

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

**“ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD DE LAS PRADERAS DE  
PASTOS MARINOS EN LA LAGUNA MARINO-COSTERA DE  
LA BAHÍA LA GRACIOSA, IZABAL, GUATEMALA.”**

INFORME DE TESIS

Presentado por

**Boris David MacDonald Barrios**

Para optar al título de

**Biólogo**

Guatemala, noviembre de 2011

**“ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD DE LAS PRADERAS DE  
PASTOS MARINOS EN LA LAGUNA MARINO-COSTERA DE  
LA BAHÍA LA GRACIOSA, IZABAL, GUATEMALA.”**

INFORME DE TESIS

Presentado por

**Boris David MacDonald Barrios**

Para optar al título de

**Biólogo**

Guatemala, noviembre de 2011

## Junta Directiva

Dr. Oscar Manuel Cobar Pinto	Decano
Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto M.A	Secretario
Licda. Liliana Vides de Urizar	Vocal I
Dr. Sergio Alejandro Melgar Valladares	Vocal II
Lic. Luis Antonio Gálvez Sanchinelli	Vocal III
Br. José Roy Morales Coronado	Vocal IV
Br. Cecilia Liska de León	Vocal V

## DEDICATORIA

A Dios, por acompañarme y estar conmigo en cada instante de mi vida.

A Guatemala por su extraordinaria naturaleza.

A mis padres Boris MacDonald y Elizabeth Barrios, por todo su amor, paciencia y apoyo para siempre seguir mis sueños.

A mis hermanos Christian y Kenneth, por su apoyo y ejemplo en todos los aspectos.

A mis abuelos, por compartir sus enseñanzas y regalarme su tiempo.

A mis tíos y primos por su apoyo y amistad.

A Celeste, por su amor, amistad y por ser la inspiración de mi vida. Te amo.

A Santiago, por su risa, amor y por hacer mi vida realmente extraordinaria. Te amo.

A mis amigos y colegas, Yasmín, Maura, Gandhi, Rox, Roberto, Dulce, Rosa, Carla, Rosario, Diego, Karen, Jorge, Jéssica, Gaby, José Juan, Gerson, Alejandro, Marielos, Óscar, Raquel, Chepe, Mónica, Nora, Natalia, Mervin, Laura, y al resto de compañeros que hicieron inolvidables mis días dentro y fuera de la Universidad.

A la Escuela de Biología por convertirse en mi segunda casa.

A mis profesores, por sus valiosas enseñanzas para mi vida profesional y personal. Especialmente a mis maestros y amigos, Dulce, Claudio, Mercedes, Rosel, Bessie, Rosalito, Ruthie y Yuri por sus consejos fuera del aula.

*“Al perseguir nuestros sueños,  
lo más importante es disfrutar el recorrido,  
que nos llevará a conseguir el éxito”.*

## AGRADECIMIENTOS

A Celeste, por todo su amor y apoyo a lo largo del desarrollo del trabajo de campo y laboratorio de esta investigación. A la Escuela de Biología, particularmente a la Dirección por su apoyo como contraparte institucional facilitando el desarrollo administrativo y logístico A César, Mario y Estuardo de la Fundación Mario Dary Rivera –FUNDARY- del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique. Al personal del Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP- por su apoyo logístico. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología -CONCYT- por el financiamiento. A Dulce Bustamante, por su fabulosa asesoría en la parte estadística. A Claudio Méndez por ayudarme a aterrizar mis ideas. A Jorge Mario Vargas por la revisión de este documento. A los Doctores Antonio Lot y Pedro Ramírez-García del Laboratorio de Vegetación Acuática del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México –IBUNAM-, por compartir su amistad, enseñanzas, y experiencias. Al Doctor Jorge Terrados, del Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados –IMEDEA-por sus enseñanzas y valioso apoyo con la literatura. Al Laboratorio de Análisis de Suelo, Agua, Planta de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos. A Sandrita, Alma y Mirla, por su apoyo y asesoría. A Daunno Chew y Roberto Garnica por su apoyo en la elaboración de los mapas. A Gerson Ochaeta y Alejandro Fuentes, por su apoyo en el montaje del material botánico. A Iliana Cano y Ana Díaz por su colaboración en la toma de datos.

Y a todas aquellas personas que apoyaron de una u otra forma al desarrollo de ésta investigación para que se llevara a cabo.

## ÍNDICE

1. RESUMEN.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	4
3. ANTECEDENTES.....	6
3.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LOS PASTOS MARINOS.....	6
3.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS FAMILIAS.....	8
3.2.1 <i>Zosteraceae</i> .....	8
3.2.2 <i>Cymodoceaceae</i> .....	9
3.2.3 <i>Posidionaceae</i> .....	9
3.2.4 <i>Hydrocharitaceae</i> .....	10
3.2.5 <i>Ruppiaceae</i> .....	10
3.2.6 <i>Zannichelliaceae</i> .....	11
3.3 HISTORIA DE VIDA.....	11
3.4 DISTRIBUCIÓN.....	14
3.5 DISTRIBUCIÓN A NIVEL LOCAL (PAISAJE MARINO), VARIABLES FÍSICAS QUE AFECTAN LA DISTRIBUCIÓN.....	16
3.5.1 <i>Luz</i> .....	16
3.5.2 <i>Oleaje y Movimiento del Agua</i> .....	17
3.5.3 <i>Salinidad</i> .....	18
3.5.4 <i>Temperatura</i> .....	18
3.6 MORFOLOGÍA.....	19
3.7 ECOLOGÍA.....	21
3.8 ESTUDIOS REALIZADOS EN EL ATLÁNTICO DE GUATEMALA.....	23
3.9 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	24
3.9.1 <i>Laguna marino-costera de la Bahía La Graciosa</i> .....	24
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 UNIVERSO DE TRABAJO.....	30
7.1.1 <i>Universo</i> .....	30
7.1.2 <i>Muestra</i> .....	30
7.1.3 <i>Unidad Muestral</i> .....	30
7.1.4 <i>Temporalidad</i> .....	30
7.1.5 <i>Variables dependientes</i> .....	30
7.1.6 <i>Variables independientes</i> .....	30
7.2 MATERIALES.....	30
7.3 MÉTODOS.....	32
7.3.1 <i>Fase Preparatoria</i> .....	32
7.3.2 <i>Fase de Campo</i> .....	33
7.3.3 <i>Técnica de Recolección de Datos</i> .....	34
7.3.4 <i>Análisis de las muestras vegetales</i> .....	36
7.3.5 <i>Análisis de las muestras de sedimento</i> .....	36
7.3.6 <i>Análisis de los Datos</i> .....	38
8. RESULTADOS.....	41
8.1 DIVERSIDAD DE ESPECIES (RIQUEZA) DE PASTOS MARINOS.....	41
8.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS CUADRANTES EVALUADOS.....	44
8.3 DISTRIBUCIÓN DE PASTOS MARINOS DE LA LAGUNA MARINO-COSTERA DE LA BAHÍA LA GRACIOSA.....	54
9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	57
10. CONCLUSIONES.....	64
11. RECOMENDACIONES.....	66
12. REFERENCIAS.....	68
13. ANEXOS.....	80

## 1. Resumen

La riqueza y distribución de los pastos marinos, se encuentra influenciada por las variaciones de los parámetros físicos y químicos del agua y del sustrato, sin embargo estos por sí solos no son capaces de explicar los procesos que conllevan a esta riqueza y distribución de especies. El presente estudio pretendía contribuir al conocimiento ecológico de las praderas de pastos marinos; determinando la influencia de la profundidad y la textura del sustrato, así como de otros parámetros ambientales. Este estudio fue desarrollado en el mes de abril de 2010 en la laguna marino-costera de la bahía la Graciosa, dentro del Refugio de Vida silvestre Punta de Manabique, en el departamento de Izabal. Para evaluar la hipótesis de que la profundidad y el tipo de sustrato son los factores que mejor determinan los cambios en la riqueza y distribución de la especies, se utilizó un muestreo sistemático colocando 200 cuadrantes anidados dentro de 50 transectos lineales, dispuestos de manera perpendicular alrededor del perímetro de la laguna, en cada uno de los cuadrantes se evaluó la riqueza y los parámetros ambientales. Las especies reportadas son: *Thalassia testudinum*, *Halodule beaudettei*, *Halodule wrightii*, *Ruppia maritima*, *Halophila baillonii*, y *Halophila engelmannii*. Se observó que existen diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) en la riqueza y distribución de las especies de pastos marinos, a pequeños incrementos de pH, teniendo una relación positivo. Y a un aumento en el contenido de los porcentajes de limo y arena, produciendo una disminución y un aumento respectivamente, en la riqueza de especies. Esto fue corroborado con la utilización de un modelo mixto lineal generalizado. El modelo describe la variación de los parámetros fisicoquímicos del agua y del sustrato y la influencia de los mismos en la riqueza y distribución de los pastos marinos para un determinado tiempo y espacio.

## 1. Introducción

Guatemala junto con México, Belice y Honduras forma parte de uno de los sitios más importantes de biodiversidad marina a nivel mundial, dentro del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), teniendo como ecosistemas principales, los arrecifes de coral, las praderas de pastos marinos, los manglares y otros humedales costeros (García-Salgado y otros, 2006).

Dentro de esta importante diversidad biológica los pastos marinos juegan un papel importante en el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos y de la fauna que habita en ellos, ya que, provee de materiales y sustratos (Björk y otros, 2008) aportando buena parte de la energía y nutrientes para muchos organismos como peces, invertebrados, tortugas marinas y algunos mamíferos como el manatí. Además son componentes indispensables en la dinámica y mantenimiento de las poblaciones de peces e invertebrados marinos, ya que, son las zonas de refugio y crianza para los estadios juveniles de estos organismos. También, contribuyen a la mineralización de la materia orgánica depositada en el agua y a su oxigenación, filtración y transparencia (Novelo y Lot, 1989; Björk y otros, 2008).

La laguna marino-costera de la bahía la Graciosa, es una laguna poca profunda, rodeada de bosques de manglar, la laguna tiene una profundidad media de 2 metros, y en su interior hay extensas praderas de pastos marinos (Arrivillaga & Baltz, 1999).

El propósito de éste estudio fue contribuir a la ecología a escala macroecológica de las praderas de pastos marinos; determinando la influencia de la profundidad, la textura del sustrato y otros factores fisicoquímicos del agua, en los cambios en la diversidad y la distribución espacial de los pastos marinos de la laguna marino-costera de la Bahía La Graciosa.

Con esta información se podrá comprender los posibles impactos por las actuales o futuras condiciones del área, pudiendo ser un elemento clave para la toma de decisiones acerca del manejo y uso racional de los humedales marino-costeros y de los recursos naturales que estos nos brindan, y de esta manera poder plantear alternativas en el diseño de estrategias y soluciones de conservación y restauración a los problemas que existen en la actualidad en estos ecosistemas acuáticos.

## 2. Antecedentes

### 2.1 Definición y clasificación taxonómica de los Pastos Marinos

Los pastos marinos son plantas con flores (angiospermas) que se han adaptado a la vida de los ambientes marino-costeros en la mayoría de los continentes del mundo. Algunas especies necesitan estar emergentes en mareas bajas o bajo la influencia del agua dulce para reproducirse (Short, Coles & Pergent-Martini, 2001, p. 5). El término de pastos marinos “seagrass” en inglés deriva de algunas variantes lingüísticas del idioma alemán y hace referencia indudablemente al hábito gramíneo de la mayoría de sus representantes. (den Hartog & Kuo, 2006, p. 1).

Estos descendientes de las plantas terrestres que volvieron al océano alrededor de 100 a 65 millones de años atrás (Björk, Short, Mcleod & Beer, 2008) conforman un gremio no así un solo grupo filogenético, y varias familias de pastos marinos no están cercanamente relacionadas (Kuo & den Hartog, 2001, p. 31). Los taxa concernientes a los pastos marinos pertenecen a un limitado número de familias de plantas, todas clasificadas en el superorden Alismatiflora (Monocotiledóneas) según Dalgren, et al. en 1985, también conocida como Helobiae según Tomlinson en 1982 (den Hartog & Kuo, 2006, p. 1).

Hay relativamente pocas especies en el mundo, alrededor de unas 60, y estas están agrupadas en 12 géneros en 4 familias. (Short, y otros, 2001, p. 5). Las familias donde se agrupan los pastos marinos son Zosteraceae (tres géneros), Cymodoceaceae (cinco géneros), Posidoniaceae (un género), e Hydrocharitaceae (3 de 17 géneros). Aparte de estos 12 géneros de angiospermas no existen otros géneros que se encuentren reportados

al ambiente marino. En otras dos familias de plantas acuáticas se han encontrado dos especies que ocurren exclusivamente en hábitats marinos, *Ruppia* aff. *tuberosa* de la familia Ruppiales y *Lepilaena marina* de la familia Zannichelliaceae. La inclusión de estas especies dentro del grupo de los pastos marinos, es aún motivo de debate para los expertos (Kuo & den Hartog, 2001; den Hartog & Kuo, 2006, p. 1).

Arber en 1920 formuló un juego de cuatro características, que en su opinión son indispensables para que una planta sobreviva en el ambiente marino: 1. Las plantas deben de estar adaptadas a la vida en el medio salino, 2. Las plantas deben de poder crecer completamente sumergidas, 3. Las plantas deben de tener un sistema seguro de anclaje y 4. Las plantas deben de tener un mecanismo de polinización hidrófila. Es obvio que los pastos marinos cumplen estos requerimientos, ya que su estado vegetativo y su ciclo reproductivo lo realizan completamente sumergidos y en un medio salino (den Hartog & Kuo, 2006, p. 2).

Estas características sin embargo no están completas, ya que, otros taxa de plantas acuáticas cumplen a cabalidad estos cuatro criterios y sin embargo no habitan en ambientes marinos, no obstante son mejores tolerando los cambios en la salinidad. Según den Hartog (1981) estas plantas acuáticas forman un grupo ecológico denominado “euosalino” que se caracteriza por habitar aguas con una salinidad inestable como lo son las aguas mixtas e hiperhalinas, aguas ligeramente saladas, continentales y aguas saladas donde el anión dominante puede ser el  $\text{Cl}^-$ , el  $\text{SO}_4^{2-}$  o el  $\text{HCO}_3^{2-}$ . Así que los verdaderos pastos marinos tienen características para habitar ambientes marinos homohalinos, mientras que los miembros euosalinos ocurren en aguas poiquilosalinas. Al parecer estas especies

eurosalininas podrían vivir bajo circunstancias marinas, pero usualmente no son capaces de competir eficazmente con los pastos marinos. Según den Hartog (1970) es probable de acuerdo a una regla básica en ecología, que a un amplio rango de tolerancia ambiental, las fluctuaciones estén relacionadas con una reducida capacidad de competir con taxa más estenobióticas, bajo circunstancias más o menos estables.

Hay que aclarar que no todas las especies de pastos marinos son estenohalinos en el mismo grado, particularmente algunos géneros como *Zostera*, *Cymodocea*, *Halodule* y *Halophila* pueden penetrar en extensos estuarios en donde se pueden encontrar con las plantas acuáticas eurosalininas (den Hartog & Kuo, 2006, p. 2).

### **3.2 Características de las Familias**

#### **3.2.1 Zosteraceae**

*Zosteraceae* Dumortier, Anal. Fam. Pl. (1829) 65, 66; nom. cons.

Tipo: *Zostera* L.

Plantas marinas monoicas o dioicas. Rizoma rastrero, herbáceo, monopódico o simpódico, usualmente no desarrollado, endospermo ausente, células de taninos ausentes. La familia consiste de tres géneros, viz. *Zostera*, *Heterozostera* y *Phyllospadix*. No hay ninguna duda del estado monofilético de la familia Zosteraceae, el cual ya había sido reconocido por Tomlinson en 1982 fundamentado a partir de caracteres morfológicos. Esto fue confirmado más adelante a través de estudios filogenéticos moleculares de las familias de la subclase Alismatidae (Les, Cleland & Waycott, 1997; den Hartog & Kuo, 2006).

### 3.2.2 *Cymodoceaceae*

*Cymodoceaceae* N. Taylor in a N. Amer. Fl. 17 (1909) 31; nom. cons.

Tipo: *Cymodocea* König

Plantas marinas dioicas. Rizoma rastrero bien herbáceo, monopódico, enraizando en los nudos (*Cymodocea*, *Syringodium* *Halodule*) o lignificadamente simpódico, y raíces en los entrenudos (*Amphibolis*, *Thalassodendron*). Escamas escariosas, ovada o elíptica, marcadas con unas franjas oscuras más o menos longitudinales, y puntos (células de taninos). Hojas dísticas, vainas de las hojas casi o completamente anchas. (den Hartog & Kuo, 2006, p. 3; Cook, 1996).

### 3.2.3 *Posidoniaceae*

*Posidoniaceae* Hutchinson, Fam. Fl. Pl. 2 (1934) 41; nom. cons.

Tipo: *Posidonia* König

Plantas marinas monoicas perennes. Rizoma rastrero, herbáceo, monopódico, enraizando en los nudos, corteza oscura por la secreción de taninos. Escamas cubriendo el rizoma, parcialmente o completamente amplexicaulo, con finas puntuaciones cafés dispersas (por la presencia de taninos). Vástagos laterales erectos, terminando en manojos con las hojas dicotómicas. Láminas de las hojas amplexicaulas o subamplexicaulas, biauricular, ligulada, con nerviación paralela. Las vainas y las láminas de las hojas con numerosos puntos y franjas oscuras por los taninos. La familia contiene un único género *Posidonia* cuya historia va mas allá del cretácico (den Hartog & Kuo, 2006, p. 7; Cook, 1996).

### 3.2.4 *Hydrocharitaceae*

*Hydrocharitaceae* Juss. Gen. Pl. (1789) 67; nom. cons. pro parte (excluyendo las dicotiledóneas *Nymphaea*, *Nelumbo* *Trapa*, *Proserpinaca*, y la monocotiledónea *Pistia* las cuales fueron incluidas en la primera descripción de la familia).

Tipo: *Hydrocharis* L.

Plantas acuáticas monoicas o dioicas, anuales o perennes, teniendo en cualquier caso un rizoma rastrero monopódico, con raíces en los nudos, las hojas dísticas o raramente trísticas, o con un eje principal erecto, altamente contráctil, con raíces en la base, y hojas espiraladas o verticilado. Hojas sumergidas a veces flotando o parcialmente emergentes, lineares, lanceoladas, elípticas, ovadas u orbiculares, en cualquier caso sésiles, envainando a veces desde la base, o diferenciándose en una hoja y peciolo siempre con una lígula; nerviación más o menos paralela recta o curvada, conectadas por venas ascendentes perpendiculares. Estípulas a veces presentes. La familia contiene 17 géneros de los cuales *Thalassia*, *Halophila* y *Enhalus* son completamente marinos (den Hartog & Kuo, 2006; C. D. Cook, 1996).

### 3.2.5 *Ruppiaceae*

*Ruppiaceae* Horaninov, Prim. Lin. Syst. Nat. (1834) 46; nom. cons.

Tipo: *Ruppia* L.

Hierbas acuáticas sumergidas anuales o perennes. Rizoma rastrero monopódico, algunas veces lateralmente ramificado, en las especies anuales esta considerablemente reducido. Cilindro central con un hilo vascular. Corteza consistente un círculo de canales de aire. Retoños muy cortos o algunos considerablemente largos hasta 2.5 metros, en este caso

profusamente ramificado. Nudos internos elongados variables en largo. Hojas lineares, dísticas con muchas células con taninos, con las vainas de las hojas amplexicaulas. La familia consta de un solo género, el cual está ampliamente distribuido en regiones templadas y tropicales de todo el mundo, desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm. Los representantes de la familia se caracterizan por tener una gran capacidad de adaptación a los cambios bruscos de la salinidad (den Hartog & Kuo, 2006; C. D. Cook, 1996).

### ***3.2.6 Zannichelliaceae***

*Zannichelliaceae* Dumortier, Anal. Fam. Pl. (1829) 59,61; nom. cons.

Tipo: *Zannichellia* L.

Hierbas acuáticas monoicas o dioicas, anuales o raramente perennes. Rizoma rastrero, simpódico, pobremente desarrollado, herbáceo, con raíces en los nudos. Raíces no ramificadas, una raíz por nudo. Escamas en el rizoma membranosas, caducas. Retoños erectos originándose de cada nudo, simpódicos ramificándose profusamente y produciendo las flores en inflorescencias raramente complejas. Hojas dísticas a veces alternadas o en pseudo verticiladas, lineares, verdes con células de taninos, hojas con una lígula. La familia tiene una distribución mundial y consiste de cuatro géneros (den Hartog & Kuo, 2006; C. D. Cook, 1996).

### ***3.3 Historia de Vida***

El pequeño número de especies de pastos marinos, podría considerarse como un indicador del reciente origen evolutivo del grupo, aunque el registro fósil no sustenta esta idea. Existen evidencias que indican que las angiospermas colonizaron el ambiente marino hace

100 millones de años (den Hartog, 1970 en Hemminga & Duarte, 2000), lo que indica una temprana aparición de los pastos marinos en la evolución de las angiospermas, las cuales se originaron hace 400 millones de años (Raven, 1977 en Hemminga & Duarte, 2000).

Los ancestros más probables de los pastos marinos son las plantas acuáticas de agua dulce y las plantas costeras como los manglares. La hipótesis de que los manglares puedan ser los ancestros de los pastos marinos, es defendida ya que algunos géneros de pastos marinos tienen tallos lignificados, comparado con los tallos herbáceos de las plantas acuáticas de agua dulce, y con el hecho de que dos géneros de pastos marinos (*Amphibolis* y *Thalassodendron*) son vivíparos como los manglares (Larkum & den Hartog, 1989 en Hemminga y Duarte, 2000).

