies de árboles presentes en nueve transectos en la Bahía La Graciosa.

### 8.3. Estructura de las especies

Se tomaron mediciones estructurales de 40 árboles por transecto aproximadamente. En total se midió 354 árboles (hubo puntos donde no se encontró especies) en los nueve transectos en la Bahía La Graciosa. En la tabla 2 se describen los promedios de las variables de la estructura de las especies de mangle. Las variables medidas fueron: densidad (árbol/Ha), área basal ( $m^2$ ), altura (m), distancia promedio (m) y profundidad (m) en los nueve transectos. En el transecto ocho y nueve se encontró la mayor densidad de árboles con un valor de 642 árboles/Ha y 641 árboles/Ha respectivamente seguido del transecto 6 con 483 árboles/Ha.

Las densidades más bajas se encontraron en el transecto 2 con un valor de 297 árboles/Ha y el transecto 7 con 280 árboles/Ha. El mayor promedio de las alturas fue en el transecto uno con 11.48 m y seis con 9.83 m. El mayor promedio de área basal se encontró en

el transecto ocho con 254.62112 m<sup>2</sup> y el transecto uno con 218.61324 m<sup>2</sup>. La mayor profundidad encontrada fue de 0.72 m en el transecto 7 y 0.67 m en el transecto 3.

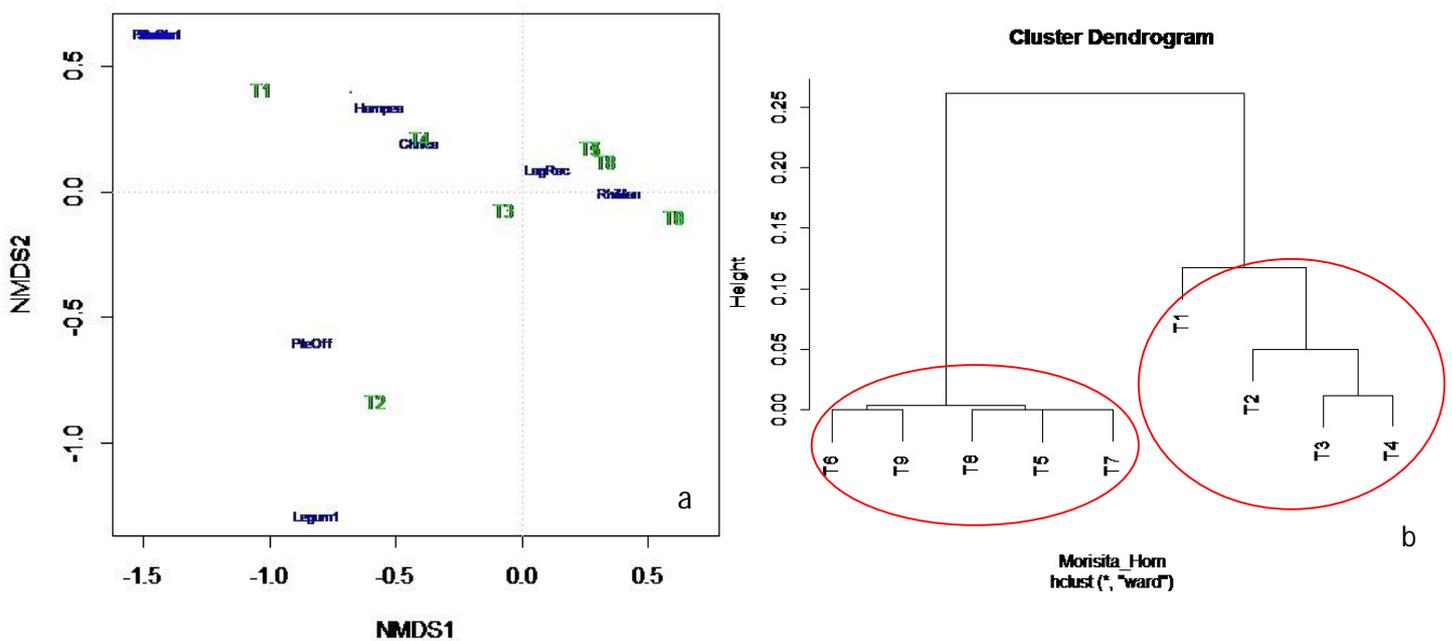
Se calculó el índice inverso de la dominancia de Simpson, el cual analiza el número efectivo de especies. Los resultados evidencian que el transecto uno tiene la mayor diversidad o el mayor número efectivo de especies con un valor de 3.17. El transecto dos mostró una menor diversidad de 1.86. Los transectos seis y nueve mostraron las menores diversidades con un valor de 1.05.

**Tabla 2.** Promedio y desviación estándar de las variables estructurales de las especies en los nueve transectos dentro de La Bahía La Graciosa. Coordenadas geográficas (latitud y longitud), Inverso de la Dominancia de Simpson, Densidad (árbol/Ha), Área Basal (m<sup>2</sup>), Profundidad (m) y Altura (m).

Transecto	Long.	Lat.	Inverso D. de Simpson	Densidad (m)	Área Basal (m <sup>2</sup> )	Profundidad (m)	Altura (m)
T1	-88.536	15.876	3.17	371	218.613112.132	0.58±0.272	11.48±6.135
T2	-88.514	15.870	1.86	297	120.899±88.939	0.55±0.137	8.93±2.484
T3	-88.509	15.856	1.48	313	164.352±72.812	0.67±0.214	8.93±3.342
T4	-88.491	15.849	1.82	308	126.715±63.077	0.42±0.118	8.1±2.726
T5	-88.500	15.835	1.16	328	146.478±48.039	0.65±0.129	8.0±1.972
T6	-88.513	15.837	1.05	483	169.657±32.912	0.63±0.111	9.83±1.970
T7	-88.530	15.841	1.16	280	180.745±34.279	0.72±0.141	8.3±2.655
T8	-88.542	15.848	1.12	<b>642</b>	254.621±92.035	0.51±0.208	9.23±3.008
T9	-88.560	15.853	1.05	<b>641</b>	163.241±88.081	0.58±0.114	8.55±2.478