El registro fósil de los pastos marinos es aún muy pobre, los especímenes más antiguos pertenecen al Cretácico, perteneciendo al género *Posidonia*, *P. cretacea* hallada en Alemania y *P. oceánica* hallada en los Países Bajos (den Hartog & Kuo, 2006). Existe evidencia de que los géneros más modernos de pastos marinos se establecieron en el Eoceno tardío hace 40 millones de años (Larkum y den Hartog, 1989 en Hemminga y Duarte, 2000) y presentan caracteres morfológicos muy similares a la especies extantes (den Hartog & Kuo, 2006).

El desarrollo de diferentes linajes de pastos marinos ocurrió por lo menos 3 veces distintas durante la evolución del grupo, lo cual fue determinado por el perfil de ADN (*rbcL*) de los cloroplastos de 25 géneros de 15 familias de Alismatidae (Les y otros 1997). Los tres

linajes que determinó el estudio son: 1. Hydrocharitaceae, 2. Posidoniaceae, Ruppiaceae y Cymodoceaceae y 3. Zosteraceae y un 4 linaje correspondiendo a Zannichelliaceae (Figura 1) (Les, D., et al, 1997).

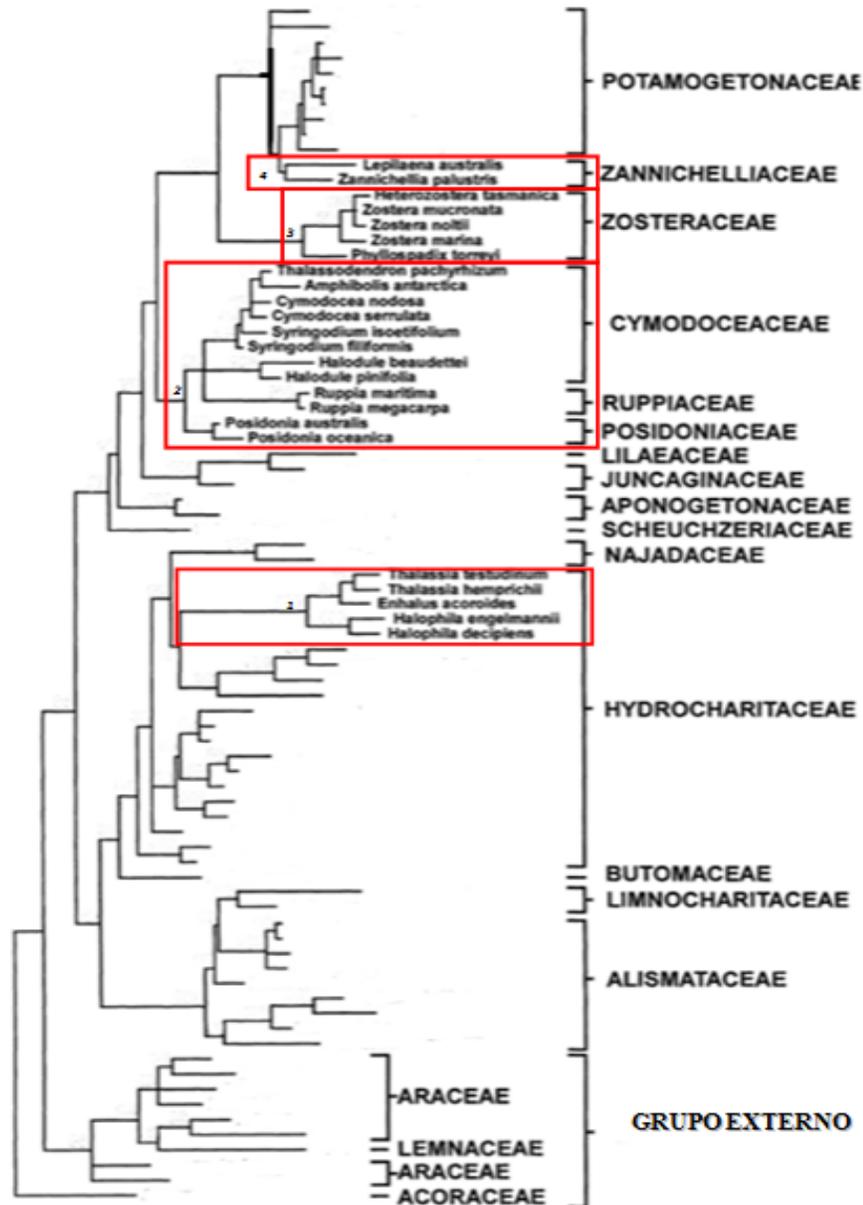


Figura 1. Filogenia de Alismatidae, basada en *rbcL*. En negrita se muestran las especies y familias de pastos marinos, modificado de Les y otros, 1997.

### ***3.4 Distribución***

El primer intento por analizar la distribución geográfica de los pastos marinos fue hecho por Ascherson en 1871, quien produjo el primer mapa mundial de su distribución. Su trabajo fue continuado por los ensayos publicados por Ostefeld (1915) y Setchell (1920,1935). Den Hartog en su monografía publicada en 1970, describe las áreas de todas las especies conocidas, basado en las colecciones disponibles hasta esa fecha, además produjo mapas de distribución de los 12 géneros (den Hartog & Kuo, 2006).

Un aspecto interesante en la distribución de las especies de pastos marinos son las diferencias y similitudes hemisféricas a nivel de género, adicionalmente a esto existen patrones comparables en la ecología de las praderas de pastos marinos que ocurren en el hemisferio norte y sur. El número de géneros en ambos hemisferios es bastante similar con 11 géneros en el norte y 12 géneros en el sur. De estos, ambos hemisferios tiene 10 géneros en común (Short y otros, 2001).

En el sentido amplio las especies de pastos marinos tienen un rango geográfico limitado a las regiones templadas y tropicales. Los pastos marinos de las regiones templadas incluyen a aquellos que habitan el ártico, siendo aproximadamente el mismo número que en las regiones tropicales, con algunos traslapes. Los pastos marinos de las regiones tropicales por lo general ocupan una variedad de hábitats costeros, desde zonas someras hasta los 20 m de profundidad (Short y otros 2001) para algunos géneros como *Halophila spp.*

La distribución de los pastos marinos ha sido definida en 6 bioregiones globales (Figura 1). La región Indo-pacífico Tropical es la que alberga la mayor diversidad de pastos marinos en el mundo, con muchas especies que se encuentran en praderas mixtas, sin ninguna especie dominante; otra de las regiones con una alta diversidad es la Atlántica Tropical, teniendo en este caso a *Thalassia testudinum* como especie dominante. (Björk, y otros 2008). Las tres bioregiones templadas son: Atlántica Norte, Pacífica Norte y los Océanos del Sur. La bioregión Mediterránea alberga especies tropicales como templadas, siendo en este caso *Posidonia oceánica* la especie dominante.

La región Atlántica Tropical alberga las siguientes especies: *Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme*, *Halodule wrightii*, *Halodule beaudettei*, *Halodule bermudensis*, *Halophila decipiens*, *Halophila baillonii*, *Halophila engelmannii*, *Halophila johnsonii*, *Halophila stipulacea* (Tussenbroek, Santos, Wong, van Dijk & Waycott, 2010) y *Halophila ovalis* (Short, Moore, y Peyton, 2010), estas dos últimas fueron introducidas en las islas de Granada y Antigua respectivamente.

El número de especies de pastos marinos y la “distribución de las especies” está determinado en última instancia por nuestro concepto de especie. La historia evolutiva de los pastos marinos de cuatro distintas familias, y que estas no comparten un ancestro en común nos habla del poder del ambiente en crear estructuras morfológicas (Short y otros, 2001).

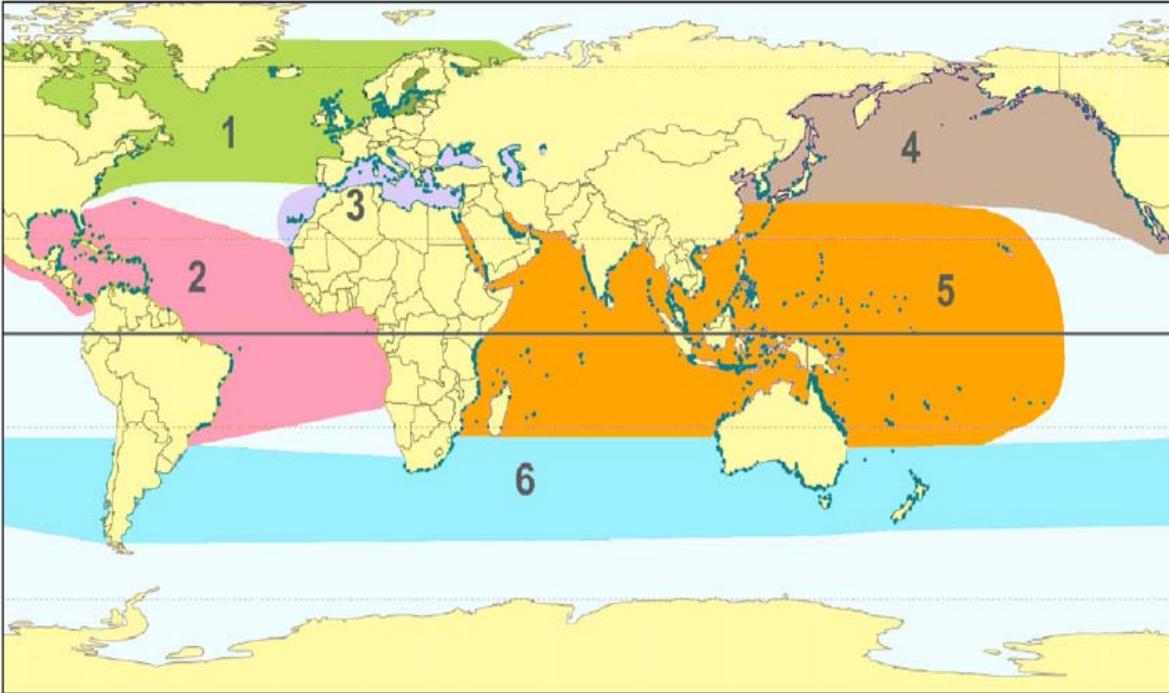


Figura 2. Distribución global en regiones geográficas de los pastos marinos. 1. Templada Atlántico Norte, 2. Atlántico Tropical, 3. Mediterránea, 4. Templada Pacífico Norte, 5. Indo-Pacífico Tropical, 6. Océanos Templados del Sur. Tomado de Björk, y otros, 2008.

### ***3.5 Distribución a Nivel Local (Paisaje Marino), variables físicas que afectan la distribución***

#### ***3.5.1 Luz***

El límite de profundidad máxima de los pastos marinos es determinada en gran medida por la profundidad a la que la intensidad de la luz es suficiente para sostener el crecimiento vegetal al alcanzar el fondo, conocido comúnmente como profundidad de compensación (Short y otros, 2001). Otros de los factores que intervienen son el color y la turbidez del agua, y la disminución del fotoperiodo en las partes más profundas.

El porcentaje de luz mínimo requerido por los pastos marinos es del 10-20% de la luz superficial (Duarte, 1991 en Short y otros, 2001) el cual es superior a otras plantas marinas

debido a la alta demanda de fotosíntesis. Cuando la intensidad de luz se ve aumentada, el crecimiento de los pastos marinos aumenta de forma lineal (Short, 1995 en Coles & Pergeant-Martini, 2001).

Las diferentes especies de pastos marinos tienen requerimientos distintos de luz, y la profundidad máxima a la que se distribuyen puede variar ampliamente de acuerdo a estos requerimientos, pudiendo hacer que la composición de las especies en el fondo varíe. De la misma manera la composición de especies de pastos marinos en las áreas someras y con una alta exposición de la luz, varía, ya que puede estar dominada por especies que son tolerantes a esta condición.

### ***3.5.2 Oleaje y Movimiento del Agua***

El oleaje puede restringir la profundidad a la que los pastos marinos pueden habitar por la disponibilidad de la luz. Las plantas que se encuentran en la parte más baja de la orilla están sujetas a un oleaje más fuerte y a una menor disponibilidad de luz. Las praderas de pastos marinos que se encuentran en la orilla más somera, estas sujetas a un mayor estrés, por la exposición al bajo oleaje, la fotoinhibición, la desecación, el congelamiento, y el daño ocasionado por los rayos ultravioleta (Coles & Pergeant-Martini, 2001).

El movimiento del agua, y la velocidad de la corriente, incluyendo los patrones de circulación y flujo, tienen un efecto en la estructura del hábitat, de las praderas de pastos marinos.

Los cambios físicos en la costa, debido al oleaje extremo, pueden alterar considerablemente el hábitat y la capacidad de crecimiento de los pastos marinos (Coles & Pergeant-Martini, 2001).

### ***3.5.3 Salinidad***

Alrededor del mundo han sido varios los estudios que se han realizado para describir los cambios en la distribución y la abundancia de los pastos marinos y de algunas macrófitas, debido a los gradientes temporales y espaciales de la salinidad. Así mismo algunos estudios reportan que los cambios en la salinidad pueden afectar la capacidad de reproducción y germinación de los pastos (Coles & Pergeant-Martini, 2001).

De esta manera los cambios en la salinidad pueden hacer que la composición de las especies de pastos marinos en un área se modifique y se vea sustituida por especies con un mayor rango de tolerancia.

### ***3.5.4 Temperatura***

La mayor influencia que tiene la temperatura en los pastos marinos es a nivel fisiológico, y se encuentra relacionado a las tolerancias termales, y a las temperaturas optimas para desarrollar la fotosíntesis, la respiración y el crecimiento.

La temperatura también afecta la distribución de las especies de pastos marinos, a través de los efectos que tiene en la floración y en la germinación de semillas (Coles & Pergeant-Martini, 2001), principalmente en las regiones templadas.

La temperatura es el factor principal en la estacionalidad de las especies, y puede ser determinante en el crecimiento anual o perenne de los pastos marinos (Lee y Dunton, 1996; Meling-López e Ibarra Obando, en Coles & Pergeant-Martini, 2001).

### **3.6 Morfología**

La morfología de los pastos marinos (Figura 3) es muy similar a la de las otras plantas con flor. Consistiendo principalmente en raíces o rizomas para el anclaje al sustrato, y para mantener la comunicación entre los brotes como en las otras monocotiledóneas (Hogarth, 2007), los tallos para el soporte mecánico. Y las partes superiores consistiendo en retoños de varias hojas. Por lo general las hojas están protegidas por una vaina basal, la cual se encarga de dar protección a los meristemos apicales y las hojas jóvenes (Kuo & den Hartog, 2006).

Todos los órganos consisten de 3 tejidos básicos los cuales son: 1. La epidermis, la cual le confiere a la planta una protección mecánica a través de la cutícula, encargándose de restringir la transpiración y la aireación. 2. Los haces vasculares, para el transporte de solutos y agua, y 3. El parénquima el cual es el tejido encargado de realizar la fotosíntesis, y esta reforzado con esclerénquima lignificado, para brindarle el soporte mecánico a la planta, junto con un sistema de espacios aéreos que permite el movimiento del agua (Kuo & den Hartog., 2006).

Los pastos marinos varían en tamaño y forma con hojas que van desde 1 centímetro hasta los 5 metros de largo (Hogarth, 2007) y con forma de listones, formas cilíndricas, hasta

pequeñas hojas en forma de remos redondeados (Hemminga & Duarte, 2000; Björk y otros, 2008). Esta morfología característica le confiere a las hojas una relación superficie volumen muy alta, permitiendo una alta difusión de gases y nutrientes entre las hojas y el medio acuoso (Phillips y Meñez, 1988), a pesar de no tener estomas (Hemminga & Duarte, 2000).

Las láminas de las hojas por lo general son simples y desnudas, en algunas conteniendo pelos unicelulares, usualmente en la parte abaxial de la hoja (Kuo, & den Hartog, 2006). Las hojas por lo general crecen en racimos de una hasta diez hojas (Hemminga & Duarte, 2000).

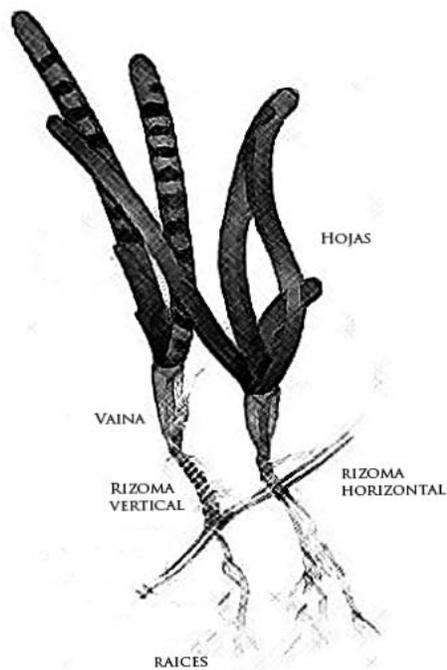


Figura 3. Dibujo con la representación gráfica de un pasto marino, modificado de Martínez., 2007.

Su reproducción es tanto vegetativa como sexual, aunque no es frecuente encontrar flores y se ha estimado que para la mayoría de las especies no más del 10% de los vástagos desarrolla flores en un año (Hemminga & Duarte, 2000). Casi siempre son plantas dioicas,

y las excepciones son proteróginas, por lo que la fecundación cruzada es obligada, y la polinización, con pocas excepciones, ocurre en el agua (Phillips y Meñez, 1988). Las flores pueden ser solitarias o en inflorescencia, y los frutos suelen ser generalmente indehiscentes y portan una sola semilla (Hemminga & Duarte, 2000; Ackerman, 2006; Orth, Harwell & Inglis, 2006).

La morfología y el éxito de la colonización de estas plantas están basados en un sistema de módulos básicos que se repiten vegetativamente, mediante un crecimiento clonal. Se denomina “genet” al individuo genético producido por un cigoto, el que está formado por un conjunto de sub-unidades (o módulos) genéticamente idénticas llamadas “ramets” (Fig. 1; Burdick & Kendrick, 2001).

Estas unidades están constituidas por una porción de rizoma (vertical, horizontal o ambos), un haz de hojas, que nace de un extremo del rizoma, y un sistema radicular. Los patrones de crecimiento de cada especie dependen del tamaño de la planta, de modo que la tasa de renovación es más rápida y la longevidad de los ramets más corta, en las plantas pequeñas que en las grandes. Ello determina la capacidad de colonización y condiciona su papel como especies pioneras o clímax (Duarte, 1991).

### **3.7 Ecología**

Dentro de las funciones que cumplen los pastos marinos, está la de proveer de alimentos a ciertas especies como las tortugas marinas, los macroinvertebrados, los peces herbívoros que se han especializado para digerir a estas plantas con flor. También se encargan de

proveer de sustrato y refugio para crías de peces y macroinvertebrados, brindándoles resguardo de los depredadores (Björk, y otros, 2008).

Los pastos marinos tropicales son muy importantes en sus interacciones con los manglares y los arrecifes de coral, ya que ejercen un sistema de estabilización en el ambiente, siendo indispensables como soporte físico y biológico para otras comunidades. Las praderas de pastos marinos son las encargadas de mantener los estadios larvarios de especies de importancia comercial, como peces, moluscos y crustáceos.

Los pastos marinos intervienen en la captura, estabilización y formación de los sedimentos, ya por su morfología, permiten que al pasar el agua entre sus hojas las partículas de sedimento que se encuentran suspendidas en la masa de agua, choquen con ellas y de esta manera se precipiten (Novelo y Lot, 1989), quedando en la base de los tallos de las plantas, y con el paso del tiempo queden fijas entre el extenso sistema de raíces y sedimentos, evitando que estos sean suspendidos nuevamente (Björk y otros, 2008).

Otro beneficio que brindan los pastos marinos es el de atenuar la velocidad del oleaje, protegiendo las costas de la erosión (Koch, 2001 en Björk y otros, 2008).

Los pastos marinos son las responsables de que en los ambientes en donde se desarrollan, mantengan una adecuada concentración de oxígeno, puesto que los animales asociados, dependen casi exclusivamente de ellos para adquirirlo (Novelo y Lot, 1989), así mismo son la principal fuente de oxígeno para mantener una alta actividad microbiana dentro de los sedimentos, lo que permite que los nutrientes se reciclen eficazmente a partir de materia orgánica muerta (Björk y otros, 2008).

Se ha estimado que la fijación de carbono de los pastos marinos constituye hasta el 1% del carbono total fijado en los océanos, pero que estas plantas almacenan el 12% del carbono oceánico (Duarte y Cebrián. 1996 en Björk y otros, 2008) Por lo tanto, la muerte progresiva de las praderas de pastos marinos puede acelerar las emisiones de dióxido de carbono a nivel mundial (Björk y otros, 2008).

### ***3.8 Estudios realizados en el Atlántico de Guatemala***

Los estudios realizados con pastos marinos en el Atlántico de Guatemala se han desarrollado principalmente en el cayo de la Graciosa, dentro del área protegida del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique. Las especies que se reportan como más abundantes son *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme* (Arrivillaga & Baltz, 1999).

El estudio de Arrivillaga y Baltz en 1999 cuyo objetivo fue el comparar la diversidad de peces y macroinvertebrados en pastos marinos y sustratos sin vegetación. Más tarde en el 2006, Galán realiza un estudio comparativo de la diversidad y morfometría de *Thalassia testudinum* en dos sitios de la bahía la Graciosa. Durante la realización de mi Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) se colectaron 6 especies de pastos marinos en 5 sitios de muestreo dentro de la bahía la Graciosa, en los meses de diciembre 2008 y junio 2009, sin que se evidenciara un cambio en la diversidad alfa en ambas temporadas.

### **3.9 Descripción del área de estudio**

#### **3.9.1 Laguna Marino-Costera de la Bahía la Graciosa:**

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 4). Es una laguna costera poco profunda, rodeada de bosques de manglar, con *Rhizophora mangle* como especie predominante (Arrivillaga & Baltz, 1999).

Los sustratos arenosos dominan la boca de la bahía, mientras que el interior está dominado por sustratos de limo y arcilla. La bahía tiene una profundidad media de dos metros, y con una profundidad máxima de 9 metros. El rango de mareas es pequeño con un máximo de un metro. La principal influencia de agua de dulce es el área de Río Dulce, el cual está ubicado al este de la costa atlántica (Arrivillaga & Baltz, 1999).

La particularidad del área se debe a la configuración, posición geográfica, relaciones orográficas, naturaleza del sustrato y nivel freático muy alto.

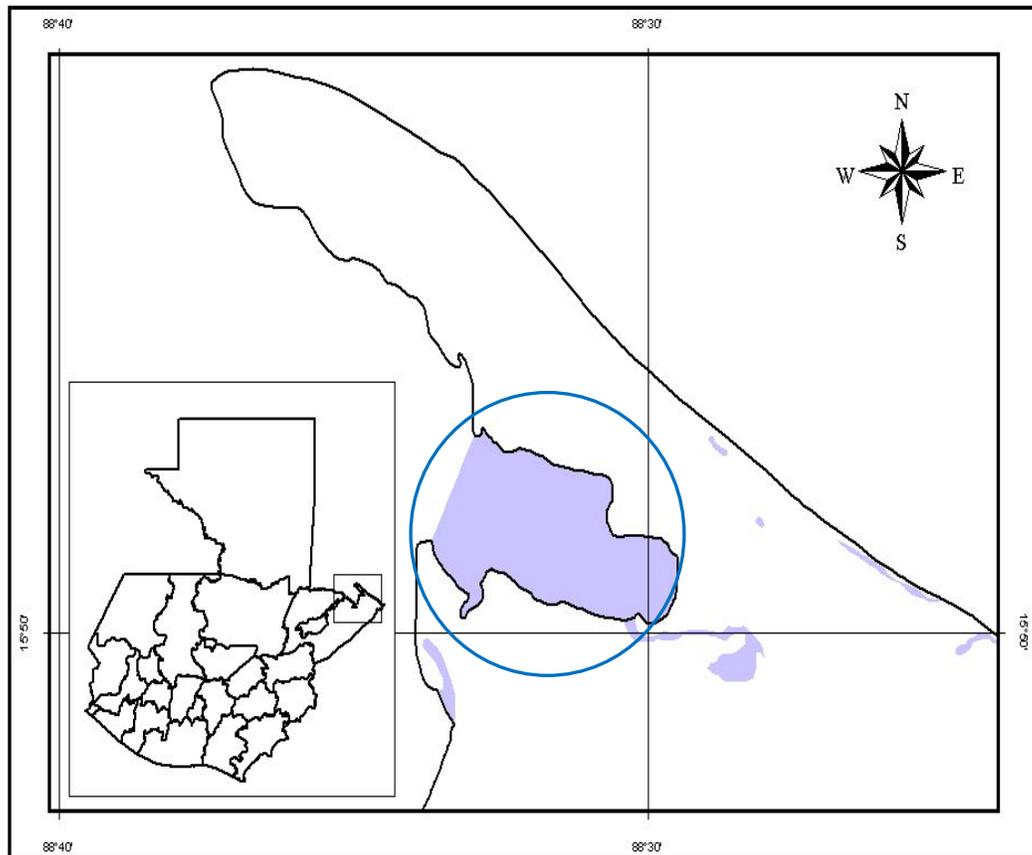


Figura 4. Localización geográfica de la laguna marino-costera de la Bahía la Graciosa, en el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, departamento de Izabal, Guatemala.

### 3. Justificación

Las praderas de pastos marinos son un grupo de plantas angiospermas que habitan aguas poco profundas que presentan un papel muy importante en el funcionamiento de los humedales marino-costeros, ya que, dentro de la estructura trófica de los ecosistemas, fungen como productores primarios, aportando buena parte de la energía y de nutrientes en el sistema para muchos organismos como peces, invertebrados, tortugas marinas y algunos mamíferos como el manatí. Además, son componentes indispensables en la dinámica y mantenimiento de las poblaciones de peces e invertebrados marinos ya que son las zonas de refugio y crianza para los estadios juveniles de estos organismos.

La Convención Internacional de los Humedales (también conocida como Convención de RAMSAR) se encarga de designar humedales de importancia internacional (Secretaría de la Convención de RAMSAR, 2010), los cuales adquieren un mayor fundamento para su protección debido a esta declaratoria. Dentro de los criterios que ellos manejan para designar a estos sitios se encuentran los que están basados en especies y comunidades ecológicas (Criterios 2, 3 y 4) donde se hace énfasis en poblaciones de especies vegetales y/o animales importantes para mantener la diversidad biológica de una región biogeográfica determinada o si sustenta especies vulnerables, en peligro o en peligro crítico, o comunidades ecológicas amenazadas (RAMSAR, 2010).

La importancia de la zona marino costera de la bahía la Graciosa puede observarse a través de algunos de los bienes y servicios que la misma ofrece, entre los cuales se incluye:

acuicultura, pesca, manglares, extracción de leña, elaboración de carbón, materiales para la construcción y colecta de productos derivados de fauna asociada a la costa; así mismo ofrece servicios para recreación y turismo, pesca deportiva, servicios al comercio y protección a la biodiversidad, filtración de agua y protección de la línea de costa.

Se hace de vital importancia conocer la ecología a escala macroecológica de las praderas de pastos marinos con la que cuenta la laguna marino-costera de la Bahía La Graciosa, dado que con esta información se pueda comprender los posibles impactos por las actuales o futuras condiciones del área, pudiendo ser un elemento clave para la toma de decisiones acerca del manejo y uso racional de los humedales marino-costeros y de los recursos naturales que estos nos brindan, y de esta manera poder plantear alternativas en el diseño de estrategias y soluciones de conservación y restauración a los problemas que existen en la actualidad en estos ecosistemas acuáticos.

## **4. Objetivos**

### **5.1 Objetivo General**

**5.1.1** Conocer la riqueza de especies de pastos marinos en la laguna marino-costera de la Bahía La Graciosa, Izabal, Guatemala.

### **5.2 Objetivos Específicos**

**5.2.1** Determinar la riqueza de especies de pastos marinos en la laguna marino-costera de la Bahía La Graciosa, Izabal, Guatemala.

**5.2.1** Analizar las variables físicas y químicas del agua y del sedimento que influyen en la riqueza de especies de pastos marinos en la laguna marino-costera de la Bahía La Graciosa, Izabal, Guatemala.

**5.2.3** Determinar la distribución espacial de las especies de pastos marinos en la laguna marino-costera de la Bahía La Graciosa, Izabal, Guatemala.

## **6 Hipótesis**

La profundidad y el tipo de sustrato son los factores ambientales que mejor determinan los cambios en la riqueza y distribución de pastos marinos en la laguna marino-costera de la Bahía La Graciosa, Izabal, Guatemala.

## 7 Materiales y Métodos

### 7.1 Universo de Trabajo

**7.1.1 Universo:** Praderas de pastos marinos en la laguna marino-costera de la Bahía La Graciosa, Izabal, Guatemala.

**7.1.2 Muestra:** 200 Cuadrantes de 4m<sup>2</sup> (Ramos, Quiroz, Ramírez-García y Lot 2004) asociados a 50 transectos de 30 m lineales en las Praderas de pastos marinos en la laguna marino-costera de la Bahía La Graciosa, Izabal, Guatemala.

**7.1.3 Unidad Muestral:** Cuadrante de 4 m<sup>2</sup> (Ramos y otros, 2004).

**7.1.4 Temporalidad:** Época seca (abril de 2010)

**7.1.5 Variables dependientes:** Diversidad alfa (riqueza de especies) de pastos marinos.

**7.1.6 Variables independientes:** Sitios de muestreo, profundidad, pH, temperatura del agua, textura del sedimento.

**7.1.7 Tipo de Muestreo:** Sistemático

### 7.2 Materiales

- 2 secadoras
- 1 congelador
- Cámaras digital marca Sony serie H-5 y H-7
- GPS Garmin 76 Csx
- Prensas de colecta
- Estereoscopio Trilocular Motic con cámara
- Alcohol al 95%

- Medidores HACH sensION 1 y 5
- Procesador de Palabras Microsoft Office Word 2007
- Computadora Compaq Presario CQ50
- Hoja de Cálculo Microsoft Office Excel 2007
- Impresora Canon MP 140
- Software Map Source Garmin
- Software de Sistemas de Información Geográfica ArcMap 9.2
- Volumen 24 parte 1 de la Flora de Guatemala
- Volumen 6 de la Flora Mesoamericana
- 2 Equipos de Buceo Autónomo Scuba
- Disco de Secchi
- Carcasa Submarina Ikelite
- 3 mochilas de campo
- Tamices analíticos de acero inoxidable
- Lancha de 26 pies con motor de 40 HP
- Cinta métrica de 50 m
- Bolsas Plásticas
- Cartones para colecta

### **7.3 Métodos:**

#### ***7.3.1 Fase Preparatoria***

Con los datos que se generaron durante mi Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) fueron registradas 6 especies de pastos marinos (MacDonald, 2009) y se logró observar que existen 3 tipos de sustrato en la laguna marino-costera de la bahía la Graciosa. Esta información fue la que sirvió para plantear este estudio, ya que se observó que la diversidad de especies de pastos marinos cambiaba al cambiar el tipo de sustrato. Al desconocer todas las aéreas dentro de la laguna marino-costera de la Bahía la Graciosa, donde se distribuyen los pastos marinos, se decidió utilizar un muestreo sistemático que abarco toda el perímetro del litoral de la bahía (30 km aproximadamente). Posterior a esto se analizaron fotografías aéreas de la zona marino-costera de la Bahía la Graciosa, con lo que se estableció la ubicación de los 50 sitios de muestreo (Figura 5). La fase de campo fue desarrollada durante 5 días continuos de muestreo, en la época seca durante el mes de abril del 2010. Se utilizó una sola campaña de muestreo en base a las colectas realizadas durante el EPS, donde no se evidencio un cambio en la diversidad alfa para dos temporadas. Además de acuerdo a las consideraciones metodológicas expresadas por Hemminga y Duarte (2000) la mayoría de praderas de pastos marinos en las regiones tropicales y subtropicales, contienen floras multiespecíficas, conteniendo un promedio de dos a tres especies por pradera. Asimismo los cambios en la riqueza de especies de acuerdo a la temporalidad, se ven reflejado en los atributos de biomasa y abundancia, y el recambio de especies en praderas de pastos marinos, se evidencia en largas escalas temporales en términos de 5 a 10 años, o por eventualidades climáticas (Larkum, Orth & Duarte, 2006).

Según den Hartog & Kuo (2006) la mayoría de especies de pastos marinos son perennes y pueden ser identificados en su fase vegetativa, debido a que la mayoría de claves no utiliza las flores para realizar la determinación del grupo.

### 7.3.2 Fase de Campo

El área de estudio se recorrió en una lancha tiburonera de 26 pies de largo, con la cual se localizaron los sitios de muestreo que se encontraban cargados en el GPS (Figura 5). La recolección de los datos se llevo a cabo por el investigador y 3 auxiliares de campo.



Figura 5. Mapa con la ubicación espacial de los 50 transectos lineales para el muestreo de la diversidad de pastos marinos de la laguna Marino-costera de la Bahía de la Graciosa.

### 7.3.3 *Técnica de Recolección de Datos*

Al llegar al área de estudio, se ubicaron los sitios de muestreo seleccionados para cada día por medio de las coordenadas previamente ingresadas en el GPS. Cada día de trabajo se colocaron 10 transectos a lo largo de todo el perímetro de la laguna marino-costera de la Bahía de la Graciosa, con lo que obtuvimos datos para cada día para toda el área de trabajo. En cada sitio de muestreo se midió con cinta métrica los 30 metros lineales que corresponden a cada transecto los cuales se colocaron perpendicularmente a la línea de costa. A lo largo del transecto se colocaron 4 cuadrantes (hechos de tubos de pvc de ½ pulgada) de 1m x 1m (Figura 6 a) cada cuadrante fue rotado en sentido de las manecillas del reloj para obtener una área parcial de 2m x 2m (4 m<sup>2</sup>) (Ramos y otros, 2004) los cuales fueron separados cada ocho metros, a las siguientes distancias de la línea de costa: 0, 10, 20 y 30 metros (Figura 6 b) determinando la presencia/ausencia de las especies de pastos marinos en cada cuadrante. Para evitar pseudoreplicar los datos muestreados en el espacio, los transectos fueron separados aproximadamente 600 m. En cada cuadrante de cada transecto el investigador y un auxiliar de campo dotados con un equipo autónomo de buceo (SCUBA), realizaron una inspección exhaustiva, y tomaron muestras vegetales de las especies de pastos marinos presentes. Utilizando jeringas de 20 centímetros cúbicos, se extrajeron las muestras de sedimento en cada cuadrante (Short, y otros, 2001), las cuales se depositaron en bolsas plásticas. Por su parte los auxiliares de campo que se encontraban en la lancha, tomaron las medidas de profundidad y transparencia del agua (distancia a la que se encuentra la zona fótica; profundidad máxima a la que la luz superficial es atenuada al 0.5 %) con el disco de Secchi (Wetzel, 2000), la temperatura y pH del agua con medidores paramétricos marca HACH sensION 1 y 5. Con los datos tomados, se llenó una boleta (Anexo. No 3) en el sitio de estudio para cada muestra, la cual contenía la

siguiente información: profundidad, sitio de muestreo, no. de colecta, colector, características físicas y químicas de las muestras de agua y sedimento y otras características que en su momento fueron relevantes.

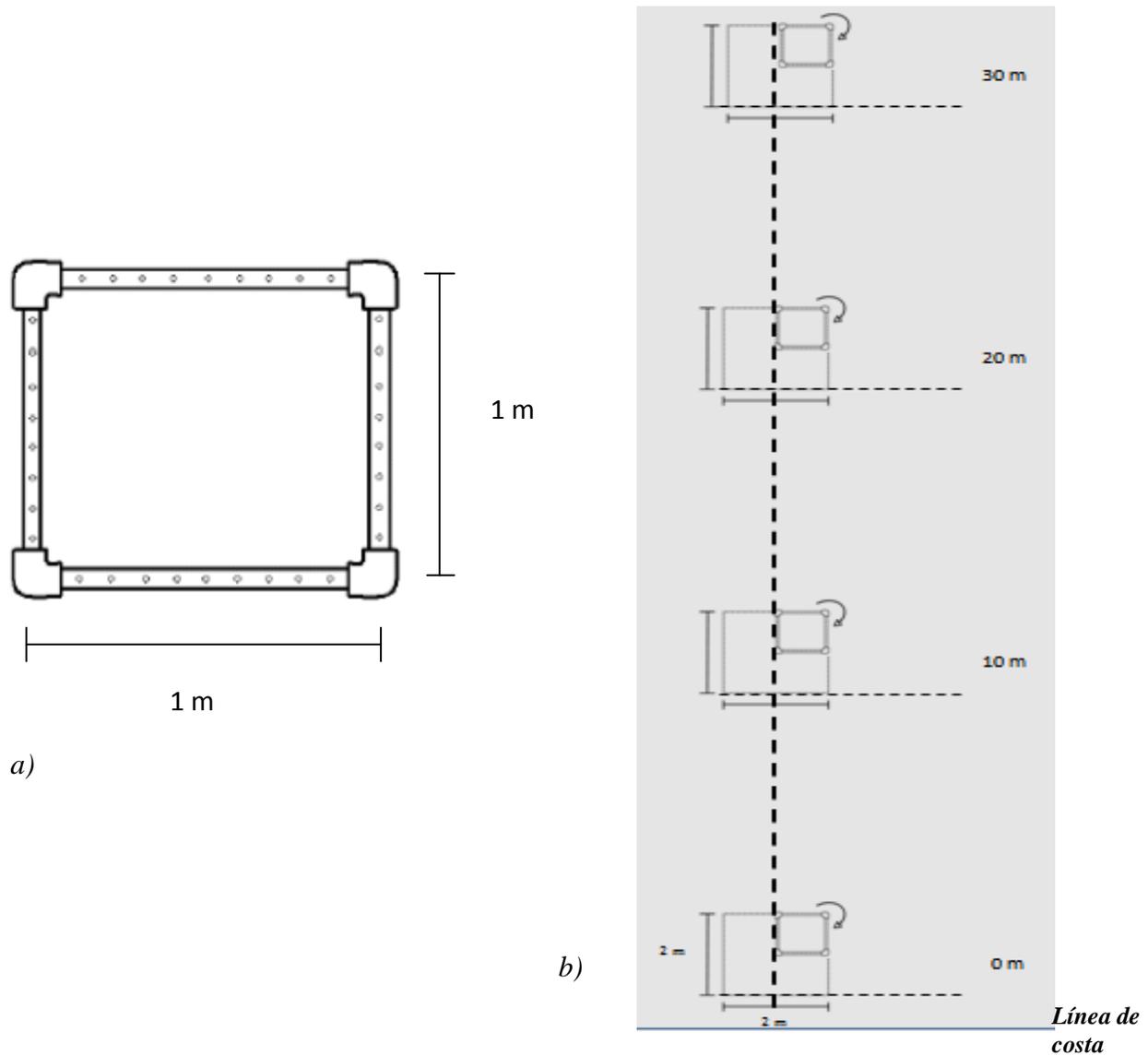


Figura 6 a) Cuadrante de 1m<sup>2</sup>, utilizado para el muestreo de los pastos marinos. b) Transecto con la disposición de los cuadrantes para el muestreo de los pastos marinos.

#### ***7.3.4 Análisis de las muestras vegetales***

Las muestras de pastos marinos fueron guardadas en bolsas plásticas debidamente identificadas con el código de cada cuadrante. Al llegar a la estación científica se herborizaron dentro de hojas de papel periódico o encerado, las cuales fueron debidamente prensadas para su posterior secado en una pequeña secadora portátil. En las instalaciones de la Escuela de Biología USAC, las plantas fueron herborizadas nuevamente, y secadas en las secadoras del anexo del herbario BIGU de la Escuela de Biología. Al finalizar el proceso de secado las plantas se sometieron a un periodo de 72 horas de cuarentena en un congelador. Las especies fueron identificadas con los siguientes documentos: Caribbean Reef Plants de Littler y Littler (2000) y las claves para las familias Hydrocharitaceae, Potamogetonaceae y Cymodoceaceae elaboradas por Novelo y Lot en la Flora Mesoamérica volumen 6 (1994). Los especímenes de cada cuadrante pasaron a formar parte de las colecciones botánicas del herbario BIGU de la Escuela de Biología.

#### ***7.3.5 Análisis de las muestras de sedimento***

Las muestras de sedimento fueron guardadas en bolsas plásticas debidamente identificadas con el código de cada cuadrante. Luego las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Suelo, Agua-Planta de la Facultad de Agronomía mediante el método del hidrómetro de Bouyocos. El método relaciona la densidad de suspensión con la concentración de sólidos. Entre más sólidos existan en la suspensión mayor densidad habrá de la misma, con el hidrómetro flotará más.

El procedimiento fue el siguiente:

Se pesaron 50 gramos de suelo seco y tamizado (malla número 10/2 mm) y se transfirieron a un matraz de 250 mL. Se agregan 100 mL de solución de Calgón a 10%, se mezcla bien y se deja reposar por 30 min. Si la mezcla queda demasiado pastosa se agregan 50-100 mL de agua. Se trasvasa al vaso de la batidora con ayuda de una piseta, se añade agua hasta la primera marca del vaso, aproximadamente 250 mL, y se bate por cinco minutos. El batido se transfiere a una probeta de 1000 mL con ayuda de una piseta y se afora con agua de la llave. Se agregan cuatro gotas del alcohol isoamílico e inmediatamente se procede a la agitación manual de la suspensión durante 1 minuto exacto con ayuda de una varilla-agitador; al término, se introduce con cuidado el hidrómetro de Bouyocos para que se estabilice y se procede a realizar la primera lectura justo a los 40 segundos de haber concluido la agitación. A las dos horas posteriores, se introduce de nuevo el hidrómetro, cuidando de no perturbar la suspensión y se realiza la segunda lectura (Ramos y otros, 2004).

$\% \text{ de limo} + \% \text{ de arcilla} = \text{primera lectura} \times 2$

$\% \text{ de arcilla} = \text{segunda lectura} \times 2$

$\% \text{ de arena} = 100 - (\% \text{ de limo} + \% \text{ de arcilla})$

$\% \text{ de limo} = (\% \text{ de limo} + \% \text{ de arcilla}) - \% \text{ de arcilla}$ .

En este estudio se utilizara la clasificación de suelos del sistema internacional (Attenberg), para categorizar las muestras de sedimento tomadas de cada cuadrante.