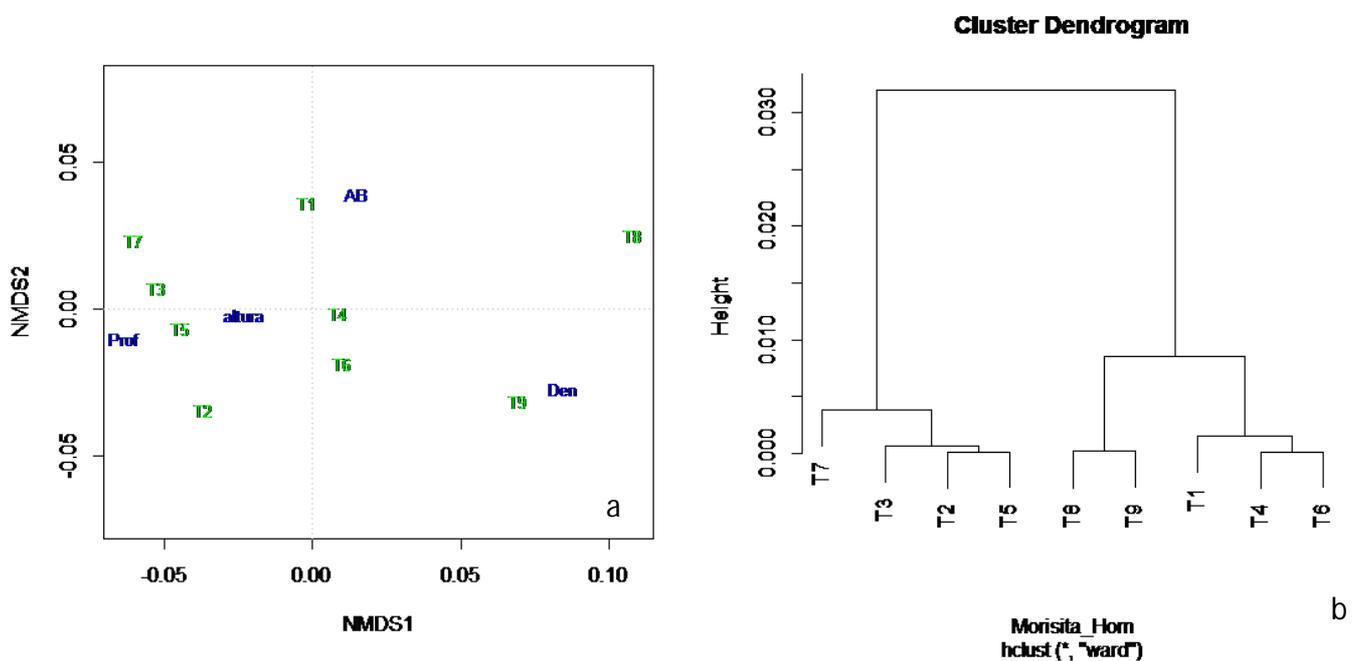
Fuente de Datos Experimentales

Se efectuaron tres análisis de ordenación NMDS. El primero se realizó para evaluarla composición de especies en los nueve transectos en la Bahía La Graciosa. El NMDS ( $R^2 = 0.99$  y stress = 0.03) mostró la ordenación de los transectos en dos grupos. El primero contiene a los transectos T1,T2,T3, T4 y el segundo a los transectos T5,T6,T7,T8 y T9. Estos resultados se soportan con el diagrama de agrupamientos jerárquico de Morisita-Horn (Fig 4) en donde se observa la formación de estos grupos.



**Figura 4.a.** Análisis de ordenación NMDS ( $R^2=$  de 0.98 y stress = 0.04) de la composición de especies de mangle en los nueve transectos muestreados. **b.** Análisis de agrupamiento jerárquico de Morisita-Horn de la composición de especies de árboles de mangle en los nueve transectos muestreados en la Bahía La Graciosa.

El segundo análisis de ordenación (Fig 5)NMDS( $R^2=0.98$  y stress = 0.05) para analizar la estructura de las especies en los nueve transectos en la Bahía La Graciosa. El NMDS mostró que existe homogeneidad en la estructura de las especies (densidad, área basal y altura de las especies) en los nueve transectos. Estos resultados se soportan con el diagrama de agrupamientos jerárquico de Morisita-horn (Fig 5) en donde se observa que existe una baja disimilitud en la estructura de las especies de árboles en los nueve transectos.



**Figura 5.a.** Análisis de ordenación NMDS ( $R^2=0.98$ , stress = 0.05) de la estructura (densidad, altura y área basal) de las especies de árboles de mangle en los nueve transectos muestreados en la Bahía La Graciosa .**b.** Análisis de agrupamiento jerárquico de Morisita-Horn de la estructura de la estructura de las especies de árboles de mangle en los nueve transectos muestreados en la Bahía La Graciosa.

#### 8.4. Análisis de los parámetros físico-químicos del agua a nivel intersticial

Durante la toma de datos físico-químicos en el campo, en los puntos de muestreo ocho (T8) y nueve (T9) ocurrió una falla de la sonda que mide oxígeno disuelto y porcentaje de oxígeno del agua. Debido a ello, no se pudo calcular estas variables en el campo para estos puntos de muestreo, por lo que, utilizando los datos que pudieron medirse en el campo de oxígeno disuelto y porcentaje de oxígeno, se procedió a calcular los valores faltantes por medio de una regresiones lineales para cada variable faltante, empleando el programa estadístico R.

Para las regresiones lineales se utilizó como variable dependiente ó predictora (x) el porcentaje de salinidad y como variables de respuesta (y), oxígeno disuelto y porcentaje de oxígeno. La variable salinidad presentó el mayor grado de asociación lineal con las variables de respuesta, representado por el  $R^2$ . En la tabla 4 se presentan los valores de los coeficientes calculados por medio de la variable predictora porcentaje de salinidad, y los valores de  $R^2$  y P a partir de los cuales se calculó los valores faltantes de oxígeno disuelto y porcentaje de oxígeno.

**Tabla 4.** Valores de la constante,  $R^2$  y P empleados para calcular la ecuación de la recta apropiada para obtener los valores de oxígeno disuelto y porcentaje de oxígeno faltantes.

	Coeficientes			
	Salinidad‰	Constante	$R^2$	P
Oxígeno disuelto ( mg/l)	0.446	-7.686	0.679	0.023
% Oxígeno	5.724	-98.957	0.688	0.021

Fuente de Datos Experimentales

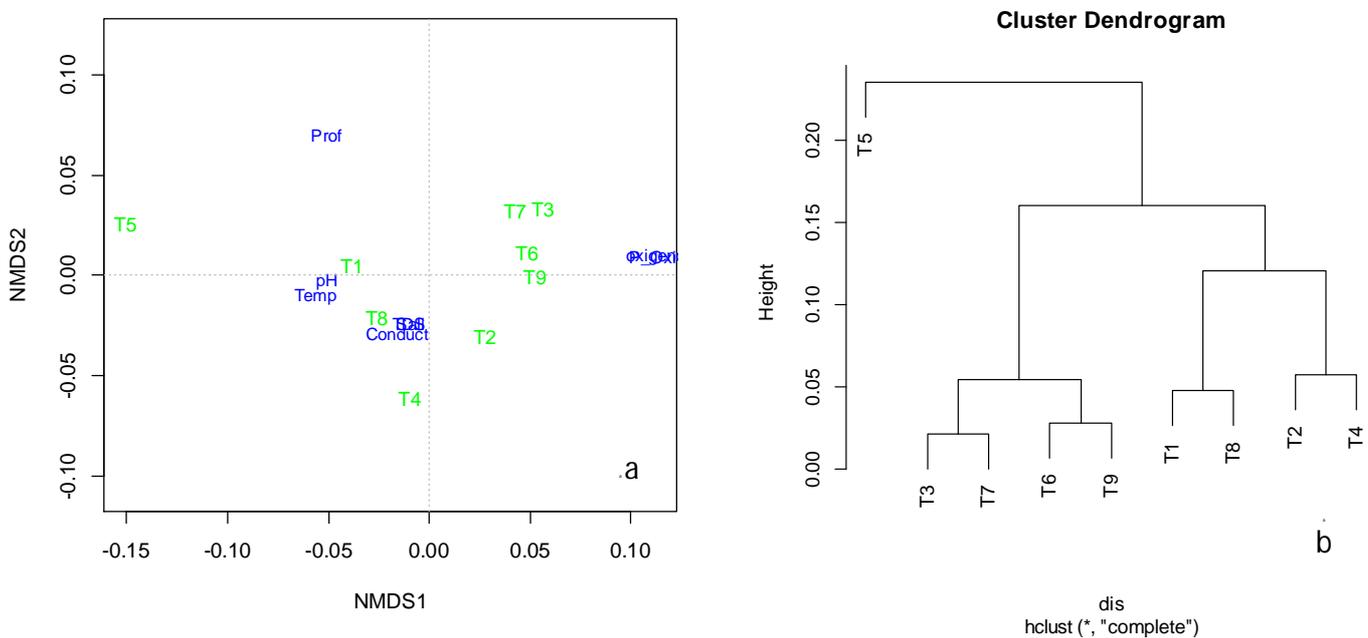
En la tabla 5 se muestran los promedios de los parámetros físico-químicos del agua obtenidos en los nueve transectos. Las variables medidas fueron las siguientes: coordenadas geográficas, tomadas por medio de un GPS, la salinidad, pH, temperatura, profundidad, oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno y TDS que fueron medidos por medio de una sonda multiparamétrica.

**Tabla 5.** Promedio y desviación estándar de las variables físico-químicas del agua en los nueve transectos dentro de la Bahía La Graciosa. ( pH., Sal (g/l).= Salinidad., Temperatura (Celsius), Prof. (m) = Profundidad, Oxígeno (%)= porcentaje de oxígeno, Ox. Dis (mg/l)= Conduc., TDS (mg/l).