### ***7.3.6 Análisis de los Datos***

Los resultados son expuestos en tablas, una para presentar los datos de la diversidad de especies y otro presentado las variables físicas y químicas del agua y del sustrato medidas en cada cuadrante, las cuales están agrupadas de acuerdo a la riqueza de las especies de pastos marinos. Para evaluar si existen diferencias de los factores fisicoquímicos en función de la riqueza de especies se realizó una prueba t de Student y se evaluó la homocedasticidad de los datos con una prueba F de Fisher. Además se utilizaron cajas de Tukey para cada variable fisicoquímica en función de la riqueza de especies para ejemplificar de manera gráfica. Se construyó una curva de acumulación de especies para estimar el esfuerzo de colecta realizado, para lo cual, primero se calculo el número de las especies promedio observadas con el paquete estadístico EstimateS 8.20 (Coldwell, 2006). Se uso un algoritmo de 100 aleatorizaciones para obtener el promedio aproximado de las especies colectadas. Los resultados fueron exportados a una hoja de cálculo, del programa STATISTICA 8.0, y se utilizo el modulo de estimación no lineal, aplicando el modelo de Clench. La forma de estas curvas permite hacer inferencias sobre el estado del muestreo; la riqueza de un sitio, cuánto tiempo debe de invertirse para conocer las especies de un lugar (Coldwell y Coddington, 1994).

Para establecer la relación entre los factores físicos y químicos (temperatura, pH, profundidad y tipo de sustrato) con la riqueza de pastos marinos por unidad de muestreo, se emplearon modelos estadísticos basados en regresiones lineales múltiples para estimar si alguna de estas variables contribuye a determinar los cambios en la diversidad y distribución de especies de pastos marinos. Se compararon en su poder explicatorio

modelos lineales -LM- (regresión lineal múltiple con una distribución normal), modelos lineales generalizados -GLM- (regresión lineal múltiple donde se ajusta a una distribución que no sea normal, ej. Poisson, binomial, etc.) y modelos mixtos lineales generalizados -GLMM-.

Se escogió un modelo mixto lineal generalizado con un distribución de Poisson, ya que es muy útil para analizar conteos, de datos que se encuentran anidados (Zuur, Ieno, Walker, Savaliev & Smith, 2009). Se evaluó el supuesto de sobredispersión (la varianza es más grande que la media) de los datos (Zuur y otros, 2009). El modelo mixto lineal generalizado (GLMM por sus siglas en ingles) es una extensión del modelo lineal generalizado en el que el predictor lineal contiene efectos aleatorios (factores donde la variación se encuentra en un nivel particular), además de los habituales efectos fijos (son los factores de interés que están determinados experimentalmente) (Breslow, & Clayton, 1993), el cual tiene un enfoque más flexible para analizar datos que no tienen una distribución normal (Bolker y otros 2008), como los obtenidos en este estudio. La selección del modelo se realizó por medio del Criterio de Información de Akaike (AIC por sus siglas en ingles) el cual es una medida de la relativa bondad de ajuste de un modelo estadístico. El AIC está basado en la entropía de la información, el cual ofrece una medida relativa de la pérdida de información, cuando un modelo determinado se utiliza para describir la realidad (Burnham & Anderson, 2002). Donde se escoge el modelo con menor valor de AIC. El análisis descriptivo y el análisis exploratorio fueron realizados con los paquetes estadísticos JMP 7.0.1 (SAS Institute, Inc., 2007), STATISTICA 8.0 (StatSoft, Inc. 2007), y ESTIMATES 8.20 (Coldwell, 2006). Las cajas de tukey, los modelos (LM,

GLM y GLMM) y las gráficas donde se evidencia la relación de las variables fisicoquímicas del agua y del sustrato sobre la riqueza de pastos marinos, fueron realizados en el paquete estadístico R. versión 2.12.1 (R Development Core Team, 2010).

La distribución espacial de la especies de pastos marinos fue mapeada al extrapolar los datos de presencia/ausencia, mediante la utilización de buffers para cada parámetro fisicoquímico evaluado (Martin & Dale, 2005) para generar capas que luego utilizando como base la ecuación del modelo mixto lineal generalizado (GLMM), permitiendo la descripción espacial de las especies de pastos marino distribuidas dentro de la laguna marino-costera de la Bahía la Graciosa. El mapa de distribución espacial fue realizado con el programa ArcGis 9.3 (ESRI, 2010).

## 8 Resultados

### 8.1 Diversidad de Especies (Riqueza) de Pastos Marinos

Se colectaron 118 especímenes los cuales se encuentran distribuidos en seis especies de tres familias. Las seis especies de pastos marinos encontradas son: *Thalassia testudinum*, *Halodule beaudettei*, *Halodule wrightii*, *Halophila baillonii*, *Halophila engelmannii*, y *Ruppia marítima*, de las cuales 3 son nuevos reportes para Guatemala (Tabla 1). Los pastos marinos fueron encontrados en 93 de 200 cuadrantes evaluados. Lo que corresponde a 34 de 50 transectos muestreados.

Tabla 1. Especies de pastos marinos identificados.

Familia	Especie	F abs	%
	<i>Thalassia testudinum</i> Banks ex Köning.	90	96.7
Hydrocharitaceae	<i>Halophila baillonii</i> Asch.*	7	6.5
	<i>Halophila engelmannii</i> Asch.*	2	1.9
Cymodoceaceae	<i>Halodule wrightii</i> Asch.*	10	9.3
	<i>Halodule beaudettei</i> (Hartog) Hartog	8	7.4
Ruppiceae	<i>Ruppia marítima</i> L.	1	0.9
	n	118	122.8

\*Nuevos reportes para Guatemala. Se presenta las frecuencias absolutas y los porcentajes de ocurrencia.

La especie dominante fue *T. testudinum* ocupando el 96.7% de los cuadrantes con pastos, mientras que *H. wrightii*, *H. beaudettei* aparecieron en el 9.3% y en el 7.4% de los cuadrantes con pastos respectivamente. En el caso de *H. baillonii* y *H. engelmannii* aparecieron en el 6.5% y en el 1.9% de los cuadrantes cubiertas por pastos marinos. *R. marítima* apareció únicamente en un cuadrante representando el 0.9% de los sitios evaluados con pastos marinos (Tabla 1, Figura 7). El 17.2% de los cuadrantes evaluados

presentaron zonas multiespecíficas donde se entremezclaban de dos a cuatro especies de pastos marinos, por otro lado la mayoría de cuadrantes (82.8%) que se encontraron contienen zonas monoespecíficas (Figura 8) principalmente de *T. testudinum*.

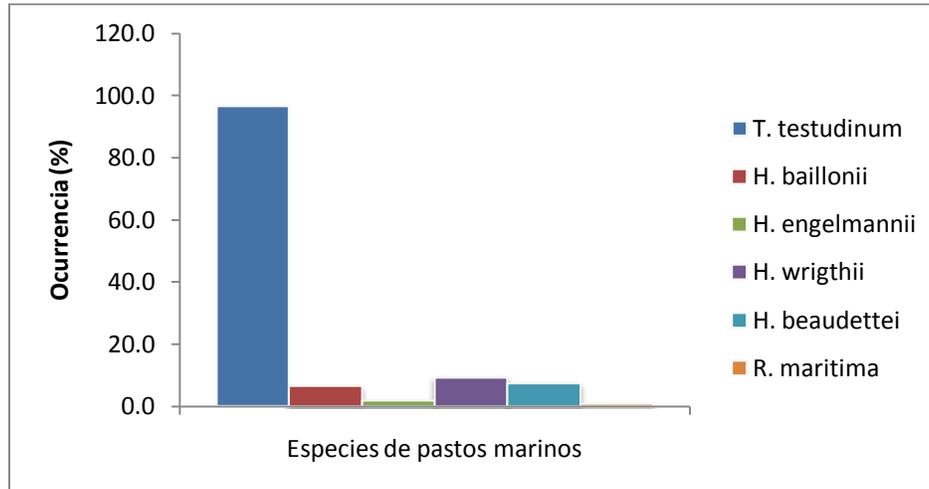


Figura 7. Gráfica de barras con el porcentaje de ocurrencia de las especies de pastos marinos en los cuadrantes de colecta.

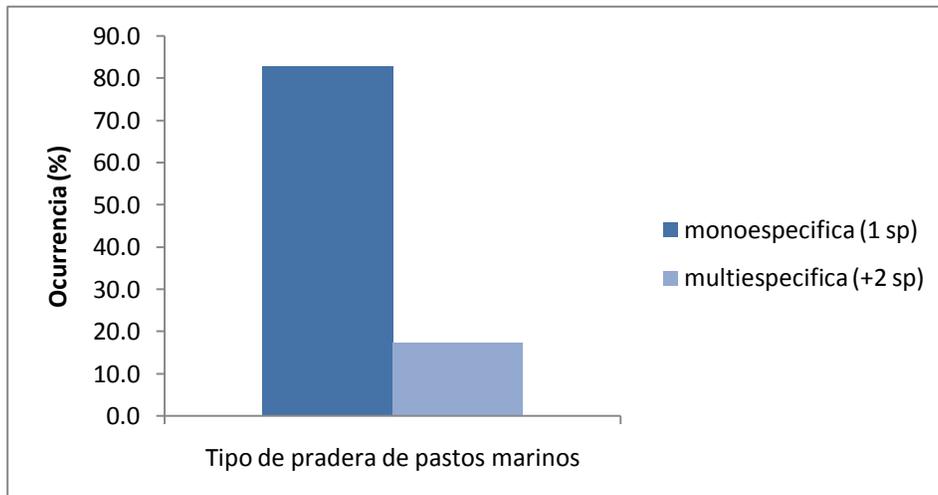


Figura 8. Gráfica de barras con el porcentaje de ocurrencia de acuerdo al tipo de pradera de pastos marinos en función de la riqueza de las especies.

Con la curva de acumulación de especies, aplicando el modelo de Clench, se obtuvo un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.9795, un valor muy cercano a uno lo que indica un buen ajuste del modelo. Se evidencio que los datos se comportaron de manera asintótica. Al evaluar la calidad del registro de las especies de pastos marinos se obtuvo un valor de 94.5% de especies registradas para la laguna marino-costera de la Bahía la Graciosa, el valor es calculado a través de la siguiente fórmula:  $q = S_n/(a/b)$ . Donde la proporción de especies registradas ( $q$ ) es igual al número de especies observadas ( $S_n$ ) dividido el cociente de la relación entre el incremento de nuevas especies ( $a$ ) y la forma de la curva ( $b$ ) (Coldwell, R. 2006).

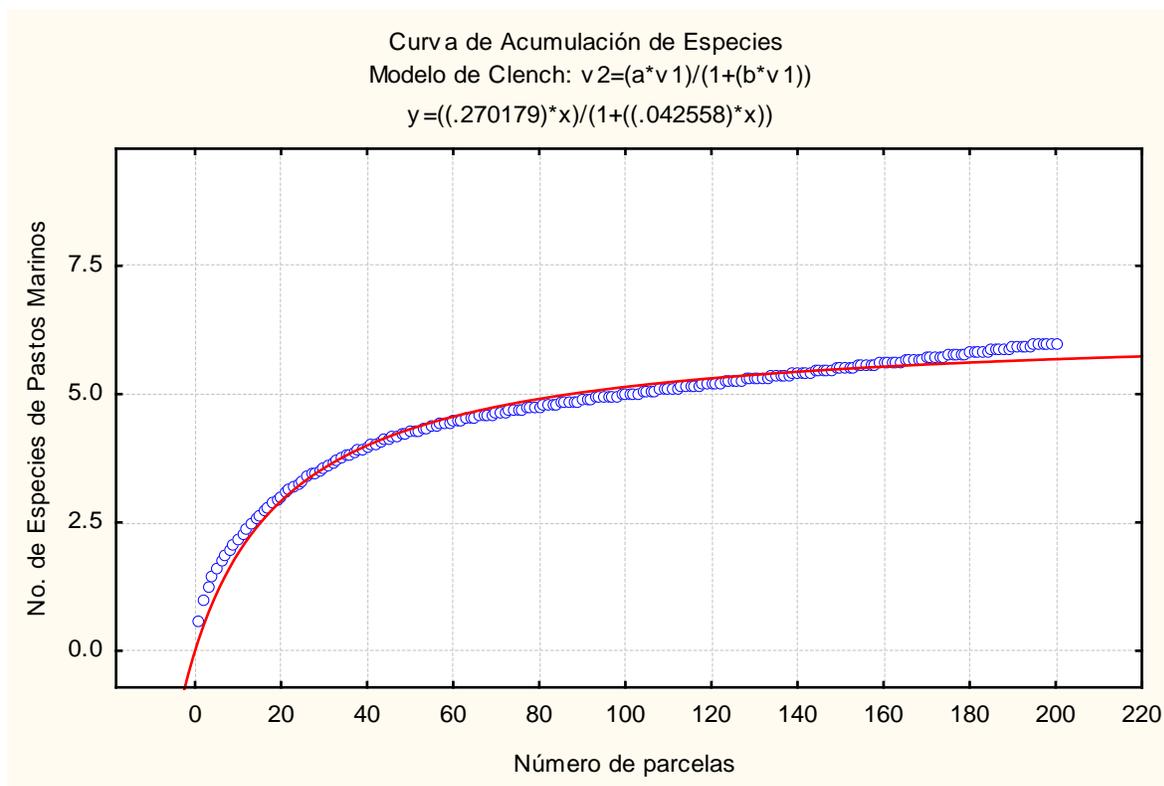


Figura 9. Curva de acumulación de especies de pastos marinos,  $\circ$  = valores observados, - = valores estimados con el modelo de Clench.

## 8.2 Características fisicoquímicas de los cuadrantes evaluados

Los cuadrantes se agruparon de acuerdo a la riqueza de especies de pastos marinos. Se utilizó estadística descriptiva, para obtener la media aritmética y la desviación estándar para cada caso (Tabla 2), utilizando el programa Microsoft Office Excel 2007. Al evaluar las características fisicoquímicas en los cuadrantes de pastos marinos, se evidencia que existen diferencias significativas en los valores de pH ( $p < 0.01$ ), limo y arena ( $p < 0.01$ ). Mientras que no mostraron diferencias significativas los valores de profundidad, transparencia y arcilla todos con ( $p > 0.05$ ), de acuerdo a las pruebas de hipótesis (Tabla 3).

Tabla 2. Valores de la media y desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos medidos en las cuadrantes de colecta de pastos marinos en la Laguna marino-costera de la Bahía La Graciosa.

Factores fisicoquímicos	Riqueza de especies				
	0	1	2	3	4
pH	7.87±0.18	8.06±0.23	8.08±0.15	8.02±0.18	8.21±0.11
Temperatura (°C)	30.93±0.95	31.07±0.78	31.24±0.78	30.70±1.23	33.05±1.20
Profundidad (m)	0.88±0.46	0.85±0.40	0.69±0.36	0.76±0.47	0.80±0.57
Transparencia (m)	0.79±0.39	0.83±0.37	0.69±0.36	0.76±0.47	0.80±0.57
% de Arcilla (grano < 0.002 mm)	13.75±3.98	12.96±3.06	11.88±2.89	14.89±6.65	12.47±1.48
% Limo (grano < 0.05 mm)	17.55±13.62	10.74±11.96	14.49±18.74	6.30±5.25	2.58±1.75
% Arena (grano > 0.05 mm)	68.75±16.26	75.57±13.59	71.40±20.61	78.78±11.62	84.95±3.25
n	107	77	9	4	2

Para cada cuadrante (n=200) se tomaron valores de pH, temperatura, profundidad, transparencia, y textura, diferenciando su contenido en arcilla, limo y arena. Los datos están agrupados de acuerdo a la riqueza de pastos marinos.

Tabla 3. Valores de la media, desviación estándar y pruebas de hipótesis de los parámetros fisicoquímicos en función de la presencia o ausencia de las especies en la Laguna marino-costera de la Bahía La Graciosa.

Factores fisicoquímicos	Ausencia	Presencia	t Student	<i>p</i>	F	<i>p</i>
pH	7.87±0.18	8.06±0.22	-6.6203	<b>3.2906 E-10</b>	1.4766	0.052794
Temperatura (°C)	30.93±0.95	31.12±0.85	-1.4467	0.14957	1.2369	0.29652
Profundidad (m)	0.88±0.46	0.83±0.40	0.86022	0.39071	1.3286	0.16316
Transparencia (m)	0.79±0.39	0.81±0.38	-0.3748	0.70821	1.0844	0.69222
% de Arcilla (grano < 0.002 mm)	13.75±3.98	10.69±12.40	1.54	0.12515	1.471	0.058606
% Limo (grano < 0.05 mm)	17.55±13.62	12.95±3.28	3.705	<b>0.00027422</b>	1.206	0.35778
% Arena (grano > 0.05 mm)	68.75±16.26	75.54±14.13	-3.1303	<b>0.0020104</b>	1.3247	0.16747
n	107	93				

Para cada cuadrante (n=200) se tomaron valores de pH, temperatura, profundidad, transparencia, y textura, diferenciando su contenido en arcilla, limo y arena. *Los números en negrita indican diferencias significativas.*

El pH de los cuadrantes evaluados osciló entre 7.2 y 8.9, considerándose alcalino (pH>7). Los valores promedio de pH menores, (7.87±0.18) corresponden a los sitios donde hubo ausencia de pastos marinos. Los sitios con presencia de pastos marinos mostraron un comportamiento más estable alrededor de valores promedio de pH de 8.06±0.22 (Tabla 2, Figura 10). Los valores de temperatura oscilaron entre 27.6 y 33.9°C.

Los valores promedio de temperaturas bajas, (30.93±0.95), corresponden con la ausencia de pastos marinos, y los valores promedio de temperaturas altas corresponden con la presencia de pastos marinos (31.12±0.85). Aún así la temperatura no mostró diferencias significativas entre los sitios evaluados (Tabla 2, Figura 11).

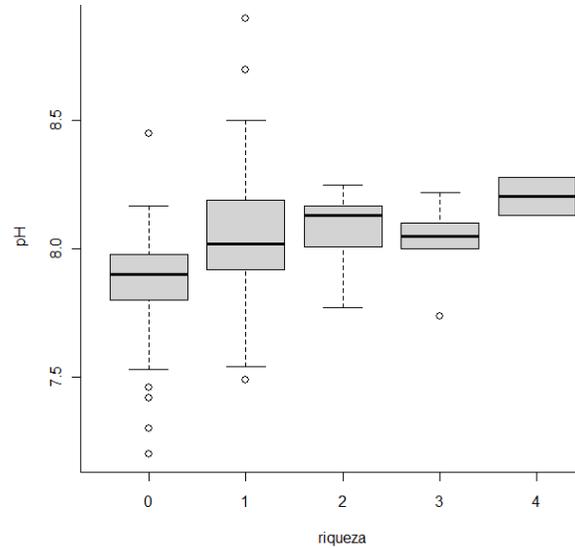


Figura 10. Diagrama de cajas de Tukey para los valores promedio de pH para los cuadrantes de colecta de pastos marinos.

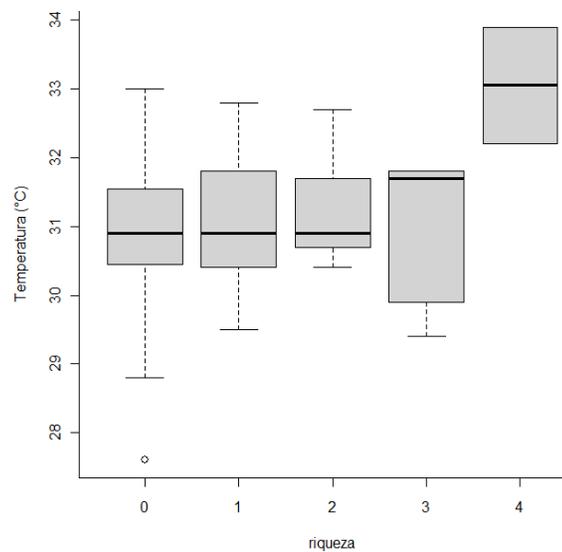


Figura 11. Diagrama de cajas de Tukey para los valores promedio de Temperatura para los cuadrantes de colecta de pastos marinos.

Se encontraron pastos marinos entre 0.2 y 2 metros de profundidad. Para los sitios donde hubo ausencia de pastos marinos la profundidad oscilo entre los 0.2 y 2.1 metros (Tabla 2, Figura 12). La transparencia de los cuadrantes de pastos marinos evaluados mostro una fuerte relación (colinearidad) con la profundidad como se puede observar en la tabla no. 2. Los valores de transparencia oscilaron entre 0.2 y 1.8 metros (Tabla 2, Figura 13).

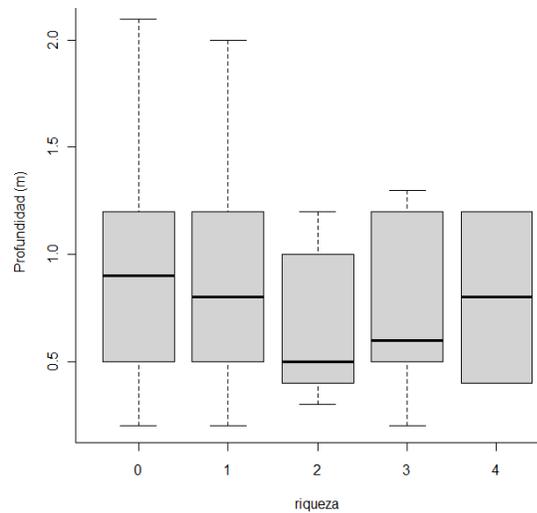


Figura 12. Diagrama de cajas de Tukey para los valores promedio de profundidad para los cuadrantes de colecta de pastos marinos.

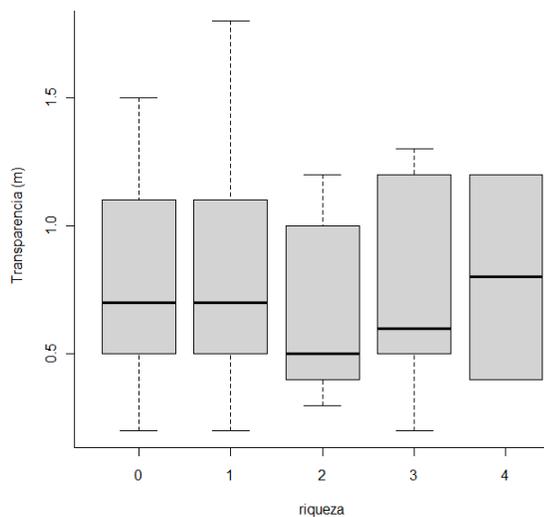


Figura 13. Diagrama de cajas de Tukey para los valores promedio de transparencia para los cuadrantes de colecta de pastos marinos.

En el caso de la textura del sustrato, el porcentaje promedio de arcilla entre los cuadrantes en los sitios donde hubo ausencia de pastos marinos fue de  $13.75 \pm 3.98$ , con un rango entre 6.64 y 26.67 %. En los sitios donde hubo presencia de pastos marinos el rango fue entre 7.22 y 26.67 %, mientras que el promedio fue de  $12.95 \pm 3.28$  % de contenido de arcilla (Tabla 2, Figura 14). El contenido promedio de limo para los sitios donde hubo ausencia de pastos marinos fue de  $17.55 \pm 13.62$  % con un rango entre 0.38 y 55.57 % de limo. Para los

sitios donde hubo presencia de pastos marinos el promedio en el contenido de limo fue de  $10.69 \pm 12.40$  % con un rango entre 0.38 y 55.57 % de limo (Tabla 2, Figura 15). El contenido promedio de arena para los sitios donde hubo ausencia de pastos marinos fue de  $68.75 \pm 16.26$  % con un rango entre 26.71 y 89.92 % de arena. En los sitios donde hubo presencia de pastos marinos el contenido promedio de arena fue de  $75.54 \pm 14.13$  % y el rango entre 26.71 y 89.2 % de arena (Tabla 2, Figura 16).

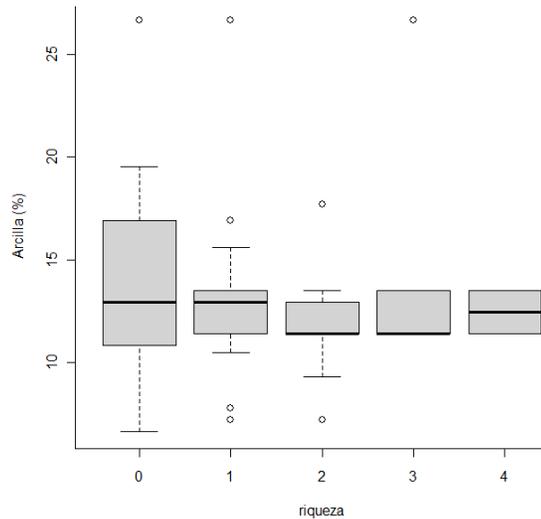


Figura 14. Diagrama de cajas de Tukey para los porcentajes promedio de arcilla para los cuadrantes de colecta de pastos marinos.

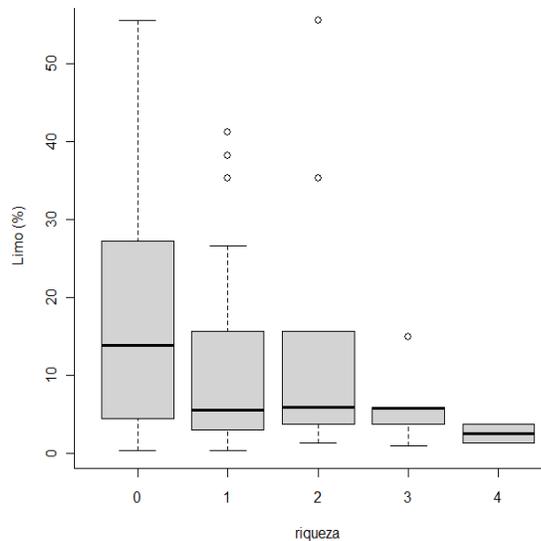


Figura 15. Diagrama de cajas de Tukey para los porcentajes promedio de limo para los cuadrantes de colecta de pastos marinos.

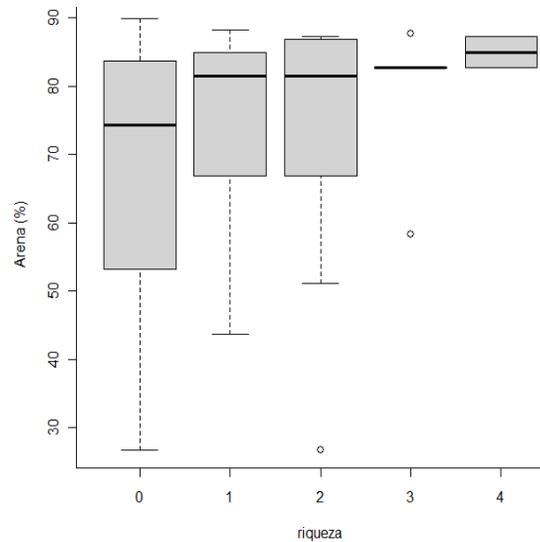


Figura 16. Diagrama de cajas de Tukey para los porcentajes promedio de arena para los cuadrantes de colecta de pastos marinos.

Se realizaron 11 modelos para evaluar el efecto de las variables ambientales sobre la riqueza de pastos marinos. De los cuales dos fueron modelos lineales, dos modelos lineales generalizados y siete modelos mixtos lineales generalizados (Tabla 4). En los 11 modelos evaluados se muestra que el pH del agua tiene un fuerte efecto en la riqueza de pastos marinos. De los cuales se escogió el modelo que mejor explicaba la riqueza de pastos marinos para la laguna marino costera de la Bahía La Graciosa (Tabla 5). Debido a que el modelo presento un valor menor (0.8441) a uno en la prueba de sobredispersión, se concluye que los datos no presentan sobredispersión (Tabla 5). El valor fue calculado en función de la formula:  $\phi = D/n-p$  donde  $D$  es el valor de desviación (deviance) del modelo,  $n$  el numero de muestras y  $p$  el numero de parámetro evaluados.

Tabla 4. Modelos estadísticos utilizados para evaluar el efecto de las variables ambientales sobre la riqueza de pastos marinos.

	pH	<i>p</i>	T (°C)	<i>p</i>	Prof (m)	<i>p</i>	Tran	<i>p</i>	Lim (%)	<i>p</i>	Arc (%)	<i>p</i>	Are (%)	<i>p</i>	Tran (f) alet.	Dist	g	AIC
Modelo 1 <sup>a</sup>	1.248	<b>0.0005</b>	0.046	0.4408	-0.198	0.0953	---	---	-0.057	<b>0.0026</b>	-0.008	0.6971	-0.043	<b>0.0121</b>	no	N	8	437.33
Modelo 1-A <sup>a</sup>	1.698	<b>0.0047</b>	0.092	0.4099	-0.202	0.3757	---	---	-0.086	<b>0.0015</b>	0.010	0.7462	-0.605	<b>0.0141</b>	no	P	7	379.08
Modelo 2 <sup>b</sup>	1.113	<b>0.0000</b>	-0.174	0.7619	-0.076	0.5065	0.018	<b>0.000</b>	-0.025	0.1774	0.005	0.7713	-0.010	0.5724	no	N	9	459.34
Modelo 2-A <sup>b</sup>	0.769	<b>0.0092</b>	0.095	0.1755	-0.123	0.290	---	---	-0.056	<b>0.0341</b>	-0.011	0.6976	-0.043	0.0885	si	N	9	457.89
Modelo 3 <sup>c</sup>	1.609	<b>0.0010</b>	0.098	0.4187	-0.171	0.4866	---	---	-0.089	<b>0.0115</b>	-0.062	0.0537	-0.062	0.0537	si	P	8	179.59
Modelo 3-A <sup>c</sup>	1.775	<b>0.0010</b>	---	---	---	---	---	---	-0.087	<b>0.0125</b>	0.005	0.8958	-0.061	0.0580	si	P	6	176.61
Modelo 3-B <sup>c</sup>	1.655	<b>0.0007</b>	0.085	0.4755	---	---	---	---	-0.090	<b>0.0108</b>	0.004	0.9115	-0.064	<b>0.0505</b>	si	P	7	178.09
Modelo 3-C <sup>c</sup>	1.755	<b>0.0001</b>	---	---	---	---	---	---	-0.085	<b>0.0138</b>	0.006	0.8762	-0.059	0.0628	si	P	7	178.26
Modelo 3-D <sup>c</sup>	1.769	<b>0.0001</b>	---	---	---	---	---	---	-0.089	<b>0.0076</b>	---	---	-0.063	<b>0.0272</b>	si	P	5	174.63
Modelo 3-E <sup>c</sup>	1.534	<b>0.0014</b>	---	---	---	---	---	---	-0.019	0.0622	---	---	---	---	si	P	4	176.91
Modelo 3-F <sup>c</sup>	1.639	<b>0.0005</b>	---	---	---	---	---	---	-0.024	<b>0.0308</b>	0.043	0.2657	---	---	si	P	5	177.72

<sup>a</sup> Modelo lineal (LM), <sup>b</sup> Modelo lineal generalizado (GLM), <sup>c</sup> Modelo mixto lineal generalizado (GLMM). Valores estimados de pH, temperatura (T°C), Profundidad (Prof), Transecto (Tran), Limo (Lim), Arcilla (Arc), Arena (Are), cada uno con su respectivo valor de (*p*). Transecto como factor aleatorio (Tran (f) alet), Distribución (Dist), Normal (N), Poisson (P), grados de libertad (g), Criterio de Akaike (AIC).

Con los valores estimados por el modelo se obtuvo la siguiente ecuación:  

$$R_{pm} = -9.01878 + 1.76914 X_{pH} - 0.06327 X_{Arena} - 0.08911 X_{Limo}$$
 para predecir la riqueza de pastos marinos en el área donde  $R_{pm}$  es la riqueza de pastos marinos,  $X_{pH}$  es el valor de pH medido,  $X_{Arena}$  es el valor del porcentaje de arena medido y  $X_{Limo}$  es el valor del porcentaje de limo medido. Se presenta el diagrama de los datos observados vs los datos predichos (Figura 17), donde se puede observar que el modelo predice mas especies de las esperadas.

Tabla 5. Modelo mixto lineal generalizado, con los datos del valor estimado, el error estándar, el valor z y la probabilidad de z.

Efectos fijos	Estimación	Error estándar	Valor z	Pr(> z )
(Intercepto)	-9.01878	4.04545	-2.229	0.025790 *
pH	1.76914	0.45649	3.876	0.000106 ***
Arena	-0.06327	0.02866	-2.208	0.027241 *
Limo	-0.08911	0.03339	-2.668	0.007624 **

$\alpha = 0.05$

AIC= 174.6 Deviance=164.6 n=200

Efecto aleatorio: fTransecto, varianza explicada: 0.162; desviación estandar: 0.4032

n= 200; grupos= 50

Test de sobredispersión: 0.8441 < 1

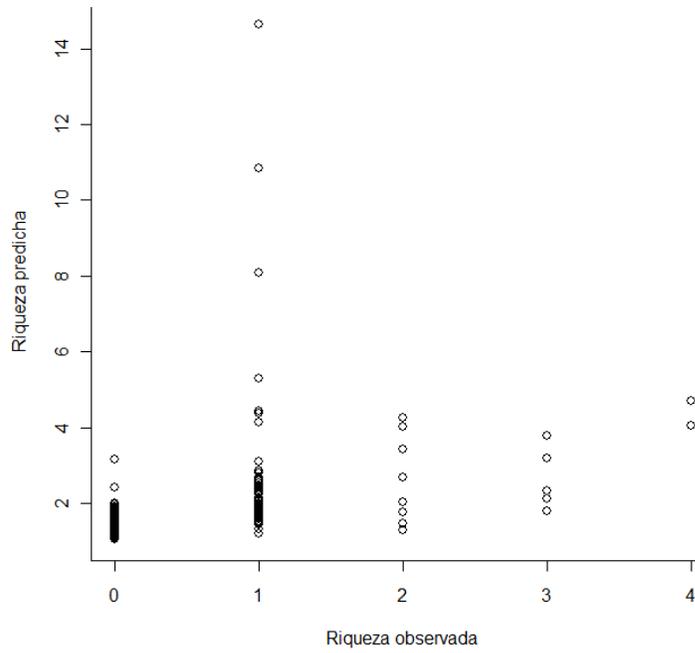


Figura 17. Diagrama que muestra los datos observados (eje x) vs los datos predichos (eje y) por el modelo mixto lineal generalizado.

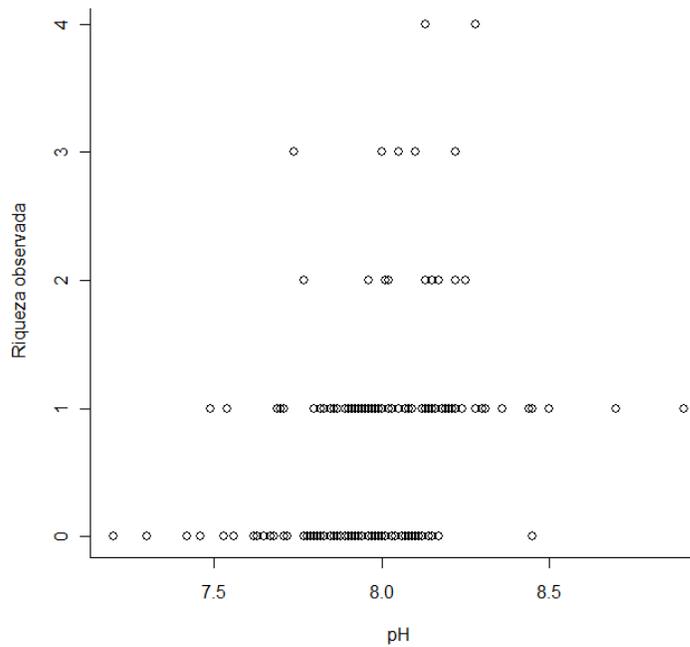


Figura 18. Diagrama que muestra los valores de pH (eje x) vs la riqueza observada de pastos marinos (eje y).

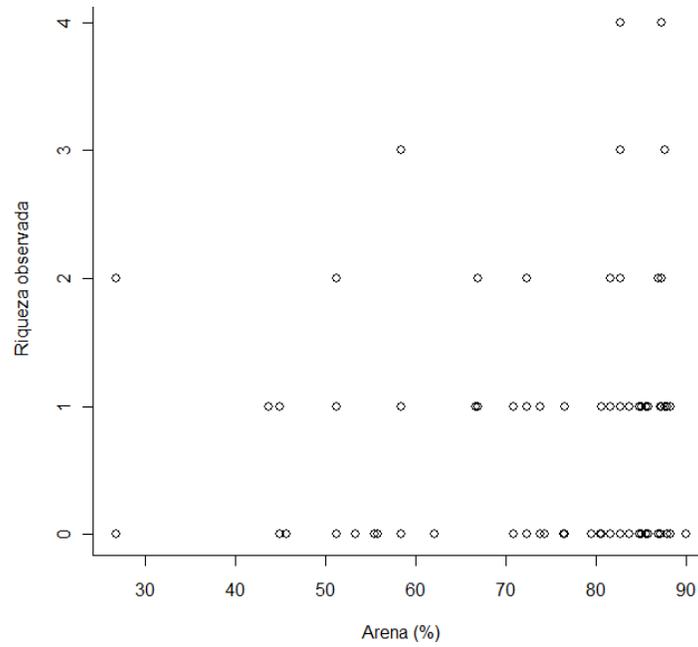


Figura 19. Diagrama que muestra el porcentaje de arena (eje x) vs la riqueza observada de pastos marinos (eje y).

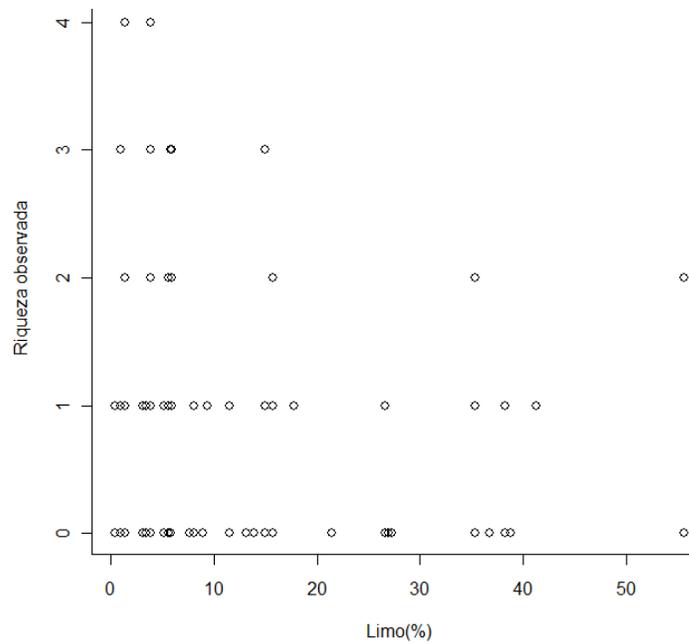


Figura 20. Diagrama que muestra el porcentaje de limo (eje x) vs la riqueza observada de pastos marinos (eje y).

En la figura 18 se presenta la relación que existe entre el pH, y la riqueza observada de pastos marinos, donde se puede evidenciar que la riqueza de pastos aumenta cuando los valores de pH se encuentran entre 8.0 y 8.2. En la figura 19 y 20 se presenta la relación que existe entre el porcentaje de arena, el porcentaje de limo y la riqueza observada, respectivamente. En estos diagramas se evidencia que la riqueza de pastos marinos aumenta cuando el porcentaje de arena aumenta, y que la riqueza de pastos disminuye cuando aumenta el porcentaje de limo en el sustrato.

### **8.3 Distribución de pastos marinos de la laguna marino-costera de la Bahía la Graciosa**

Con la información recabada de la riqueza de pastos marinos de los 200 cuadrantes, que estaban sistemáticamente distribuidos alrededor del perímetro de la laguna, se realizó una extrapolación de los datos de riqueza, para poder obtener un mapa que describiera la distribución potencial de los pastos marinos en la laguna marino-costera de la Bahía la Graciosa. La extrapolación de los datos se realizó con el programa ArcGis 9.3. Esta se hizo utilizando como base la ecuación generada por el modelo mixto lineal generalizado. Se observó que existen variaciones en la distribución de las especies de pastos marinos, sobre todo por los cambios en los valores de pH (Figuras 10 y 18), y los porcentajes de limo y arena (Figuras 15-16 y 19-20). Esto se ve reflejado en el mapa de distribución potencial (Figura 21), donde el área cercana a la desembocadura del río Santa Isabel, es la que presenta valores de pH más altos 8.02-8.21, bajos porcentajes de limo 2.58-6.30 y altos porcentajes de arena 78.78-84.95. En esta área se observaron entre tres y cuatro especies por cuadrante. Las especies encontradas en esta área son *Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii*, *Halodule beaudettei* y *Halophila baillonii*. El área cercana al cayo la Graciosa

presentó valores de pH entre 8.06-8.08, porcentajes de limo entre 10.74-14.49 y porcentajes de arena entre 71.4-75.57. En esta área se observaron entre una y dos especies de pastos marinos. Las especies observadas fueron *Ruppia maritima*, *Thalassia testudinum* y *Halodule beaudettei*.

El área aledaña a la Punta Moreno presento un pH entre 7.96-8.06, con un mayor porcentaje de limo entre 10.74-17.55 y porcentajes de arena entre 68.75-75.57. Las especies encontradas en esta área fueron *Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii* y *Halophila engelmannii*. Las áreas dentro de la bahía de la Graciosa, que son estrechas y con poca corriente, presentaron bajos valores de pH entre 7.87-8.02, mayor porcentaje de limo entre 17.55-38.24 y bajos porcentajes de arena entre 44.85-68.75, en estas áreas no se encontró ninguna especie de pasto marino.