<b>Transecto</b>	<b>pH</b>	<b>Sal. (g/l)</b>	<b>Temperatura (C°)</b>	<b>Prof (m)</b>	<b>Oxígeno (%)</b>	<b>Ox.Dis.(mg/l)</b>	<b>TDS (mg/l)</b>
<b>T1</b>	7.46 ± 0.249	24.48 ± 1.706	26.42 ± 0.405	0.57 ± 20.344	43.26 ± 22.219	3.47 ± 1.785	23.50 ± 1.737
<b>T2</b>	7.64 ± 0.272	31.17 ± 0.388	27.38 ± 0.248	0.55 ± 14.337	67.23 ± 8.347	5.3 ± 0.657	29.95 ± 0.368
<b>T3</b>	7.92 ± 0.113	28.84 ± 0.562	27.57 ± 0.444	0.67 ± 12.285	87.69 ± 7.675	6.86 ± 592	27.75 ± 0.548
<b>T4</b>	7.88 ± 0.179	30.56 ± 0.784	29.41 ± 0.566	0.42 ± 12.363	56.49 ± 15.534	4.34 ± 1.186	29.36 ± 0.715
<b>T5</b>	7.71 ± 0.151	22.14 ± 0.276	28.57 ± 0.471	0.65 ± 13.431	20.43 ± 15.890	1.56 ± 1.228	21.40 ± 1.197
<b>T6</b>	7.94 ± 0.043	31.92 ± 0.345	27.65 ± 0.306	0.63 ± 11.605	87.12 ± 3.384	6.83 ± 1.278	30.62 ± 0.332
<b>T7</b>	7.89 ± 0.066	29.79 ± 0.406	27.69 ± 0.296	0.72 ± 14.539	83.63 ± 8.546	6.52 ± 2.128	28.63 ± 0.383
<b>T8</b>	7.65 ± 0.360	25.75 ± 0.481	27.92 ± 0.282	0.51 ± 17.397	48.44 ± 5.863	3.8 ± 1.560	24.84 ± 0.471
<b>T9</b>	7.89 ± 0.144	32.95 ± 0.826	29.44 ± 0.391	0.58 ± 11.957	89.65 ± 16.864	7.01 ± 3.893	31.52 ± 0.732

Fuente de Datos Experimentales

El tercer análisis de ordenación (Fig 6) NMDS (stress = 0.04,  $R^2=0.99$ ) muestra que no existe asociación en los parámetro físico-químicos del agua a nivel intersticial en los nueve transectos muestreados. El NMDS refleja que existe homogeneidad de los parámetros físico-químicos en los nueve transectos muestreados en la Bahía La Graciosa. Estos resultados se soportan con el diagrama de agrupamientos jerárquico de Morisita-horn (Fig 4) en donde se observa que existe una baja disimilitud de los parámetros físico-químicas del agua intersticial en los nueve transectos muestreados.



**Figura 6. a.** Análisis de ordenación NMDS ( $R^2=0.99$  y stress = 0.04,) de los parámetro físico-químicos del agua intersticial en los nueve transectos. **b.** Análisis de agrupamiento jerárquico de Morisita-Horn de los parámetros físico-químicos del agua intersticial en los nueve transectos muestreados en la Bahía La Graciosa.

### 8.5. Asociación de los parámetros físico-químicos del agua y la estructura y composición de especies de árboles en la Bahía La Graciosa.

Para conocer la asociación entre las variables físico-químicas analizadas y la estructura y composición de las especies de mangle se realizó un análisis de correlación no paramétrica de Spearman entre cada una de las variables físico-químicas (pH, salinidad, temperatura, profundidad, Oxígeno disuelto, porcentaje de Oxígeno, conductividad, y TDS) con la estructura (densidad, área basal y altura) y la composición (riqueza de especies) de los ensambles de manglar en la Bahía La Graciosa. Estos resultados se muestran en el anexo 13.1. Los resultados manifestaron que no existe asociación entre las variables correlacionadas. Sin embargo, al observar cierto patrón de disminución de la riqueza de especies de acuerdo a la disposición espacial, se procedió a analizar un análisis de regresión de Mantel con base a las distancias euclidianas para las coordenadas geográficas y las distancias de Bray-Curtis para las abundancias de las especies. La análisis de Mantel muestra evidencia de que existe un patrón espacial de las especies con una significancia de 0.028. Estos resultados se apoyan por medio de la aplicación del coeficiente de correlación de Spearman para estas variables, dando como resultado una correlación negativa de -0.709 entre la coordenada longitud y la densidad de especies con una significancia de 0.033, y una correlación positiva de 0.778 entre la coordenada latitud y la riqueza de especies con una significancia de 0.013.

**Tabla 6.** Valores del coeficiente de correlación de Spearman y nivel de significancia entre la coordenada geográfica longitud con la densidad de especies y la coordenada geográfica latitud con la riqueza de especies.

<b>. Variables correlacionadas</b>	<b>Spearman (r)</b>	<b>Significancia (p)</b>
longitud-densidad de especies	-0.709	0.033
latitud-riqueza de especies	0.778	0.013

Fuente de Datos Experimentales

## 9. DISCUSIÓN

El Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique se considera un humedal compuesto por una zona terrestre, aguas interiores y una zona marina. Constituye la primera área marino-costera protegida dentro del Sistema Guatemalteco de áreas Protegidas (SIGAP). Más de dos terceras partes del área corresponden a ambientes marinos, tanto del Golfo de Honduras como de las bahías de Amatique y La Graciosa (CONAP, 2004). La Bahía La Graciosa se encuentra rodeada de ensamblajes de manglar. Con base a la clasificación de la estructura de manglares de Lugo y Snedaker (1974), el manglar de la Bahía La Graciosa, es un manglar de borde ó de franja porque se encuentra bordeando la Bahía y por estar expuesto a las mareas.

Se observó nueve especies de árboles dentro de los ensamblajes de manglar en la Bahía La Graciosa pertenecientes a nueve familias. Sin embargo, los resultados revelan que se conforma de dos especies principales de mangle, el mangle rojo *Rhizophora mangle* y el mangle blanco *Laguncularia racemosa*. Sin embargo, se encontró otras siete especies (*Chrysobalanus icaco*, *Pterocarpus officinalis*, *Symphonia glubulifera*, *Hampea sp.*, especies de las familias Celastraceae, Flacourtiaceae y Fabaceae), pero las frecuencias fueron muy bajas. La dominancia del mangle rojo y blanco en la Graciosa podría deberse a características ecológicas e históricas de las especies y del área que han determinado las condiciones biológicas, ecológicas e hidrológicas actuales.

El índice inverso de la dominancia de Simpson evidenció que el transecto uno tiene la mayor riqueza o el mayor número efectivo de especies (diversidad verdadera) mientras que los transectos seis, ocho y nueve mostraron la menor riqueza con dos especies únicamente. Al observar estos resultados es evidente que la disminución de las especies en la Bahía La Graciosa ocurre desde el punto uno cercano a la desembocadura del río Motagua hacia el punto nueve en dirección a Puerto Barrios.

Según Lugo y Snedaker (1974), los ensamblajes de manglar dominados por *R. mangle* se encuentran asociados con los mayores niveles de inundación. Esta asociación es debida a

que posee adaptaciones morfológicas y fisiológicas que le ha permitido ocupar hábitats bajo condiciones especiales, inestables y con baja concentración de oxígeno, en ambientes salinos y salobres. *R. mangle*, forma a menudo masas puras en zonas intermareales de lagunas costeras y esteros con influencia de agua salada. Crece en ambientes de continuo movimiento de agua y salinidad variable (hipersalino a salobre) como en el caso de La Graciosa. Su mejor desarrollo es en litorales someros, con poca pendiente donde la marea entra con mayor facilidad y donde los sitios se encuentran protegidos contra la acción del oleaje fuerte.

Generalmente *R. mangle*, se encuentra en las condiciones de mayor inmersión del suelo y de menor salinidad, entre 0 a 37 g/l, con tolerancia de hasta 65 g/l (Cintrón 1978 y Teas 1979), considerándose como una especie pionera en los límites terrestres y marinos. Al observar los rangos de salinidad en la Bahía La Graciosa se puede observar que oscila entre 22.14 y 32.95 g/l. Este rango de salinidad se encuentra dentro de los valores promedio a los cuales *R. mangle* está adaptada para crecer y desarrollarse.