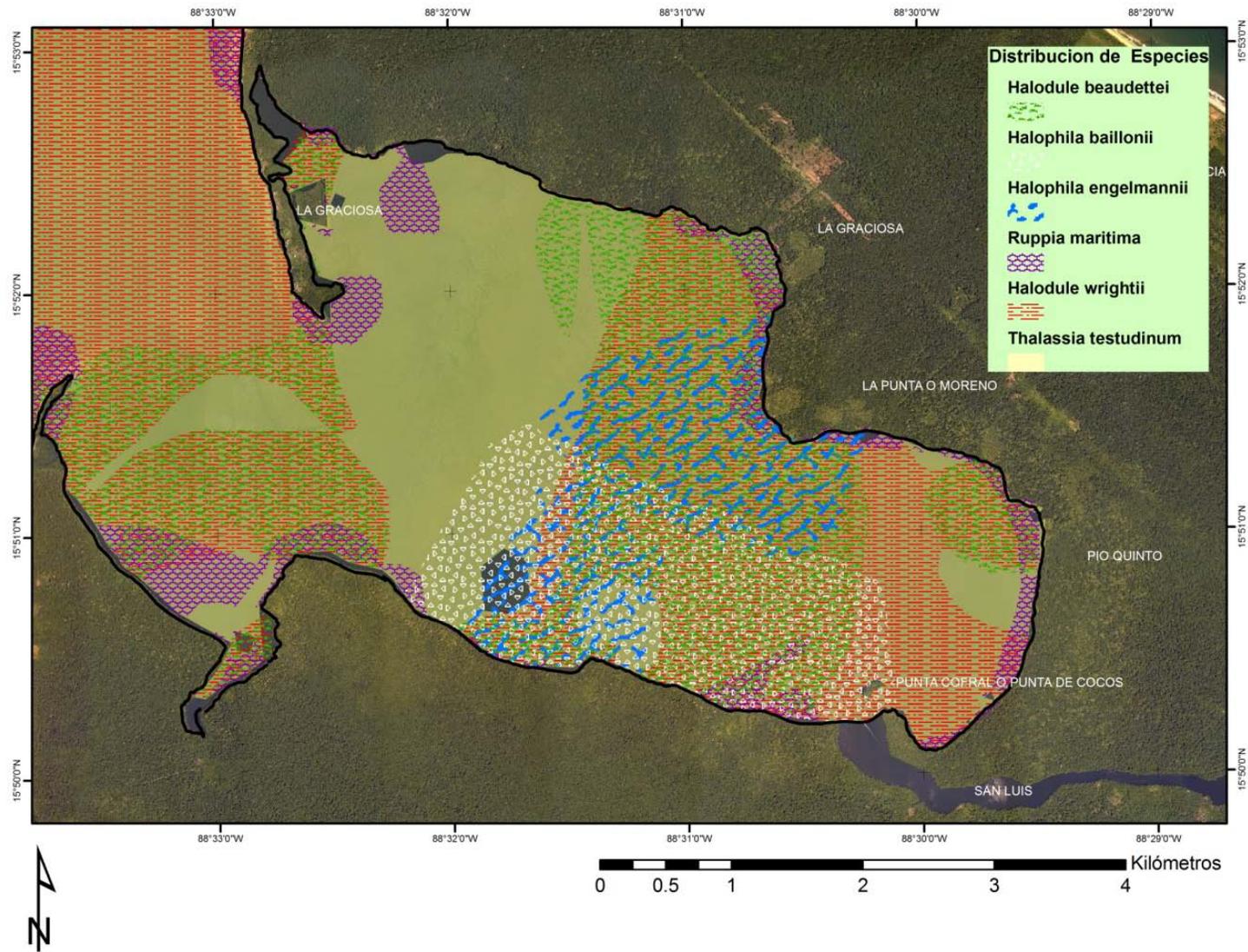


Figura 21. Mapa de distribución potencial de las especies de pastos marinos de la laguna marino-costera de la bahía La Graciosa.

## 9. Discusión de Resultados

### 9.1 Diversidad de Especies (Riqueza) de Pastos Marinos

Fueron documentadas seis especies de pastos marinos, de las cuales tres son nuevos registros para Guatemala. Estas especies corresponden a la región Atlántico tropical (Björk y otros, 2008), donde están reportadas 11 especies (Tussenbroek y otros, 2010; Short, y otros, 2010). Siendo las especies restantes *Halophila jonhsonii*, la cual ha sido reportada únicamente para el este de la Florida, en Estados Unidos (Short y otros, 2001; den Hartog & Kuo, 2006; Tussenbroek y otros, 2010). *Halophila decipiens*, la cual tiene una distribución pantropical (den Hartog & Kuo, 2006), y se encuentra en la costas del Atlántico de Guatemala (MacDonald, 2009). *Syringodium filiforme*, la cual es reportada por Arrivillaga y Baltz (1999), para la costa Atlántica de Guatemala pero no existe ningún espécimen de respaldo depositado en una colección biológica. *Halophila stipulacea* (Tussenbroek, y otros, 2010) y *Halophila ovalis* (Short, y otros, 2010), estas dos últimas fueron introducidas en las islas de Granada y Antigua, respectivamente. Las especies reportadas en este estudio coinciden con los trabajos realizados por Martinez, (2006), Gallegos (1995), Rivera (2008), y Tussenbroek (2010).

*Thalassia testudinum* ocupó el 96.7% de los cuadrantes evaluados, lo cual probablemente es el reflejo de ser una especie dominante en praderas de pastos marinos tropicales (Gallegos, 1995), y podría deberse también al hecho de que *T. testudinum* es una especie climax (especie que a través del proceso de sucesión ecológica, ha llegado a un estado de equilibrio, donde las condiciones promedio del área son favorables para esta). En otros sitios de la región Atlántico tropical también han sido reportadas como especies dominantes

*Syringodium filiforme* y *Halodule wrightii* (Short y otros 2007). Las otras especies reportadas *H. wrightii* (9.3%), *H. beaudettei* (7.4%), *H. baillonii* (6.5%), *H. engelmannii* (1.9%) y *R. marítima* (0.9%), ocuparon un porcentaje menor del área. Estas especies son consideradas pioneras en el estado de sucesión de las praderas de pastos marinos (Duarte, 1991). Esta es una hipótesis determinista que sugiere que las especies pioneras, dan paso a las especies dominantes donde las condiciones son las favorables para que estas aparezcan. Sin embargo la variabilidad de las condiciones ambientales (cambios en la salinidad, temperatura, oleaje, profundidad, luz, concentración de nutrientes, pH), la herbivoría, la competencia, la dominancia de las especies y las perturbaciones, son factores que forman parte de las interacciones que pueden contribuir a determinar el patrón de ocurrencia y de distribución de cada especie. La mayoría de praderas de pastos marinos son monoespecíficas, siendo esto particularmente evidente en las zonas templadas, sucediendo también en zonas tropicales y subtropicales con praderas de pastos marinos multiespecíficas (Hemminga & Duarte, 2000). Esto se ve reflejado en el área de estudio, donde solo el 17.2% de los cuadrantes evaluados contenían de dos a cuatro especies de pastos marinos. Siendo el 82.8% de los cuadrantes evaluados, monoespecíficos, esencialmente por *T. testudinum*.

La curva de acumulación de especies mostro que el modelo (utilizando el estadístico de Clench) tiene un buen ajuste a los datos, de la misma manera al utilizar 200 cuadrantes para el muestreo se logró obtener el 94.5% de las especies registradas para la laguna marino-costera. Si quisiéramos obtener el 100% de las especies para el área, deberíamos de triplicar el número de cuadrantes, lo que incurriría en un aumento significativo en los costos, y en el

tiempo para realizar los muestreos y completar el registro de pastos marinos del área, teniendo que realizar 600 cuadrantes mas para aumentar el conocimiento en tan solo 4.5%.

## **9.2 Características fisicoquímicas de los cuadrantes evaluados**

Al analizar los valores de pH, (Tabla 2) estos corresponden a los valores promedio de pH del agua de mar los cuales oscilan entre 7.8 y 8.3, siendo menores (7.1-7.3) en las áreas cercanas a la costa. (Carlson y otros, 2010). Considerándose como aguas duras o alcalinas ( $\text{pH} > 7$ ). Las diferencias significativas ( $p < 0.001$ ) en los valores de pH entre los sitios donde la riqueza de las especies es igual a cero, y los sitios donde la riqueza es igual o mayor a uno puede verse influenciada por los cambios en la temperatura del agua. Como puede observarse (Tabla 2) los valores más bajos de temperatura corresponden a los valores más bajos de pH, y los valores más altos de temperatura corresponde a los valores más altos de pH. Lo que se refleja en la riqueza de los pastos marinos. Esto se debe a que la temperatura afecta la constante de disociación del agua, provocando cambios en las concentraciones relativas de los iones  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$  (Stewart, 2008).

Otros factores que influyen en el pH del agua (Weiner, 2007), pero que no fueron considerados en este estudio son: la salinidad, la cual al variar la relación entre la cantidad de aniones y cationes que contiene, condiciona los valores de pH del agua (Weiner, 2007). Las concentraciones de  $\text{CO}_2$  y de  $\text{HCO}_3^-$  las cuales se modifica por el proceso de fotosíntesis de los organismos fototróficos, los cuales al remover el  $\text{CO}_2$  en el medio marino, hacen que se desplace el equilibrio químico de la reacción hacia la derecha, liberando  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{H}^+$ , los que ingresan por la pared celular de la planta, provocando un aumento en la concentración del ión  $\text{OH}^-$  en el medio marino. (Larkum, Drew & Ralph,

2006; Invers, Romero y Pérez, 1997). Y la respiración de los organismos acuáticos ya que hace que aumente la cantidad de  $\text{CO}_2$  en el medio, el cual es disociado posteriormente en el agua, formando  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{2-}$  (Touchette & Burkholder, 2000; Adams & Caldeira, 2010).

De acuerdo a los valores obtenidos de temperatura no hay diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre las cuadrantes de pastos marinos, en función de la riqueza de las especies. La poca variabilidad de los valores de temperatura puede deberse a que las condiciones climáticas y la exposición solar a lo largo de los días de muestreo fue bastante homogénea.

Los valores de profundidad obtenidos al ser analizados no mostraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre los cuadrantes de pastos marinos en la riqueza de las especies. De acuerdo con Duarte (1991) los pastos marinos se encuentran distribuidos desde la orilla del mar hasta los 90 m de profundidad, donde las condiciones son favorables. La profundidad no mostró una variación que impida concluir que en la laguna marino-costera de la bahía la Graciosa afecte la distribución de la riqueza de pastos marinos, esto puede deberse al diseño experimental del estudio debido a que el largo de los transectos era de tan solo 30 m lineales con lo cual se limitó la profundidad a esta distancia, otro factor que puede influir es la geomorfología de la laguna, la cual no presenta cambios drásticos en la profundidad, teniendo cambios paulatinos con poca pendiente, lo que pudo observarse en todas los cuadrantes muestreados. La profundidad media de la laguna marino-costera es de dos metros, teniendo una profundidad máxima de 9 metros en el centro de la misma (Arrivillaga & Baltz, 1999). *Halodule wrightii*, *Halodule beaudettei* y *Ruppia marítima* tiene una distribución limitada a zonas poco profundas ( $< 3\text{m}$ ), mientras que *Thalassia*

*testudinum*, *Halophila baillonii* y *Halophila engelmannii*, se distribuyen hasta los 20 metros de profundidad (Duarte, 1991).

Los valores de transparencia del agua obtenidos con el disco de Secchi, no mostraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los cuadrantes de pastos marinos en función de la riqueza de especies. Los valores de transparencia del agua estuvieron fuertemente relacionados con los valores de profundidad, por lo que no los datos no se incluyeron en el análisis, para evitar el aumento de la varianza de ambas variables (colinealidad).

Los porcentajes de arena en el sedimento mostraron diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) entre los cuadrantes de pastos marinos en la riqueza. La riqueza fue mayor en los sitios donde el contenido de arena es mayor del 75% en el sedimento. Los porcentajes de limo en el sedimento mostraron diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) entre los cuadrantes de pastos marinos en la riqueza de las especies. A un contenido mayor del 17% de limo en el sedimento la riqueza de pastos disminuye, esto es comparable al estudio realizado por Terrados en 1998, en el sureste de Asia donde evaluaron el efecto de la sedimentación sobre la riqueza y la biomasa de pastos marinos, encontrando que estas disminuyen cuando el contenido de limo es mayor del 15% en el sedimento. Los porcentajes de arcilla en el sedimento no mostraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los cuadrantes de pastos marinos en la riqueza de las especies.

Al comparar los 11 modelos estadísticos, por medio del AIC se puede observar (Tabla 4) que los modelos lineales y los modelos lineales generalizados que tiene una distribución

normal y donde el transecto no es un factor aleatorio, tienen valores más altos de AIC (>400). En el caso de los modelos mixtos lineales generalizados (GLMM), donde estos tienen una distribución de Poisson y el transecto es un factor aleatorio los valores de AIC fueron considerablemente menores (<180) mostrando un mejor ajuste a los datos. El modelo (Tabla 5) que mejor explica la riqueza de especies de pastos marinos (dentro del conjunto de modelos evaluados con un menor valor de AIC) evidencia una alta relación positiva ejercida por el pH, mientras que el limo y la arena evidencian una baja relación negativa sobre la riqueza de pastos marinos. Entre las variables evaluadas el pH, el porcentaje de arena y el porcentaje de limo del sustrato son las variables que describen mejor la riqueza y distribución de las especies. El modelo predice más especies de las esperadas, debido a algunos valores extremos en el pH. Este modelo tiene la capacidad de explicar la variabilidad en determinado momento, en función de los parámetros evaluados. El modelo no puede explicar los procesos que producen esta riqueza de pastos marinos, debido a que la combinación de factores que producen esta riqueza no pueden ser contralados en su totalidad.

### **9.3 Distribución de pastos marinos de la laguna marino-costera de la Bahía la Graciosa**

La distribución potencial de pastos marinos dentro de la laguna marino-costera de la bahía la Graciosa (Figura 21) muestra una mayor área de ocupación de las especies con respecto a lo observado en el campo. Esto debido a que la distribución potencial de las especies se extrapoló en función de los parámetros fisicoquímicos evaluados (pH, % de arena, % limo, % arcilla y profundidad) y a la riqueza observada. El mapa muestra áreas donde no se encontró ninguna especie, con la presencia de al menos una de las especies observadas.

Esto puede deberse al traslape de las capas con la información de riqueza de especies, así como al elevado número de puntos (en este caso 12) para realizar los buffer de las capas de los parámetros fisicoquímicos evaluados; esto conlleva a que los sitios donde la riqueza es cero, se traslapen con los sitios donde existe por lo menos una especie. Debido a que el área para poder realizar la extrapolación es  $1200 \text{ m}^2$ , lo cual está dado por defecto en el programa.

El mapa logra resaltar las áreas donde existe una mayor riqueza de especies de pastos marinos, la cual se encuentra cercana a la desembocadura del río Santa Isabel. Asimismo, muestra que *T. testudinum* se encuentra ampliamente distribuida dentro de la bahía la Graciosa. El mapa complementa visualmente lo observado en el modelo mixto lineal generalizado, sin embargo, éste tiene el inconveniente de mostrar áreas donde podría existir una o dos especies en lugares, donde por la geomorfología de la laguna, el exceso de sedimentos y los bajos niveles de pH, es biológicamente imposible que se encuentre una especie, aun existiendo especies muy tolerantes al proceso de sedimentación como es el caso de *T. testudinum*. La finalidad del mapa de distribución potencial es únicamente mostrar la disposición espacial de las especies y las posibles áreas que están cubiertas por estas. Al igual que la ecuación del GLMM la intención del mapa no la de predecir sino de describir visualmente la distribución de la riqueza de especies de pastos marinos para un tiempo y un momento determinado.

## 10. Conclusiones

- 10.1 La riqueza de especies de pastos marinos en la laguna marino-costera de la bahía la Graciosa fue de seis especies para este estudio, las especies reportadas son: *T. testudinum*, *H. beaudettei*, *H. wrightii*, *R. maritima*, *H. baillonii*, y *H. engelmannii*.
- 10.2 *T. testudinum* es la especie de mayor distribución dentro del área. El resto de las especies de pastos marinos tiene una distribución menos amplia.
- 10.3 La laguna marino-costera de la bahía la Graciosa se caracteriza por tener praderas de pastos marinos en su mayoría monoespecíficas principalmente de *T. testudinum*. Aunque cuenta con algunas áreas con praderas multiespecíficas donde se entremezclan de dos a cuatro especies de pastos marinos.
- 10.4 Entre las variables evaluadas el pH, el porcentaje de arena y el porcentaje de limo del sustrato son las variables que describen mejor la riqueza y distribución de las especies. Demostrando que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), entre estas variables y la riqueza de especies, ejerciendo una relación positiva (pH y porcentaje de arena) o negativa (porcentaje de limo) en la riqueza y distribución de las especies.
- 10.5 Las variables de temperatura, profundidad y transparencia no mostraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en la riqueza de las especies.

- 10.6 Para este estudio la profundidad no es una variable que en la laguna marino-costera de la bahía la Graciosa afecte la distribución de las especies. Sin embargo al limitar el largo de los transecto a 30 m lineales, en el diseño experimental, se pudo limitar el efecto de la profundidad sobre la riqueza y distribución de las especies.
- 10.7 La riqueza de especies fue mayor en los sitios donde el contenido de arena es mayor del 75% en el sedimento. Por otro lado la riqueza de especies disminuye cuando el contenido de limo es mayor del 17% en el sedimento.
- 10.8 El modelo mixto lineal generalizado seleccionado tiene la capacidad de describir la variabilidad de la riqueza de especies en determinado tiempo y espacio, únicamente en función de los parámetros evaluados.
- 10.9 El mapa de distribución potencial permite visualizar las áreas donde existe una mayor riqueza de especies, asimismo muestra como *T. testudinum* se encuentra ampliamente distribuida dentro de la bahía la Graciosa.
- 10.10 El mapa de distribución potencial complementa de manera visual lo descrito en el modelo mixto lineal generalizado, sin embargo muestra áreas donde podría existir una o dos especies, donde es biológicamente imposible la presencia, debido a la geomorfología de la laguna, al exceso de sedimentos y los bajos niveles de pH.

## 11. Recomendaciones

- 11.1. Repetir este estudio durante un año completo, para poder medir la variación estacional añadiendo otros parámetros físicos y químicos del agua (salinidad, oxígeno disuelto, sólidos totales, nitratos, nitritos fosfatos, etc.) y del sedimento (materia orgánica, micronutrientes y macronutrientes,) que permitan tener una mayor comprensión, de la dinámica ecológica de los pastos marinos en el área.
- 11.2. Modificar el diseño experimental del estudio por medio de la utilización de un transecto de mayor longitud, que permita, probablemente, evaluar los cambios en la riqueza y distribución de pastos marinos de la bahía la Graciosa.
- 11.3. Continuar con el estudio de la riqueza y distribución de pastos marinos en otras áreas de la zona marino-costera del Atlántico de Guatemala.
- 11.4. Debido a que esta investigación generó datos significativos de los cambios en el pH y la textura del sustrato, son determinantes en la riqueza y distribución de pastos marinos, se sugiere iniciar con investigaciones a largo plazo que permitan evaluar el efecto de la acidificación del mar, y los procesos de erosión derivados del cambio en el uso del suelo.
- 11.5. Desarrollar estudios que permitan analizar el impacto de la variabilidad ambiental en la biomasa, densidad y cobertura de cada una de las especies de pastos marinos.
- 11.6. Evaluar si la incorporación de funciones cuadráticas, cúbicas o polinomiales a los parámetros físicos y químicos del agua y del sedimento permitan que el modelo mixto lineal generalizado, tenga mayor capacidad de describir y explicar la variación en el número de especies.

- 11.7. Dada la importancia ecológica que tiene las praderas de pastos marinos en el mantenimiento de la riqueza y abundancia de peces y macroinvertebrados (Arrivillaga & Baltz, 1999), se sugiere incluir dentro de las políticas públicas y privadas de conservación de la biodiversidad los datos de esta investigación, para poder tomar decisiones acerca del mantenimiento de los procesos ecológicos de los ecosistemas marino-costeros.
- 11.8. Realizar estudios que permitan conocer el movimiento y dirección de las corrientes el oleaje y el régimen de mareas dentro del área, debido a la influencia que tiene el movimiento de las masas de agua sobre algunos parámetros fisicoquímicos y sobre algunas de las especies de pastos marinos reportadas.
- 11.9. Desarrollar estudios espacio-temporales que permitan evaluar el efecto de la temperatura, el pH y la salinidad sobre las ecología de los pastos marinos, particularmente por la variabilidad de estos parámetros por los efectos del cambio climático.

## 12. Referencias

1. Ackerman, J. D. (2006). Sexual reproduction of seagrasses: pollination in the marine context. En: Larkum, A. W. D., Orth, R. J. y Duarte, C. M. (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, p. 89-109.
2. Adams, E. & Caldeira, K. (2010). Carbon sequestration via direct injection into the ocean. En: Steele, J., Thorpe & Turekian, K. (Eds.), *Marine Chemistry and Geochemistry*. Encyclopedia of Ocean Sciences. 2d. Edition. Springer, United Kingdom, p. 315-321.
3. APHA, WPCF & AWWA. (1992). *Standard Methods for the examination of waters and wastewaters*. Washington. D.C., 856 p.
4. Arrivillaga, A y 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.
5. Bates, D., Maechler, M. & Bolker, B. (2011). *lme4: Linear mixed-effects models using S4 classes*. R package version 0.999375-39. URL <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>
6. Breslow, N. E. y Clayton, D. G. (1993). Approximate Inference in Generalized Linear Mixed Models. *Journal of the American Statistical Association*. 88 (421), 9-25.

7. Bjork, M., Short, F., Mcleod, E. y Beer, S. (2008). *Managing Seagrasses for Resilience to Climate Change*. UICN. Gland. Suiza. 56 p.
8. Bolker, B. M., Brooks, M. E., Clark, C. J., Geange, S. W., Poulsen, J. R., Stevens, H. H. y White, J. S. (2009). Generalized Linear Mixed Models: A Practical Guide for Ecology and Evolution. *Trends in Ecology and Evolution*. 24 (3), 127-135.
9. Burdick, D. M. y Kendrick, G. A. (2001). Standards for seagrass collection, identification and sample design. En: Short, F. T. y Coles, R. G. (Eds.), *Global Seagrass Research Methods*. Elsevier Science, B.V., p. 79-100.
10. Burnham, K. & Anderson, D. (2002). *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. 2nd ed. Springer. 515 p.
11. Carlson, C. Bates, N., Hansell D. & Steinberg, D. (2010). Carbon cycle. En: Steele, J., Thorpe & Turekian, K. (Eds.), *Marine Chemistry and Geochemistry*. Encyclopedia of Ocean Sciences. 2. Edition. Springer, United Kingdom, p. 495-504.
12. Colwell, R. y Coddington, J. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. 345. 101-118.
13. Colwell, R. (2006). *EstimateS: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples*. Version 8. University of Connecticut. USA.