Posiblemente a mayores concentraciones de salinidad serían otras las especies de mangle las que colonizaría el área como en el caso de *A. germinans*, que presenta la mayor tolerancia a las altas salinidades entre las especies de manglar tolerando una salinidad hasta de 100 g/l (McKee y Faulkner, 2000). Ayerdis (1996) corrobora la afirmación anterior al decir que en ciertos ecosistemas de manglar en la Costa Pacífica de Guatemala, *A. germinans* se ubican en los sitios con la mayor salinidad. Esta especie presenta un mecanismo de excreción, exclusión y acumulación de las sales, así como lenticelas en sus pneumatóforos para captar el oxígeno atmosférico (Agraz-Hernández, 2006, p.10).

El mangle negro *A. germinans* no fue observado en La Graciosa. Según Agraz-Hernández (2006), un ensamble de manglar dominado por *A. germinans* se relaciona con los mayores niveles de salinidad. Este dato, sugiere que la salinidad en La Graciosa presenta las concentraciones ideales para que se desarrolle en mayores proporciones las poblaciones de *R. mangle*.

Por otro lado, el mangle blanco (*L. racemosa*) se observó en los nueve transectos en la Bahía La Graciosa. Según Agraz-Hernández (2006), ésta especie es encontrada en las condiciones de mayor inmersión del suelo, mayor tiempo de residencia del agua y de menor salinidad entre, 0 a 42 g/l, con tolerancia hasta de 80 g/l. Esta especie generalmente comparte zonas de estuario de ríos o formaciones de arena con *R. mangle* y crece en una amplia variedad de suelos: arenosos, arcillosos o limosos. Esta especie presenta un mecanismo de excreción de las sales, así como lenticelas en sus neumatóforos para captar el oxígeno atmosférico (Agraz-Hernández, 2006, p.10).

Según Lugo y Snedaker (1996), el manglar co-dominado por las especies, *A. germinans*, *L. racemosa* y *R. mangle*, se encuentra en lugares con valores intermedios de inundación y bajos niveles de salinidad. Los manglares dominados por las tres especies son evidencia de áreas que han tenido un pasado muy dinámico caracterizado por grandes variaciones en el ambiente físico y en la distribución del manglar por lo que representan ensambles muy heterogéneos, contrario al ensamble dominado por la especie *R. mangle*.

Molina en 2009, realizó una evaluación de la dinámica de los manglares de la Bahía Caribeña Portete, Alta Guajira y su relación con variables climáticas asociadas al cambio climático global y regional de Medellín, Colombia. Dentro de los resultados, Molina encontró que el sitio de estudio está conformado por tres unidades de vegetación las cuales se denominan tipos de manglar. El manglar A asociado a una mayor abundancia de *R. mangle*, el manglar B relacionado con las tres especies de mangle *R. mangle*, *A. germinans* y *L. racemosa* y manglar C asociado con la abundancia de *A. germinans*. El manglar A está correlacionado principalmente con altos niveles de inundación y con altos contenidos de materia orgánica en el suelo y una alta dominancia de *R. mangle*. Este es el tipo de manglar más parecido al de La Graciosa. El manglar B está asociado con niveles altos de inundación en el período seco y con la concentración de fósforo en el suelo, en este manglar se encuentran las tres especies *R. mangle*, *A. germinans* y *L. racemosa*. El manglar C, muestra una gran correlación con concentraciones altas de sal en el agua intersticial en la época húmeda, con altas concentraciones de aluminio y potasio y con altas proporciones de limo en el suelo, este manglar está dominando por la especie *A. germinans*.

Un factor muy importante para comprender mejor la estructura y composición de los ensamblajes de manglar podría ser la salinidad. El trabajo de López (2011) y colaboradores, revela que existe un gradiente de complejidad estructural asociado a la salinidad del agua. En su trabajo evaluó la estructura de cinco bosques de manglar en distintos ambientes (estuarino, marino, hipersalino) y en donde evaluó la relación de la estructura de las especies y las características físico-químicas del agua y suelos en zonas semiáridas en el estado de Falcón, Venezuela. La especie predominante en el área fue *Rhizophora mangle* L., a excepción del manglar estuarino donde dominó *Laguncularia racemosa* (L.). La máxima altura de las especies (12m) se observó en un ejemplar de *L. racemosa*. Y las menores alturas (media 1.5m) y máxima densidad de troncos (2220ind/0.1 ha) fueron encontradas en el manglar achaparrado hipersalino. Los suelos con mayor aireación y drenaje fueron los del manglar marino. El área basal y la altura disminuyeron progresivamente del manglar estuarino al hipersalino achaparrado, y se comprobaron relaciones inversas ( $P < 0.001$ ) entre área basal y salinidad ( $R^2 = 0.6$ ), y altura y salinidad ( $R^2 = 0.8$ ), lo que revela un gradiente de complejidad estructural asociado a la salinidad del agua representado en una disminución progresiva en las medidas de altura y área basal de especies diferenciando así un manglar estuarino de un manglar hipersalino achaparrado. Aunque el estudio de López (2011) revela que existe un gradiente de complejidad estructural asociado a la salinidad del agua, los análisis de ordenación NMDS y de correlaciones de Spearman calculadas en este estudio reflejan que no se existe asociación entre la salinidad y las variables de estructura y composición de las especies en la Bahía La Graciosa.

El origen biogeográfico de las especies y del área del Caribe de Guatemala también contribuyen a explicar la dominancia de *R. mangle*. Esta especie ha adquirido adaptaciones importantes a través de millones de años de evolución que han determinado su tolerancia a la salinidad y la inundación. (Day, Conner, Ley-Lou y Machado, 1986)

La región del Caribe de Guatemala han sufrido profundas variaciones evolutivas, biogeográficas y ecológicas a través del tiempo que han determinado, no sólo cambios cuantitativos en su extensión espacial y biodiversidad, sino también variaciones cualitativas fundamentales en su composición taxonómica. Algunas de las variaciones biogeográficas

históricas que pudieran explicar la riqueza de especies en La Graciosa, podrían ser por los cambios ocurridos en el Mioceno hace aproximadamente 16 millones de años. Un considerable número de elementos florísticos y faunísticos desaparecieron de la cuenca del Caribe durante el Mioceno debido a que ocurrió un cambio climático progresivo hacia climas secos estacionales. Según Van der Hammen (1957, 1961, 1964), en el Mioceno, se produjo un aumento espectacular de *Rhizophora sp.*, que pasó a ser el elemento dominante y determinante de la fisionomía de los manglares del Caribe (Thanikaimoni, 1987). Y a partir de ese momento las *Rhizophora* del Nuevo Mundo evolucionó separadamente, originándose tres especies (*R. mangle*, *R. racemosa* y *R. harrisonii*) diferentes de las cuatro asiáticas (*R. apiculata*, *R. mucronata*, *R. stylosa* y *R. lamarckii*). Los otros componentes importantes, *Avicennia* y *Laguncularia*, aparecieron en el Mioceno y Plioceno, respectivamente, quedando así configurada la composición taxonómica típica de los manglares actuales.

La costa del Caribe de Guatemala y Costa Rica han compartido un origen biogeográfico común. Prueba de ello ha ocasionado que en la actualidad existan similitudes en la riqueza de especies de mangle en ambos países. La Costa del Caribe de Costa Rica tienen una mayor extensión comparada con la costa del Caribe de Guatemala. La costa de Costa Rica, posee una extensión de 212 kilómetros y no presenta tantas formaciones geográficas en donde se han registrado tres especies típicas de manglar: *R. mangle*, *A. germinans*, *L. racemosa* y *Conocarpus erectus* (Pool et al. 1977, Coll et al. 2001). La Costa del Caribe de Guatemala presenta una extensión de 148 kilómetros y las especies reportadas son las mismas. Otro ejemplo podría ser el de Zaldivar y colaboradores (2004), quienes realizaron un análisis de la estructura y productividad de los manglares en la Reserva de la Biósfera, Ria Celestún, Yucatán, México. En este estudio se reportan las especies *R. mangle*, *L. racemosa* y *A. germinans*. La especie *C. erectus* también fue observada pero fuera de las parcelas de estudio, sin embargo, se observó que *R. mangle* fue la especie dominante.

Los suelos formados bajo la especie *R. mangle*, se caracterizan por un elevado pH, alta relación carbono/nitrógeno y alto contenido en azufre oxidable, nitrógeno, fósforo y

carbono. Tales suelos pasan a ser muy ácidos cuando se cambia su uso para cultivos agrícolas (Novelo, 2008). Como puede observarse en los resultados de los promedios físico-químicos del agua (Tabla 4), el rango de pH observado en la Bahía La Graciosa oscila entre 7.64 y 7.94, lo cual corresponde a un pH básico. Estos valores de pH no manifestaron ninguna asociación al calcular las correlaciones de Pearson con la estructura y composición de las especies, por lo que estos valores básicos de pH sugieren que los ensamblajes de manglar en la Bahía La Graciosa aun presenta condiciones estables para el mantenimiento de los procesos biológicos y ecológicos. Los suelos básicos proporciona alimento, nutrientes y sustrato para microorganismos que son parte de la cadena alimenticia de muchas especies de importancia comercial como camarones, cangrejos y peces por lo que al no realizar un plan de manejo apropiado de los recursos en el área, este podría ser enormemente afectado creando un desequilibrio ecológico (Travieso, 2000).

El primer análisis de ordenación NMDS para la composición de especies, según su abundancia, en los nueve transectos en la Bahía La Graciosa mostró la ordenación en dos grupos. El primero conteniendo a los transectos T1, T2, T3, T4 y el segundo a los transectos T5, T6, T7, T8 y T9. Estos resultados se soportan con el diagrama de agrupamientos jerárquico de Morisita-Horn en donde se puede observar la formación de estos grupos. El grupo que contiene a los transectos uno, dos, tres y cuatro son los que poseen la mayor riqueza de especies. Los transectos cinco, seis, siete, ocho y nueve poseen la menor riqueza de especies. Estos resultados muestran que podría existir una disminución de la riqueza de especies de acuerdo a la disposición espacial. Al observar este resultados es evidente que la disminución de las especies en la Bahía La Graciosa ocurre desde el punto uno cercano a la desembocadura del río Motagua hacia el punto nueve en dirección a Puerto Barrios.

Esta formación de grupo no pudo ser explicada mediante las variables medidas en este estudio, sin embargo, podría explicarse por las características de los sedimentos y la hidrología del área que pareciera diferente. La formación de los grupos de acuerdo a la riqueza se encuentra justamente donde se encuentra la Laguna Santa Isabel, la parte final del río San Francisco del Mar y la Laguna Jabalí que a su vez se encuentran comunicados con el Canal Inglés. Su existencia hace que la península de Punta de Manabique

estacionalmente se convierta en una isla, separada del continente por medio de una franja acuática angosta. Este hecho podría estar provocando que la hidrología y el proceso de sedimentación en la Bahía sea diferente en ambos sitios y por lo tanto exista también diferencia en la riqueza y densidad de las especies de mangle presentes. Aunado a esto, cabe mencionar que La Bahía La Graciosa se ve fuertemente influenciada por desechos sólidos y aguas servidas recogidas a lo largo del recorrido del Río Motagua, especialmente de la ciudad de Guatemala y las zonas agrícolas. Los desechos provenientes de aguas servidas que ingresan a la Bahía podrían estar ejerciendo cambios en la estructura y composición de los ensambles de manglar y de otros ensambles vegetales como el caso de los pastos marinos, que al igual que los manglares se caracterizan por albergar grandes cantidades de organismos de importancia ecológica porque mantienen el equilibrio del ecosistema y por albergar organismos de importancia comercial.

Según Briceño (1998), la estructura de las comunidades biológicas en general y sus variaciones cuantitativas y cualitativas, están determinadas por las condiciones del ambiente actuales, el potencial biótico y la resistencia ambiental de sus componentes. Las características más importantes para los ecosistemas de manglar son principalmente la salinidad del agua, la duración y frecuencia de las inundaciones, la textura y nutrientes de los sedimentos, la altura de las aguas y temperatura, entre otras (Snedaker, 1982).

El segundo análisis de ordenación NMDS para las variables estructurales de las especies en los nueve transectos mostró que existe homogeneidad de la estructura (densidad, área basal, alturas profundidad) de las especies. Este resultado es apoyado con el diagrama de agrupamientos jerárquico de Morisita-Horn en donde se observa que existe una baja disimilitud en la estructura de las especies de árboles en los nueve transectos.

El análisis de ordenación NMDS para evaluar las variables físico-químicas del agua mostró que existió homogeneidad de las mismas en la Bahía este resultado también pudo observarse con el diagrama de agrupamientos jerárquico de Morisita-Horn en donde se observa que existe una baja disimilitud en los parámetros físico-químicos del agua en los nueve transectos. Asimismo, se realizaron correlaciones no paramétricas de Spearman para analizar la asociación entre la estructura y composición de las especies con las

variables físico-químicas del agua. Los resultados mostraron valores de significancia muy bajos concluyendo que no existe asociación entre las variables correlacionadas. Este resultado revela que las variables físico-químicas del agua intersticial en la Bahía La Graciosa se mantuvieron constantes y homogéneas durante el período de estudio y no contribuyen a explicar la estructura y composición de las especies.

Sin embargo, al observar cierto patrón de disminución de la riqueza de especies de acuerdo a la disposición espacial, se procedió a analizar un análisis de regresión de Mantel con base a las distancias euclidianas para las coordenadas geográficas y las distancias de Bray-Curtis para las abundancias de las especies. La regresión de Mantel muestra evidencia de que existe un patrón espacial de las especies. Estos resultados fueron apoyados con la aplicación del coeficiente de correlación de Spearman para estas variables confirmando que existe un patrón espacial de la riqueza y densidades de las especies en La Bahía La Graciosa que no son explicadas con los parámetros físico-químicos del agua analizados en este estudio. Es posible explicar la riqueza de las especies de acuerdo a las coordenadas geográficas. Según Cardelús y colaboradores en 2006, quienes evaluaron los patrones de distribución de las plantas epífitas vasculares de acuerdo a la elevación. Dentro de sus resultados encontraron que algunos de los patrones de la riqueza de especies de epífitas podían ser explicados por medio de una regresión de Mantel de acuerdo al efecto Mediados De Dominio (MDE) utilizando las distancias geográficas. Del mismo modo como ocurre con el trabajo de Cardelús y colaboradores con las plantas epífitas vasculares, podría estar ocurriendo con las diferencias en la riqueza y densidad de especies en La Bahía La Graciosa. Según las correlaciones de Spearman, se observa que mientras aumenta la longitud geográfica, la densidad de especies disminuye y mientras aumenta la latitud geográfica aumenta la riqueza de especies.

Sin embargo, es necesario realizar mayores esfuerzos para conocer las variables que delimitan la estructura y composición de las especies de mangle en la Bahía La Graciosa. Para conocer más sobre esta pregunta ecológica es necesario contar con datos de los parámetros físico-químicos del agua a nivel intersticial en un plazo más largo en donde se incluya a la época seca y lluviosa. También será necesario incluir otras variables que por razones económicas no fueron consideradas en ese estudio, tales como concentraciones de

nutrientes (fosfatos y nitratos) y la textura y composición de nutrientes en los sedimentos. Según Snedaker (1982) los manglares más productivos se desarrollan en lodo fino, compuesto de arcilla y alto porcentaje de materia orgánica. Los suelos que contienen mayores porcentajes de materia orgánica están generalmente dominados por *R. mangle*. Este dato podría sugerir que en la Bahía La Graciosa, la riqueza y densidad de las especies están explicadas por la textura y composición de nutrientes en los sedimentos. Las altas concentraciones de fosfatos y nitratos son indicadores del impacto que las actividades humanas ejercen sobre los ecosistemas acuáticos (Twilley, 1986).