14. Cook, C. D. K. (1996). *Aquatic Plant Book*. SPB Academic Publishing. The Hague. Holanda. 228 p.
15. Centro de Estudios Conservacionistas –CECON-, Centro de Datos para la Conservación –CDC-. (1992). *Estudio Técnico de Punta de Manabique*. Universidad de San Carlos de Guatemala. 79 p.
16. Davidse, G., M. Sousa Sánchez & A. O. Chater. (eds.) (1994). *Alismataceae a Cyperaceae, Flora Mesoamericana*. Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico. Vol. 6. 543 p.
17. Deepayan, S. (2008). *Lattice: Multivariate Data Visualization with R*. Springer, New York, USA.
18. Duarte, C. M. (1991). Seagrass depth limits. *Aquat. Bot.* 40, 363-377.
19. Duarte, C. M., Merino, M. y Gallegos, M. (1995). Evidence of iron deficiency in seagrasses growing above carbonate sediments. *Limnol. Oceanogr.* 40, 1153-1158.
20. Duarte, C. M., Terrados, J., Agawin, N. R. S. y Fortes, M. D. (2000). An experimental test of the occurrence of competitive interactions among SE Asian seagrasses. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 197, 231-240.
21. Dunton, K. H. (1996). Photosynthetic production and biomass of the subtropical seagrass *Halodule wrightii* along an estuarine gradient. *Estuaries* 19, 436-447.

22. EDC-Biología. (2003). *Guía para elaborar el Protocolo Investigación*. Programa de Experiencias Docentes con la Comunidad. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. 5 p.
23. Fortin, M-J., & Dale, M. (2005). *Spatial Analysis a Guide for Ecologist*, Cambridge University Press. New York. USA. 381 p.
24. Galán, X. (2006). Pastos marinos: composición comunitaria, biomasa de pastos marinos y morfometría de *Thalassia testudinum*, en dos sitios de bahía la Graciosa, Izabal, Guatemala. Informe de tesis de graduación. Facultad de Ciencias y Humanidades, Universidad del Valle de Guatemala. 59 p.
25. Gallegos, M. (1995). Dinámica de poblaciones y crecimiento de los pastos marinos caribeños *Thalassia testudinum* Banks ex König, *Syringodium filiforme* Kütz y *Halodule wrightii* Ascherson. (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional Autónoma de México.
26. García-Salgado, M., Camarena, L., Gold B., Vasquez, M., Galland, G., Alarcón, D., Ceja, M. (2006). *Línea Base del Estado del Sistema Arrecifal Mesoamericano*. Documento técnico del SAM No. 18. 167 p.

27. Granados, P. (2001). *Bases Teóricas para el Estudio Limnológico de un Cuerpo de Agua Epicontinental*. En prensa. Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. 6 p.
28. den Hartog, C. y Kuo, J. (2006). Taxonomy and Biogeography of Seagrasses. En *Seagrasses, Biology, Ecology and Conservation*. Ed. Larkum, A., Orth, R., y Duarte, C. Springer. Dordrecht. Holanda. 690 p.
29. Hemminga, M., y Duarte, C. (2000). *Seagrass Ecology*. Cambridge University Press. Reino Unido. 308 p.
30. Hogarth P. (2007). *The Biology of Mangroves and Seagrasses*. Oxford University Press. 284 pp.
31. Invers, O., Romero, J., Perez, M. (1997). Effects of pH on seagrasses photosynthesis: a laboratory an field assesment. *Aquatic Botany*. 59: 185-194.
32. Kuo, J. y den Hartog, C. (2006). Seagrass morphology, anatomy and ultrastructure. En: *Seagrasses, Biology, Ecology and Conservation*. Ed. Larkum, A., Orth, R., y Duarte, C. Springer. Dordrecht. Holanda. 690 p.
33. Kuo, J. y den Hartog, C. (2001). Seagrass Taxonomy and Identification Key. En *Global Seagrass Research Methods*. Ed. Short, F. y Coles, R. Elsevier Science B. V. Amsterdam. Holanda. 506 p.

34. Larkum, A., Orth, R., y Duarte, C. (2006). *Seagrasses, Biology, Ecology and Conservation*. Springer. Dordrecht. Holanda. 690 p.
35. Larkum, A., Drew, E., y Ralph, P. (2006). Photosynthesis and Metabolism in Seagrasses at the cellular level. En: Larkum, A. W. D., Orth, R. J. y Duarte, C. M. (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, p 323-345.
36. Les, D. Cleland, M., Waycott, M. (1997). Phylogentic Studies in Alismatide, II: Evolution of Marine Angiosperms (Seagrasses) and Hydrophyly. *Systematic Botany*, 22 (3), 443-463.
37. Legendre P & Legendre L. (1998). *Numerical Ecology*. 2ª Editions. Elsevier Science B.V. Netherlands. 853 p.
38. Littler, D. & Littler M. (2000). *Caribbean Reef Plants*. Offshore Graphics, Inc. USA. 542 p.
39. MacDonald, B. D. (2009). Vegetación Acuática del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique (Informe Final Ejercicio Profesional Supervisado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

40. Marbà, N., Holmer, M., Gacia, E. y Barrón, C. (2006). Seagrass beds and coastal biogeochemistry. En: Larkum, A. W. D., Orth, R. J. y Duarte, C. M. (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, The Netherlands, p. 135-157.
41. Martínez, B. R. (2007). Características y Estado de Conservación de los Pastos Marinos en Áreas de Interés del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba (Tesis de Doctorado). \_Universidad de la Habana. Cuba.
42. McGarigal K, Cushman S y Stafford S. (2000). *Multivariate Statistics for Wildlife and Ecology Research*. Springer. USA. 283 p.
43. Méndez, C. (1999). *Comunidad y Diversidad*. Documento no. 12 Co-ediciones Técnicas. Guatemala. Consejo Nacional de Áreas Protegidas.
44. Méndez, C. (2001). *Inventario Nacional de los Humedales de Guatemala*. UICN Mesoamérica, CONAP, USAC. Costa Rica. 154 p.
45. Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. MyT–Manuales y Tesis SEA, Vol. I. Zaragoza, 84 p.

46. Novelo, A. y Lot, A. (1989). Importancia de la vegetación acuática en los ecosistemas naturales. En: *Memorias del simposio internacional sobre la ecología y conservación del delta de los ríos Grijalva y Usumacinta*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. División regional Tabasco y Gobierno de Tabasco. Villahermosa 5-14 p.
47. Orth, R. J., Harwell, M. C. y Inglis, G. J. (2006). Ecology of seagrass beds seeds and dispersal strategies. En: Larkum, A. W. D., Orth, R. J. y Duarte, C. M. (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, p. 111-133.
48. Phillips, R. C. y Meñez, E. G. (1988). *Seagrasses*. *Smithson. Contrib. Mar. Sci.*, 34: 1-104 p.
49. Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D. & the R Development Core Team. (2011). *nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1.98.
50. R. Development Core Team. (2010). *R: A Language and environment for statistical computing*. R. Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org>.

51. Ramos, F., Quiroz, A., Ramírez-García, P., Lot, A. (2004). *Manual de Hidrobotánica: Muestreo y Análisis de la vegetación acuática*. AGT Editor, S.A. México. 158 p.
52. Rivera, N. (2008). Variación espacio temporal de los parámetros fisicoquímicos, biológicos y de la distribución de los pastos marinos en la laguna La Mancha. (Tesis de Maestría). Instituto de Ecología. México. 91 p.
53. Rodríguez, J. y Windevoxhel, N. (1998). *Análisis regional de la situación de la zona marina costera centroamericana*. Washington, D.C. USA. 107 p.
54. SAS Institute, Inc. (2007). *JMP, A Business Unit of SAS*. SAS Campus Drive. North Carolina. USA.
55. Secretaría de la Convención de RAMSAR. (2010). *Manuales RAMSAR para el Uso Racional de los Humedales*. 4ª. Edición. Secretaría de la Convención de RAMSAR. Gland, Suiza.
56. Short, F. y Coles, R. (2001). *Global Seagrass Research Methods*. Elsevier Science B. V. Amsterdam. Holanda. 506 p.
57. Short F., Coles R. y Pergent-Martini C. (2001). Global Seagrass Distribution. En *Global Seagrass Research Methods*. Ed. Short, F. y Coles, R. Elsevier Science B. V. Amsterdam. Holanda. 506 p.

58. Short F., Carruthers, T., Dennison, W., Waycott M. (2007). Global seagrass distribution and biodiversity: A bioregional model. *Journal of Experimental Marine Biology*. 350. 3-20 p.
59. Short F., Moore, G. E., y Peyton K. A. (2010). *Halophila ovalis* in the Tropical Atlantic Ocean. *Aquatic Botany*. 93, 141-146.
60. StatSoft, Inc. (2007). *STATISTICA: data analysis software system*. Tulsa, USA.
61. Steele, J., Thorpe & Turekian, K. (2010). *Marine Chemistry and Geochemistry*. *Encyclopedia of Ocean Sciences*. 2. Edition. Springer, United Kingdom. 642 p.
62. Stewart, R. (2008). *Introduction to the Physical Oceanography*. Texas A & M University. USA. 354 p.
63. Sumich, J. (1992). *An introduction to the Biology of Marine Life*. 5ta. Ed. Wm. C. Brown Publishers. EE.UU. 449 p.
64. Tabilo Valdivieso, E. (1999). *El Beneficio de los humedales en América Central: el potencial de los humedales para el desarrollo*. 2a. ed. Turrialba, C.R. WWF, Heredia, CR. ; Universidad Nacional, Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre, 58 p.

65. Tabilo Valdivieso, E. (2003). *El Beneficio de los Humedales en la Región Neotropical*. Centro Neotropical de Entrenamiento en Humedales, La Serena, Chile. 73p.
66. Touchette, B. & Burkholder, J. (2000). Overview of the physiological ecology of carbon metabolism in seagrasses. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 250: 169-205.
67. van Tussenbroek, B. I., Santos, G. M., Wong, G. R., van Dijk, J. K., y Waycott, M. (2010). *Guía de los Pastos Marinos Tropicales del Atlántico Oeste*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 75p.
68. van Tussenbroek, B. I. (1995). *Thalassia testudinum* leaf dynamics in a Mexican Caribbean coral reef lagoon. *Mar. Biol.* 122, 33-40.
69. van Tussenbroek, B. I. (1998). Above- and below-ground biomass and production by *Thalassia testudinum* in a tropical reef lagoon. *Aquatic Botany*, 61, 69-82.
70. van Tussenbroek, B. I., Vonk, J. A., Stapel, J., Erfteimeijer, P. L. A., Middelburg, J. J. y Zieman, J. C. (2006). The biology of *Thalassia*: Paradigms and recent advances in research. En: Larkum, A. W. D., Orth, R. J. y Duarte, C. M. (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, p. 409-439.

71. Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002) *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. URL <http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4>.
72. Waycott, M., Procaccini, G., Les, D. H. y Reusch, T. B. H. (2006). Seagrass evolution, ecology and conservation: a genetic perspective. En: Larkum, A. W. D., Orth, R. J. y Duarte, C. M. (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, p. 25-50.
73. Weiner, E. (2007). *Applications of Environmental Aquatic Chemistry, a practical guide*. CRC press. USA. 442 p.
74. Wetzel, R.G. (1981). *Limnología*. 1ra. Edición en español. Ediciones Omega. Barcelona, España. 678pp.
75. Wetzel, R. y Likens, G. (2000). *Limnological Analyses*. Third Edition. Springer. USA. 428pp.
76. Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Smith, G. M. *Analyzing ecological data*. (2007). Springer. USA. 686 p.
77. Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N., Saveliev, A. A., Smith, G. M. (2009). *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. 1ra. Edición. Springer. USA. 574 p.

### 13. Anexos



Anexo 1. Mapa generado con información de fotografías aéreas digitales de la laguna marino-costera de la Bahía de la Graciosa.

Transecto	Longitud	Latitud	Transecto	Longitud	Latitud
1	-88.54239	15.86487	26	-88.49241	15.84298
2	-88.54296	15.86733	27	-88.49389	15.83929
3	-88.54436	15.87210	28	-88.49716	15.83620
4	-88.54486	15.87486	29	-88.50074	15.83567
5	-88.54638	15.87801	30	-88.50839	15.83674
6	-88.54672	15.88209	31	-88.51312	15.83775
7	-88.54387	15.87806	32	-88.51770	15.83946
8	-88.54052	15.87629	33	-88.52213	15.84086
9	-88.53666	15.87689	34	-88.52638	15.84060
10	-88.53219	15.87611	35	-88.53090	15.84170
11	-88.52763	15.87460	36	-88.53481	15.84412
12	-88.52386	15.87277	37	-88.53807	15.84702
13	-88.51914	15.87178	38	-88.54275	15.84866
14	-88.51496	15.87074	39	-88.54589	15.84713
15	-88.51107	15.87054	40	-88.54628	15.84373
16	-88.50987	15.86727	41	-88.54791	15.84069
17	-88.51092	15.86385	42	-88.55083	15.83848
18	-88.51119	15.86002	43	-88.55243	15.83725
19	-88.50999	15.85680	44	-88.55031	15.84085
20	-88.50555	15.85664	45	-88.55175	15.84386
21	-88.50116	15.85612	46	-88.55515	15.84648
22	-88.49685	15.85500	47	-88.55838	15.84938
23	-88.49413	15.85274	48	-88.56074	15.85311
24	-88.49140	15.84980	49	-88.56238	15.85715
25	-88.49184	15.84608	50	-88.56021	15.86126

Anexo 2. Tabla con las coordenadas geográficas con la disposición espacial de los transectos lineales de muestreo.

	Transecto	Cuadrante	Dist. Orilla (m)	<i>T.</i> <i>testudinum</i>	<i>H.</i> <i>baillonii</i>	<i>H.</i> <i>beaudettei</i>	<i>R.</i> <i>maritima</i>	<i>H.</i> <i>wrightii</i>	<i>H.</i> <i>engelmannii</i>	Riqueza
1	51	1	0	1	0	0	0	0	0	1
2	51	2	10	1	0	0	0	1	0	2
3	51	3	20	1	0	0	0	0	0	1
4	51	4	30	1	0	0	0	0	0	1
5	46	1	0	1	0	0	0	0	0	1
6	46	2	10	1	0	0	0	0	0	1
7	46	3	20	1	0	0	0	0	0	1
8	46	4	30	1	0	0	0	0	0	1
9	41	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	41	2	10	0	0	0	0	0	0	0
11	41	3	20	0	0	0	0	0	0	0
12	41	4	30	0	0	0	0	0	0	0
13	36	1	0	1	0	0	0	0	0	1
14	36	2	10	1	0	0	0	0	0	1
15	36	3	20	1	1	1	0	1	0	4
16	36	4	30	1	1	1	0	0	0	3
17	31	1	0	1	1	0	0	1	0	3
18	31	2	10	1	0	0	0	0	0	1
19	31	3	20	1	0	0	0	0	0	1
20	31	4	30	1	1	0	0	0	0	2
21	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1	2	10	0	0	0	0	0	0	0
23	1	3	20	0	0	0	0	0	0	0
24	1	4	30	0	0	0	0	0	0	0
25	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
26	2	2	10	0	0	0	0	0	0	0
27	2	3	20	0	0	0	0	0	0	0
28	2	4	30	0	0	0	0	0	0	0

Transecto	Cuadrante	Dist. Orilla (m)	<i>T.</i> <i>testudinum</i>	<i>H.</i> <i>baillonii</i>	<i>H.</i> <i>beaudettei</i>	<i>R.</i> <i>maritima</i>	<i>H.</i> <i>wrightii</i>	<i>H.</i> <i>engelmannii</i>	Riqueza
29	6	1	0	0	0	0	0	0	0
30	6	2	10	0	0	0	0	0	0
31	6	3	20	0	0	0	0	0	0
32	6	4	30	0	0	0	0	0	0
33	7	1	0	0	0	0	0	0	0
34	7	2	10	0	0	0	0	0	0
35	7	3	20	0	0	0	0	0	0
36	7	4	30	0	0	0	0	0	0
37	11	1	0	0	0	0	0	0	0
38	11	2	10	1	0	0	0	0	1
39	11	3	20	1	0	0	0	0	1
40	11	4	30	1	0	0	0	0	1
41	12	1	0	0	0	0	0	0	0
42	12	2	10	1	0	0	0	0	1
43	12	3	20	1	0	0	0	0	1
44	12	4	30	0	0	0	0	0	1
45	16	1	0	0	0	0	0	0	0
46	16	2	10	1	0	0	0	0	0
47	16	3	20	0	0	0	0	0	1
48	16	4	30	0	0	0	0	0	0
49	17	1	0	1	0	0	0	0	0
50	17	2	10	1	0	0	0	0	1
51	17	3	20	1	0	0	0	0	1
52	17	4	30	0	0	0	0	0	1
53	21	1	0	0	0	0	0	0	0
54	21	2	10	1	0	0	0	0	0
55	21	3	20	0	0	0	0	0	1
56	21	4	30	0	0	0	0	0	0
57	22	1	0	0	0	0	0	0	0

Transecto	Cuadrante	Dist. Orilla (m)	<i>T. testudinum</i>	<i>H. baillonii</i>	<i>H. beaudettei</i>	<i>R. maritima</i>	<i>H. wrightii</i>	<i>H. engelmannii</i>	Riqueza
58	22	2	10	0	0	0	0	0	0
59	22	3	20	0	0	0	0	0	0
60	22	4	30	0	0	0	0	0	0
61	26	1	0	1	0	0	0	0	0
62	26	2	10	1	0	0	0	0	1
63	26	3	20	0	0	0	0	0	1
64	26	4	30	0	0	0	0	0	0
65	27	1	0	1	0	0	0	1	0
66	27	2	10	0	0	0	0	0	2
67	27	3	20	0	0	0	0	0	0
68	27	4	30	0	0	0	0	0	0
69	32	1	0	1	0	0	0	0	0
70	32	2	10	1	0	0	0	0	1
71	32	3	20	1	1	0	0	0	1
72	32	4	30	1	0	0	0	0	2
73	37	1	0	1	0	0	0	0	1
74	37	2	10	1	0	0	0	0	1
75	37	3	20	1	0	0	0	0	1
76	37	4	30	0	0	0	0	0	1
77	47	1	0	0	0	0	1	0	0
78	47	2	10	1	0	0	0	0	1
79	47	3	20	1	0	0	0	0	1
80	47	4	30	0	0	0	0	0	1
81	50	1	0	0	0	0	0	0	0
82	50	2	10	0	0	0	0	0	0
83	50	3	20	1	0	0	0	0	0
84	50	4	30	1	0	0	0	0	2
85	49	1	0	1	0	0	0	0	1
86	49	2	10	1	0	0	0	0	1