El fósforo contenido en los fosfatos es un elemento esencial para el mantenimiento de la vida acuática y es considerado como un factor limitante. Un exceso en el mismo puede incrementar las tasas metabólicas, provocando una disminución en la concentración de oxígeno disuelto, y desencadenando un proceso eutrófico (Martínez, 2006). Su presencia indica la presencia de residuos de detergentes y fertilizantes. El agua con altas concentraciones de nitratos es indicador de contaminación por aguas residuales y puede representar un riesgo para la salud de los seres humanos. La presencia de altas concentraciones de nitratos puede deberse a la alta concentración de materia vegetal y animal y a la descarga de agroquímicos de los fertilizantes (Sobrado, 2002).

Las comunidades humanas en La Graciosa, han convivido con el humedal utilizando los recursos terrestres y acuáticos a una escala que pareciera sostenible. Las comunidades humanas de La Graciosa han basado su actividad económica en un 100% a la producción del carbón quienes realizan por lo menos 15 carboneras al año y a la pesca. Entre las especies arbóreas que utilizan para la producción de carbón se podrían mencionar Las especies utilizadas son icaco blanco (*Chrysobalanus icaco*), cahué (*Pterocarpus officinalis*), guama (*Ingafissicalix*), caribe (*Poulsenia armata*), guastamajaine (Fam. Leguminosae), y malagueta (*Xilopia frutescens*), entre otras (ONCA, 2001). Las primeras dos especies mencionadas fueron reportadas en este estudio pero con frecuencias muy bajas lo que podría sugerir que este resultado es debido a la tala desmedida de estas especies para la producción de carbón. Además, se estima que el 90% de las viviendas de las comunidades La Graciosa y Santa Isabel están construidas de la con recursos forestales

maderables y no maderables provenientes del árbol de nombre común Barillo (*Symphonia globulifera*) (ONCA, 2001), la cual también fue reportada en este estudio dentro los ensambles de manglar en La Graciosa pero sus frecuencias fueron muy bajas. Posiblemente su utilización para la construcción de viviendas ha producido la disminución de sus poblaciones.

Por otro lado, a partir de la década de los 60 a la fecha, ganaderos han realizado la quema de bosques, incluyendo manglares para implementar la producción de ganado (CONAP,2006). Dichas actividades productivas, en la forma en que se realizan actualmente, deterioran cada vez más los recursos naturales, erosionan el suelo, reducen la cobertura boscosa y reducen la cantidad y calidad del agua de las cuencas y además no permiten un desarrollo adecuado de las comunidades humanas. Debido a las actividades anteriormente mencionadas es de vital importancia que las autoridades encargadas de la protección y manejo de ésta área protegida junto con las comunidades que habitan alrededor de la Bahía realicen trabajo en conjunto para desarrollar planes de manejo adecuados y eficientes para normar el uso y explotación de los recursos del área antes de que sea demasiado tarde.

## 10. CONCLUSIONES

- 10.1. La Bahía La Graciosa se compone de nueve especies de árboles pertenecientes a nueve familias. Las especies más abundantes fueron *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), de las cuales *R. mangle* fue la especie dominante. Además de estas dos especies, se encontró otras siete especies pero las frecuencias fueron muy bajas (*Chrysobalanus icaco*, *Pterocarpus officinalis*, *Symphonia glubulifera*, *Hampea sp*, Celastraceae, Flacourtiaceae y Fabaceae).
- 10.2. La dominancia de *R. mangle* en la Bahía La Graciosa puede ser explicada por las adaptaciones que la especie ha adquirido de acuerdo a su origen biogeográfico y por las adaptaciones evolutivas que ha adquirido a las condiciones ecológicas actuales.
- 10.3. La riqueza de especies en la Bahía La Graciosa se caracterizó por la formación de dos grupos según el análisis de ordenación NMDS y el análisis de agrupamiento jerárquico de Morisita y Horn. Esta separación de grupos concuerda con el paso del canal inglés que luego desemboca en La Laguna Santa Isabel, lo cual podría estar provocando que los procesos hidrológicos y de sedimentación sean diferentes en ambos grupos.
- 10.4. El análisis de ordenación NMDS y el análisis de agrupamientos jerárquico de Morisita-horn para las variables estructurales de las especies en los nueve transectos mostraron que existe homogeneidad en cuanto a la estructura (densidad, área basal y altura) de las especies.
- 10.5. Las correlaciones de Spearman demuestran que no existió asociación entre la estructura (densidad, área basal y altura) y composición de las especies de mangle con los parámetros físico-químicos del agua a nivel intersticial (pH,

salinidad, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto) en los nueve transectos en la Bahía La Graciosa. Esto refleja que las condiciones ambientales se mantuvieron homogéneas durante el periodo de tiempo del estudio.

- 10.6.** El análisis de regresión de Mantel con base a las distancias euclidianas para las coordenadas geográficas y las distancias de Bray-Curtis para las abundancias de las especie evidenció que existe un patrón espacial de las especies con una significancia de 0.028. Estos resultados se apoyan por medio de la aplicación del coeficiente de correlación de Spearman para estas variables.
- 10.7.** El patrón espacial de las especies en La Graciosa no pudo ser explicado por los parámetros físico-químicos del agua. Sin embargo, podría ser explicado por la hidrología y el proceso de sedimentación desigual en la bahía.

## **11. RECOMENDACIONES**

- 11.1.** Se recomienda que se realicen mayores esfuerzos para conocer el efecto que podrían ejercer los parámetros físico-químicos del agua a nivel intersticial (pH, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y TDS) en períodos de tiempo más prolongados y en donde se incluyan a las épocas seca y lluviosa.
- 11.2.** Deben efectuarse análisis de concentraciones de nutrientes en el agua tales como fosfatos y nitratos para evaluar la influencia que podrían ejercer sobre la estructura y composición de especies de mangles en La Graciosa.
- 11.3.** Los análisis de la textura y nutrientes de los sedimentos en los sitios seleccionados son útiles para entender de una mejor manera los factores que influyen sobre la estructura y composición de especies de mangles en La Graciosa.
- 11.4.** Concienciar por medio de educación ambiental a los habitantes de La Bahía La Graciosa y en Santa Isabel sobre la importancia de la conservación de los manglares y sobre las consecuencias de la explotación y tala inmoderada de estos árboles para la producción de carbón y el establecimiento de la ganadería.
- 11.5.** Se recomienda que las autoridades del Consejo Nacional de Áreas protegidas (CONAP) quien es el ente rector y la Fundación Mario Dary (FUNDARY) quien es el ente coadministrador, haga velar por el cumplimiento de las leyes y reglamentos que protegen los bosques de manglar de La Graciosa, a través, de la Ley Forestal de Guatemala correspondiente al decreto número 101-96.



## 12. REFERENCIAS

1. Almeda, F., Alverson, W., Anderson, W., Andrade, G., Antonio, R., Arbo, M. Zarucchi, J. (1995). *Flora de Nicaragua*. Missouri Botanical Garden. United States of América: All Rights Reserved, Sait Louis.
2. Agraz-Hernández, C., Noriega-Trejo, R., López-Portillo, J., Flores-Verdugo, F. J y Jiménez-Zacarías, J. (2010). *Guía de campo*. Identificación de Manglares en México: Universidad Autónoma de Campeche.
3. Alongi, D. M. (2002). Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation* 29(3), 331-349.
4. Andrewartha, H. G. y Birch L.C. (1954). *The distribution and abundance of animals*. Chicago: University of Chicago. 782 pp.
5. Arce, C. (1993): Escalamiento Multidimensional. *Una Técnica Multivariante para el Análisis de Datos de Proximidad y Preferencia*. Barcelona: PPU.
6. Arrecis, M. (1992). Análisis de la asociación de manglar en Manchón, San Marcos Retalhuleu: Universidad de San Carlos, (tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia). Guatemala.
7. Arrivillaga, Ay Baltz, D. (1999). Comparison of fishes and macroinvertebrates on seagrass and bare-sand sites on Guatemala's Atlantic coast. *Bulletin of marine science* 65, 301-309.
8. Briquet, J. (1895). Verbenaceae. Pp. 132-182 in Die Naturlichen Pflanzenfamilien, Vol. 4, part 3a, eds. A. Engler and K. Prantl. Leipzig: W. Engelmann.