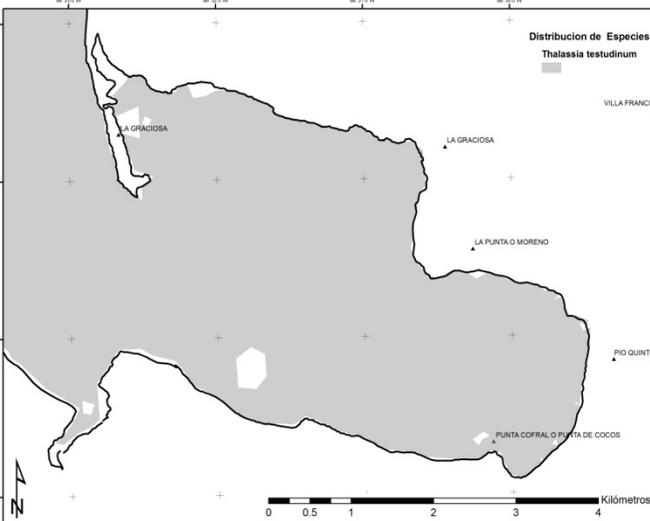
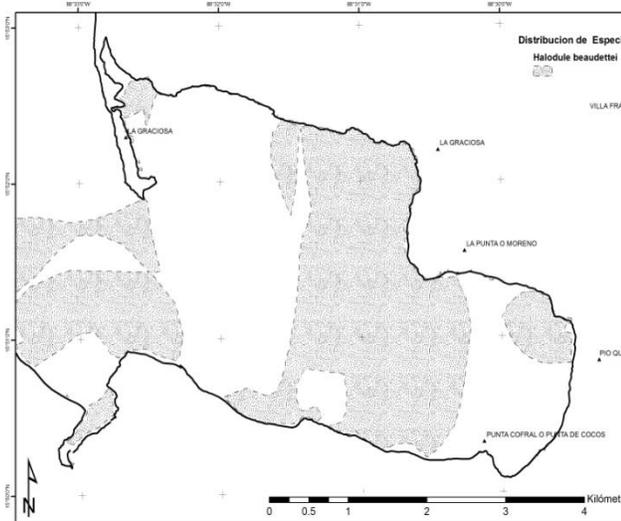
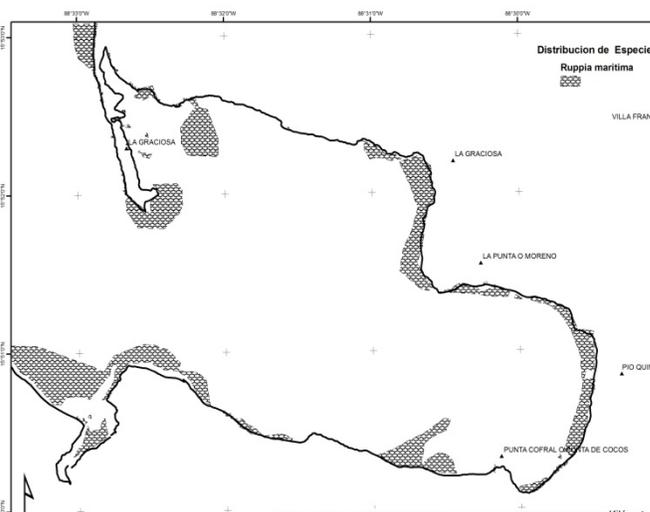
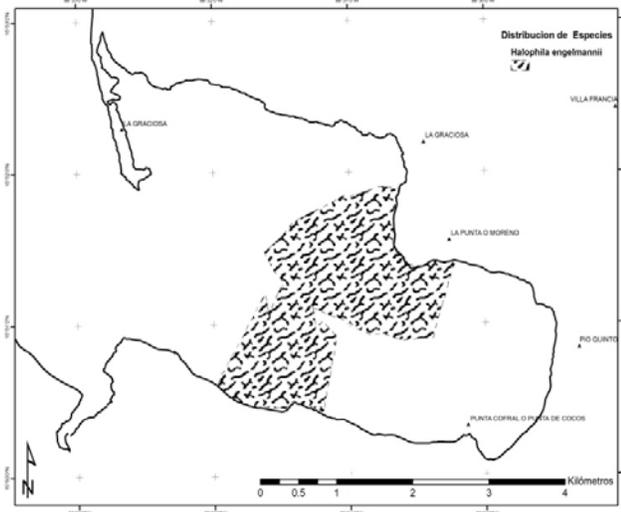
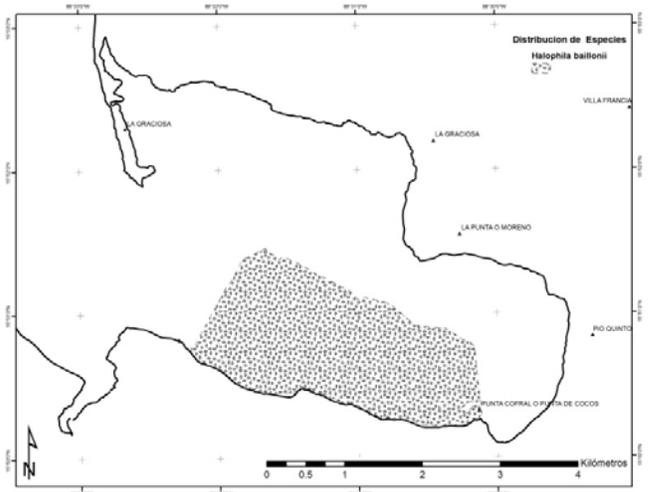
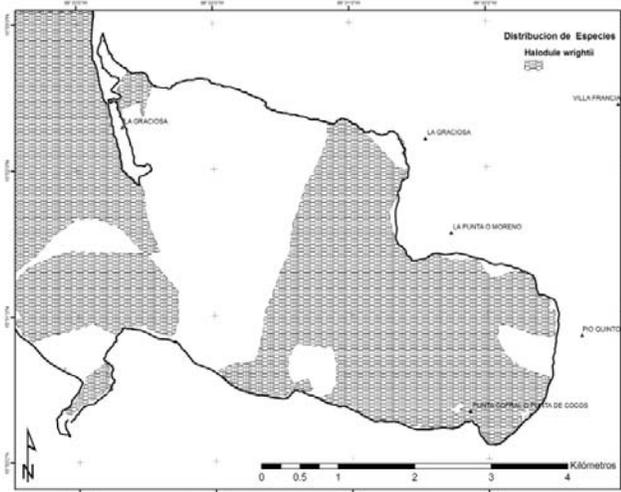
Transecto	Cuadrante	Dist. Orilla (m)	<i>T. testudinum</i>	<i>H. baillonii</i>	<i>H. beaudettei</i>	<i>R. maritima</i>	<i>H. wrightii</i>	<i>H. engelmannii</i>	Riqueza
87	49	3	20	0	0	0	0	0	1
88	49	4	30	1	0	0	0	0	1
89	40	1	0	1	0	0	0	0	0
90	40	2	10	1	0	0	0	0	1
91	40	3	20	0	0	0	0	0	1
92	40	4	30	1	0	0	0	1	1
93	39	1	0	0	0	1	0	0	0
94	39	2	10	1	0	0	0	0	2
95	39	3	20	1	0	0	0	1	1
96	39	4	30	1	0	0	0	0	1
97	34	1	0	1	1	1	0	1	2
98	34	2	10	1	0	1	0	0	1
99	34	3	20	1	0	0	0	0	4
100	34	4	30	1	0	0	0	0	2
101	33	1	0	1	0	0	0	0	1
102	33	2	10	1	1	1	0	0	1
103	33	3	20	0	0	0	0	0	1
104	33	4	30	0	0	0	0	0	3
105	29	1	0	0	0	0	0	0	0
106	29	2	10	0	0	0	0	0	0
107	29	3	20	0	0	0	0	0	0
108	29	4	30	1	0	1	0	1	0
109	24	1	0	0	0	0	0	0	0
110	24	2	10	0	0	0	0	0	3
111	24	3	20	0	0	0	0	0	0
112	24	4	30	0	0	0	0	0	0
113	23	1	0	1	0	0	0	0	0
114	23	2	10	0	0	0	0	0	0
115	23	3	20	0	0	0	0	0	1

Transecto	Cuadrante	Dist. Orilla (m)	<i>T. testudinum</i>	<i>H. baillonii</i>	<i>H. beaudettei</i>	<i>R. maritima</i>	<i>H. wrightii</i>	<i>H. engelmannii</i>	Riqueza
116	23	4	30	0	0	0	0	0	0
117	20	1	0	1	0	0	0	0	0
118	20	2	10	0	0	0	0	0	0
119	20	3	20	1	0	0	0	0	1
120	20	4	30	1	0	0	0	0	0
121	19	1	0	1	0	0	0	0	1
122	19	2	10	1	0	0	0	0	1
123	19	3	20	0	0	0	0	0	1
124	19	4	30	1	0	0	0	0	1
125	14	1	0	1	0	0	0	0	0
126	14	2	10	0	0	0	0	0	1
127	14	3	20	1	0	0	0	0	1
128	14	4	30	1	0	0	0	0	1
129	13	1	0	1	0	0	0	0	0
130	13	2	10	0	0	0	0	0	1
131	13	3	20	0	0	0	0	0	1
132	13	4	30	0	0	0	0	0	1
133	10	1	0	0	0	0	0	0	0
134	10	2	10	0	0	0	0	0	0
135	10	3	20	1	0	0	0	0	0
136	10	4	30	1	0	0	0	0	0
137	9	1	0	0	0	0	0	0	0
138	9	2	10	1	0	1	0	1	1
139	9	3	20	1	0	0	0	0	1
140	9	4	30	1	0	0	0	0	0
141	48	1	0	0	0	0	0	0	3
142	48	2	10	1	0	0	0	0	1
143	48	3	20	1	0	0	0	0	1
144	48	4	30	0	0	0	0	0	0

Transecto	Cuadrante	Dist. Orilla (m)	<i>T.</i> <i>testudinum</i>	<i>H.</i> <i>baillonii</i>	<i>H.</i> <i>beaudettei</i>	<i>R.</i> <i>maritima</i>	<i>H.</i> <i>wrightii</i>	<i>H.</i> <i>engelmannii</i>	Riqueza
145	45	1	0	0	0	0	0	0	1
146	45	2	10	0	0	0	0	0	1
147	45	3	20	0	0	0	0	0	0
148	45	4	30	0	0	0	0	0	0
149	44	1	0	0	0	0	0	0	0
150	44	2	10	0	0	0	0	0	0
151	44	3	20	0	0	0	0	0	0
152	44	4	30	0	0	0	0	0	0
153	43	1	0	0	0	0	0	0	0
154	43	2	10	0	0	0	0	0	0
155	43	3	20	0	0	0	0	0	0
156	43	4	30	0	0	0	0	0	0
157	42	1	0	0	0	0	0	0	0
158	42	2	10	1	0	0	0	0	0
159	42	3	20	1	0	0	0	0	0
160	42	4	30	1	0	0	0	0	0
161	38	1	0	1	0	0	0	0	1
162	38	2	10	1	0	0	0	1	1
163	38	3	20	1	0	0	0	0	1
164	38	4	30	1	0	0	0	0	1
165	35	1	0	0	0	0	0	0	2
166	35	2	10	0	0	0	0	0	1
167	35	3	20	0	0	0	0	0	1
168	35	4	30	0	0	0	0	0	1
169	28	1	0	0	0	0	0	0	0
170	28	2	10	1	0	0	0	0	0
171	28	3	20	0	0	0	0	0	0
172	28	4	30	0	0	0	0	0	0
173	25	1	0	0	0	0	0	1	0

Transecto	Cuadrante	Dist. Orilla (m)	<i>T. testudinum</i>	<i>H. baillonii</i>	<i>H. beaudettei</i>	<i>R. maritima</i>	<i>H. wrightii</i>	<i>H. engelmannii</i>	Riqueza
174	25	2	10	1	0	0	0	0	1
175	25	3	20	1	0	0	0	0	0
176	25	4	30	0	0	0	0	0	0
177	18	1	0	0	0	0	0	0	1
178	18	2	10	0	0	0	0	0	1
179	18	3	20	0	0	0	0	0	1
180	18	4	30	0	0	0	0	0	0
181	15	1	0	0	0	0	0	0	0
182	15	2	10	0	0	0	0	0	0
183	15	3	20	0	0	0	0	0	0
184	15	4	30	0	0	0	0	0	0
185	8	1	0	0	0	0	0	0	0
186	8	2	10	0	0	0	0	0	0
187	8	3	20	0	0	0	0	0	0
188	8	4	30	0	0	0	0	0	0
189	5	1	0	0	0	0	0	0	0
190	5	2	10	0	0	0	0	0	0
191	5	3	20	0	0	0	0	0	0
192	5	4	30	0	0	0	0	0	0
193	4	1	0	1	0	0	0	0	0
194	4	2	10	1	0	0	0	0	0
195	4	3	20	0	0	0	0	0	0
196	4	4	30	0	0	0	0	0	0
197	3	1	0	1	0	0	0	0	1
198	3	2	10	1	0	0	0	1	1
199	3	3	20	1	0	0	0	0	0
200	3	4	30	1	0	0	0	0	0

Anexo 3. Datos de riqueza y presencia/ausencia de pastos marinos por cuadrante y transecto.



Anexo 4. Mapas de distribución potencial por especie.

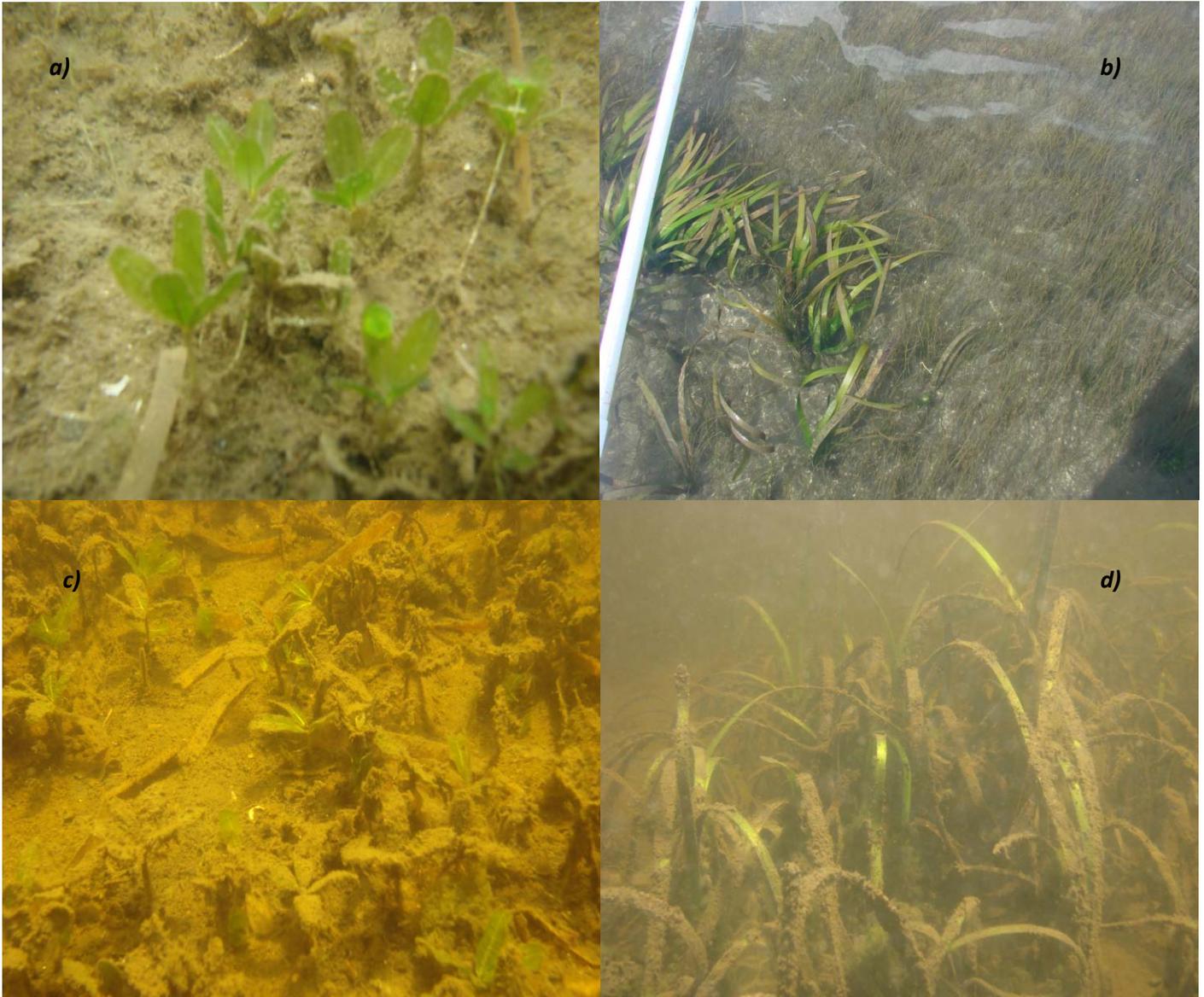
Praderas de Pastos Marinos Laguna Marino-Costera Bahía La Graciosa

Pastos Marinos						
Sección I			Código _____			
Nombre sitio _____		Localidad _____				
Transecto _____			Parcela _____			
Fecha ____ / ____ / ____		Hora _____		am pm		
Coordenadas N _____		O _____		Altitud _____ msnm		
Fotos no. _____						
Clima  _____  _____  _____  _____  _____						
Profundidad _____ m		Dist. Orilla 0 10 20 30 m				
Corriente Suave _____		Moderada _____		Fuerte _____		
Color Agua _____						
Uso Tierra Manglar		Arbustos		Poblado		Claro
Cultivo		Potrero				
Transparencia _____ m		Profundidad _____ pies				
T° Agua _____ °C		pH _____		Salinidad _____ ‰		
O <sub>2</sub> Disuelto _____ mg/L		_____ ‰		Conductividad _____ µS/cm		
TDS _____ mg/L						
Observaciones _____						
Toma Datos IC CM AD BD						
Colector BM AD CM IC						
Sección II						
Especies		<i>Thalassia</i> _____ m		<i>Halodule</i> <i>bai</i> _____ m		<i>Halodule</i> <i>dec</i> _____ m
		<i>Halodule</i> <i>bea</i> _____ m		<i>Halodule</i> <i>wri</i> _____ m		<i>Syringodium</i> <i>fil</i> _____ m
		<i>Ruppia</i> <i>mar</i> _____ m		<i>Halodule</i> <i>eng</i> _____ m		<i>Halodule</i> <i>joh</i> _____ m
Algas _____						
Determinador BD CL AD IC						
Sustrato color _____						
Textura Arcilla		Limo		A. Fina		A. Gruesa
Lodo						
Restos Conchas		Crustaceos		Coral		Algas
Otros						
Observaciones _____						

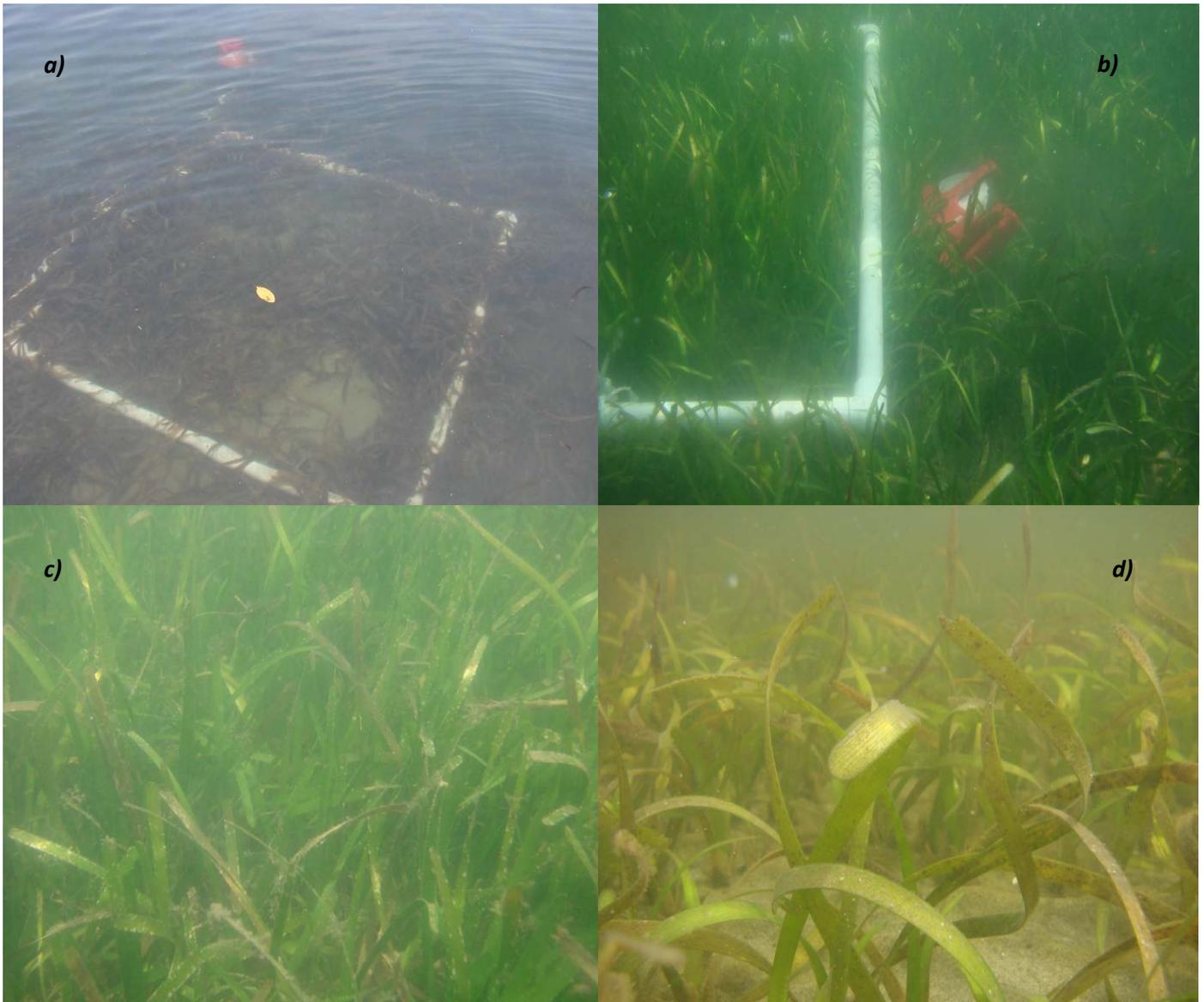
Anexo 5. Boleta diseñada para la toma de datos de pastos marinos de la laguna marino-costera de la bahía la Graciosa.



Anexo 6. Figuras *a)* laguna marino-costera de la bahía la Graciosa, *b)* pastos marinos creciendo contiguos a las áreas de manglar, *c)* haciendo la inmersión para realizar el muestreo y *d)* bajo el agua utilizando un cuadrante para evaluar la riqueza de especies.



Anexo 7. Figuras **a)** *Halophila baillonii*, **b)** pradera de pasto marino multiespecífica compuesta por *Thalassia testudinum* y *Halodule beaudeteii*, **c)** *H. baillonii* cubierta por el exceso de sedimentos y **d)** *T. testudinum* cubierta por el exceso de sedimentos.



Anexo 8. Figuras **a)** Cuadrante donde se encontró *T. testudinum* muerta **b)** pradera de pasto marino monoespecífica compuesta por *T. testudinum*, **c)** *T. testudinum* cubierta algas epifitas y **d)** *T. testudinum* oscilando con el movimiento de las olas.