9. Blasco, F. (1988). *Estudio sobre los manglares y de la vegetación tropical utilizando datos proporcionados por satélites*. Institute de la Carte Internacionale de la Vegetation. Inst. Interna. Map. Vegetat. Fracica: Univ. Paul Sabtier. 120 p.
10. Cantino, P. (1992). Evidence for a polyphyletic origin of the Labiatae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 79,361-379.
11. Cintrón, G.(1982). *Mangrove forest: ecology and response to natural and man induced stressors*. Sao Paulo: UNESCO.
12. Cintrón, G; Lugo A.; Pool, D.; Morris, G. (1978). Mangroves of arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. *Biotropica*; 10(2), 110.121.
13. CONABIO. (2009). *Manglares de México: extensión y distribución*. 2ª. Edición. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 99pp.
14. Cook, C. (1996). *Aquatic Plant Book*. Segunda edición. Holanda: Academic Publishing. Amsterdam.
15. Davis, T.J., Blasco, D., y Carbonell, M. (1996). *Manual de la Convención Ramsar. Una guía a la Convención sobre los humedales de Importancia Internacional*. Gland, Suiza: Oficina Ramsar.
16. Day, J.; Conner, W.; Ley-Lou F. and R., Machado, A.(1986). The productivity and composition of mangrove forests, Laguna de Términos, México. *Aquatic Botany*, 27(87), 267-284.
17. Duke, N.C. (1992). *Mangrove floristics and biogeography*. Pp.63-100 in *Tropical Mangrove Ecosystems*. A.I. Robertson and D.M. Alongi, Washington DC., USA: Eds. American Geophysical Union.

18. Ellison, J.C. and D.R. Stoddart. (1991). Mangrove ecosystem collapse during predicted sea-level rise: Holocene analogues and implications. *Journal of Coastal Research* 7, 151-165.
19. Elster, C., L. Perdomo-Trujillo y M.L. Schnetter. (1999). Impact of ecological factors on the regeneration of mangroves in the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Forest Ecology and Management* 131,201-214.
20. Farnsworth, E. J. y Ellison, A. M. (1991). *Patterns of herbivory in Belizean mangrove swamps. Biotropica* 23,555-567.
21. Field, C. (1996). *Restoration of mangrove ecosystem*. Japan: International Society of Mangrove Ecosystems, Okinawa, 250 pp.
22. Flores-Verdugo, F.J. (1989). *Algunos aspectos sobre la ecología, uso e importancia de los ecosistemas de manglar*. Cap. 2,21-56. Temas de Oceanografía y Biología en México. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada.
23. FUNDARY (Fundación Mario Dary Rivera, GT). (2001). *Evaluación ecológica rápida del refugio de vida silvestre Punta de Manabique, Izabal, Guatemala, C.A.* Guatemala: The Nature Conservancy, PROARCA-Costas. 232 p.
24. FUNDARY (Fundación Mario Dary Rivera, GT); ONCA (Organización Nacional para la Conservación del Ambiente). (2001). *Plan maestro 2002-2006 del área de protección especial Punta de Manabique*. Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas / Fundación Mario Dary Rivera. 91 p.
25. Gerrit, D, Sousa, M. y Chater, A.(1994).Flora Mesoamericana, Volumen 6: *Alismataceae a Cyperaceae*. Ciudad de México: Impreso en el Instituto de Biología de la Universidad Autónoma de México.

26. Gilman, E., Ellison, J., Duke, N. and Field, C. (2008). Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. *Aquatic Botany*, 89 (2008), 237-250.
27. Godoy, J. (1980). *Distribución, composición florística y estructura del manglar en las Lisas*. Tesis de Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
28. Harris, J. y Woolf, H. (2009). *Plant identification Terminology: An illustrated glossary*. Tercera edición. Estados Unidos: Editorial Spring Lake Publishing, Spring Lake, Utah.
29. Hebrew University of Jerusalem. (1984). *The ecosystem of the mangal: General considerations (In FD and I. Dor eds. Hydrology of the mangal*. The Hague: Br. W. Junk Pub.).
30. Jiménez, J. A. (1994). *Los manglares del Pacífico centroamericano*. Universidad Nacional de México. México: Instituto Nacional de Biodiversidad. UNA. 336 p.
31. Kangas, P. and Lugo, E. (1990). The distribution of mangrove and salt marsh in Florida. *Tropical Ecology*: 31(1), 32-39.
32. Krebs, C.J. (1978). *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. Nueva York: Harperry Row, Publishers, 678 pp.
33. Lema Vélez y Jaime Polanía. (2006). Estructura y dinámica del manglar del delta del río Ranchería, Caribe Colombiano. *Biología Troocial* 55(1), 11-21.
34. López-Portillo, J., Martínez, M.L., Hesp, P., Hernández, J.R., Méndez, A.P., Vásquez-Reyes, V., Gómez, L.R., Jiménez-Orocio, O. y Gachuz, S. L. (2011). *Atlas de las Costas de Veracruz. Manglares y dunas costeras*. Xalapa, Veracruz, México: Coordinación editorial Nelly Palafox.
35. Lot, A; Novelo, A; Olvera, M y Ramírez, P.(1999). *Catálogo de angiospermas acuáticas de México: Hidrófitas estrictas emergentes, sumergidas y flotantes*

(*Cuaderno Primera edición*. Ciudad de México: Impreso en Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología (IBUNAM).

36. Lugo, A. and Snedaker C. (1974). The ecology of mangroves. *Ann Rev. of Ecol. And Syst.* 5(1972), 39-64.
37. McKee, K. L. (1995). Mangrove species distribution and propagule predation in Belize: an exception to the dominance-predation hypothesis. *Biotropica* 27(3), 334-345.
38. McKee, Ky Faulkner, P. (2000). Restoration of biogeochemical function in mangrove forests. *Restoration Ecology* 8, 247-259.
39. Méndez, C.A., Lara, O., y Flores, M. (2001). *Inventario Nacional de Humedales de Guatemala*. Guatemala: Editores Margareth Dix, Juan F. Fernández. – San José, CR.: UICN-Mesoamérica: CONAP: USAC.
40. Morales, J. (1979). *Importancia nacional del uso y manejo racional para la conservación del mangle (Rhizophora mangle L.) en el Litoral Pacífico*. Guatemala: Guatemala: Universidad de San Carlos, (tesis de licenciatura, Facultad de Agronomía).
41. Moreno, N. (1984). *Glosario Botánico Ilustrado*. Primera edición. Ciudad de México: Compañía Editorial Continental, S.A de C.V.
42. Moreno-Casasola, P.; J. L. Rojas; O. Zárate. M. A. Ortiz, A. L. Lara y T. Saavedra. (2002). *Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática*. *Madera y Bosques*. Número especial: 61-88.
43. Moreno-Casasola, P. Infante, D. (2009). *Manglares y selvas inundables*. Primera edición. México: Instituto de Ecología, A.C. (INECOL).
44. Novelo, A.(2008). *Plantas acuáticas de la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla*. México: Editado por Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable A.C.

45. Pannier, R. (1972). *Estructura y Dinámica del ecosistema de manglares; un enfoque global de la problemática*. P. 46.55 (En memorias del Seminario Latinoamericano sobre el Estudio Científico y el impacto humano en el Ecosistema de Manglar) Montevideo: UNESCO.
46. Pool, D., Lugo, A. and Snedaker, S. (1975). *Litter production in mangrove forests of southern Florida and Puerto Rico*. In: G.E. Walsh, S.C. Snedaker and H.J. Teas. Florida: (Editors), Proc. Int. Symp. Biology and Management of Mangroves. Institute of Food and Agriculture Sciences, University of Florida, Gainesville, pp 213-237.
47. Pool, D., Snedaker, S. and Lugo, A. (1977). Structure of mangrove forests in Florida, Puerto Rico, México and Central America. *Biotropica*, 9,195-212.
48. Ramsar. (2006). *Manual de la convención de Ramsar: Guía a la convención sobre los humedales (Ramsar, Irán, 1971)*. 4ª edición. Irán: Secretaría de la convención de Ramsar.
49. R Development Core Team. (2010). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing*. Viena, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.
50. Sáenz J. A.(1984). *Estudio de algunos parámetros físico-químicos del ecosistema estuarino y su relación con el desarrollo de Rhizophora mangle L. en el manglar de Las Lisas*. Guatemala: Universidad de San Carlos (tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia).
51. Sheskin, D. (2004). *Parametric and non parametric statistical procedures*. Third edition. United States of America: Chapman & Hall/CRC Company.
52. Smith, T.J. (1987).Seed predation in relation to tree dominance and distribution in mangrove forests. *Ecology* 68, 266-273.

53. Snedaker, S. (1982). *Mangrove species zonation: why?* In: D.N. Sen and K.S. Rajpurojit (Editors), *Tasks for Vegetation Science*. Vol 2. Junk, The Hague. pp.111-125.
54. Snedaker, S. and Brown, M. (1981). *Water quality and mangrove ecosystem dynamics*. EPA, Office of Research and Development, Gulf Breeze, Fl, EPA,600 (4), 81-022.
55. Sobrado, M.A. (2002). Effect of drought on leaf gland secretion of the mangrove *Avicennia germinans* L. *Trees* 16, 1-4.
56. SOBRADO, M. A. (2004). Influence of external salinity on the osmolality of xylem sap, leaf tissue and leaf gland secretion of the mangrove *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. *Trees* 18, 422-427.
57. Standley, P. y Steyermark, J. 1958. *Flora de Guatemala, Volumen 24, Parte I*. Editado en el Museo de Historia Natural de Chicago. Impreso en Estados Unidos de América: University of Illinois.
58. Stevens, P.F. (2001). *Angiosperm phylogeny website*. Version 12, July 2012. Missouri Botanical Garden. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.
59. Tabilo-Valdivieso, E. (1999). *El Beneficio de los humedales en América Central: el potencial de los humedales para el desarrollo*. 2da edición. Turrialba. C.R.: WWF; Heredia, C.R.: Universidad Nacional, Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre. 58 p.
60. The Nature Conservancy. (2008). *Evaluación Ecorregional del Arrecife Mesoamericano. Plan de Conservación Marina*. Ciudad de Guatemala: Editorial Serviprensa.

61. Thorne, R. (1992). Classification and geography of the flowering plants. *The Botanical Review* 58: 225-348. WAGENITZ, G. 1992. The Asteridae: evolution of a concept and its present status. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 79,209-217.
62. Turner, R. y Lewis, R. (1997). Hydrologic restoration of coastal wetlands. *Wetlands Ecology and Management* 4, 65-72.
63. Twilley, R.R., Lugo, A., Patterson-Zucca. (1986). Litter production and turnover in basin mangrove forest in Southwest Florida. *Ecology* 67(3), 670-683.
64. Yon, M.(1998). Análisis comparativo en el cultivo de ostión de manglar (*Crassostrea rhizophorae*). Universidad de San Carlos (tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia).
65. Whittaker, R. (1966). Forest dimensions and production in the Great Smokey mountains. *Ecology*, 47,103-121.
66. Whittaker, R., Borman, F., Likens G and Siccama T. (1974). The Hubbard brook ecosystem study: forest biomass and production. *Ecological Monographs* 44,233-254.

### 13. Anexos

**Anexo 13.1.** Valores de correlación de Spearman y significancia de las correlaciones entre las variables físico-químicas del agua (pH, salinidad, temperatura, profundidad, oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno y TDS) con la estructura (densidad, altura y área basal) y composición (riqueza de especies) de las especies.

<b>Variables correlacionadas</b>	<b>Spearman (r)</b>	<b>Significancia (p)</b>
<b>pH-densidad</b>	0.021	0.957
<b>pH- área basal</b>	-0.393	0.295
<b>pH altura</b>	-0.573	0.107
<b>Salinidad-densidad</b>	0.142	0.716
<b>Salinidad-área basal</b>	-0.414	0.268
<b>Salinidad-altura</b>	-0.365	0.334
<b>Temperatura-densidad</b>	0.273	0.478
<b>Temperatura-área basal</b>	-0.414	0.268
<b>Temperatura-altura</b>	-0.646	0.066
<b>Profundidad-densidad</b>	-0.247	0.522
<b>Profundidad-área basal</b>	0.032	0.935
<b>Profundidad-altura</b>	0.335	0.378
<b>Oxígeno disuelto-densidad</b>	0.143	0.766
<b>Oxígeno disuelto-área basal</b>	-0.139	0.714
<b>Oxígeno disuelto-altura</b>	-0.209	0.558
<b>%Oxígeno-densidad</b>	0.139	0.721
<b>%Oxígeno-área basal</b>	-0.150	0.699
<b>%Oxígeno-altura</b>	-0.227	0.558
<b>TDS-densidad</b>	0.137	0.724
<b>TDS-área basal</b>	-0.417	0.265
<b>TDS-altura</b>	-0.375	0.320

Fuente de datos experimentales



**Anexo 13.2.** A. *Rhizophora mangle* de la Bahía La Graciosa. B. Flor de *Rhizophora mangle* en la Bahía La Graciosa.



**Anexo 13.3.** A. Muestreo de las variables estructurales de *Laguncularia racemosa* en la Bahía La Graciosa. B. Flor de *Laguncularia racemosa*



**Anexo 13.4.** Toma de datos físico-químicos del agua intersticial



**Anexo 13.5.** Toma de datos físico-químicos del agua intersticial

**Manglares de Bahía La Graciosa, Punta de Manabique, Izabal, Guatemala**

**Nombre del sitio** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Transecto** \_\_\_\_\_ **Punto** \_\_\_\_\_

**Fecha** \_\_\_\_\_ **Hora** \_\_\_\_\_

**Coordenadas:** **N** \_\_\_\_\_ **O** \_\_\_\_\_

**Altitud** \_\_\_\_\_ **mcam**

**Dist. De la orilla** \_\_\_\_\_ **m**

**Profundidad** \_\_\_\_\_ **m**

**Corriente:** **Suave** \_\_\_\_\_ **Moderada** \_\_\_\_\_ **Fuerte** \_\_\_\_\_



**Datos físico-químicos de agua superficial**

**Profundidad** \_\_\_\_\_ **m**

**T° Agua** \_\_\_\_\_ **°C** **pH** \_\_\_\_\_ **Salinidad** \_\_\_\_\_ **‰**

**O<sub>2</sub> Disuelto** \_\_\_\_\_ **mg/l** **% Conductividad** \_\_\_\_\_ **µS/cm**

**TDS** \_\_\_\_\_ **mg/l** **g/l** **uv** \_\_\_\_\_ **mS/cm**

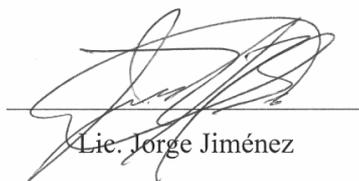
	<b>Especie</b>	<b>Díámetro</b>	<b>Altura</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Distancia</b>
<b>Arbol 1</b>	_____	_____	_____	_____	_____
<b>Arbol 2</b>	_____	_____	_____	_____	_____
<b>Arbol 3</b>	_____	_____	_____	_____	_____
<b>Arbol 4</b>	_____	_____	_____	_____	_____

**Anexo 13.6.** Boleta de muestreo de manglares en La Bahía La Graciosa



Br. Celeste Ligia Méndez Ortiz

Autora



Lie. Jorge Jiménez

Asesor



Dr. Juan Fernando Hernández

Revisor



Dr. Sergio Melgar

Director

Escuela de Biología



Dr. Óscar Cobar Pinto

Decano

Fac. de Ciencias Químicas y Farmacia

