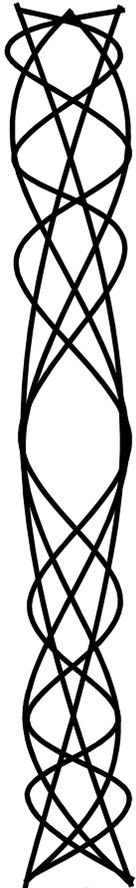




Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza



Análisis de la cobertura de los bosques de *Sargassum* spp y dinámica pesquera a través del tiempo mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota en Bahía Concepción y Bahía de La Paz, B.C.S., México

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

BIÓLOGO

PRESENTA

Carlos Cruz Vázquez

Director: Dr. Rodolfo Rioja Nieto

Asesor: M. en C. Eliseo Cantellano de Rosas



F E S
ZARAGOZA

México D.F.

Noviembre, 2013

Agradecimientos

En primer lugar agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por su acogimiento dentro de sus instalaciones, por su vasto conocimiento adquirido y por ser un pilar dentro de mi formación y crecimiento, es un orgullo formar parte de sus filas y ser un miembro más de esta linda institución.

Al proyecto 108464 fondo Sectorial SEMARNAT-CONACyT por la beca otorgada.

Al Dr. Rodolfo Rioja Nieto por dejarme ser parte del proyecto y regalarme parte de su conocimiento en pos de mi educación.

A mis Sinodales de tesis M. en C. Eliseo Cantellano de Rosas, M. en C. Faustino López Barrera, Biol. José Luís Guzmán Santiago y a la M. en C. María Beatriz Martínez Rosales por sus observaciones y comentarios que permitieron pulir este trabajo.

Un agradecimiento especial al Dr. Jorge López Rocha por proporcionarme su tiempo para ayudarme con la parte de pesquerías y facilitarme las bases de datos de CONAPESCA.

A Sisal pueblo místico, lleno de magia, buenas amistades, bellos paisajes, lindas anécdotas, hermosos atardeceres, Sisal tiene magia.

A Tonali, Lety, Perla, Rodriguin, Isra, Champions, Lucano, Liz y muchos, muchos más, por su amistad, palabras de aliento, buena vibra, por sus muchas convivencias y las aventuras que me hicieron pasar durante la estancia en Sisal.

A la banda Zaragozana que estuvo al pendiente de mi progreso y estancia en Yucatan, Saludos.

Dedicatoria

A mis padres por ser el apoyo, el sustento y un gran pilar de la formación académica y de mi crecimiento como persona, además de darme ese empuje para realizar un sinfín de aventuras.

A mis hermanos por estar conmigo en las buenas y en las malas.

A mis amiguitos sisaleños los manejadores, que hicieron de esta la mejor aventura que pude haber tenido.

A aquellas personas que han sido parte de mi vida y que fueron inspiración para seguir con mis sueños.

“🎵 Dame de esa ración, ven y acuéstate aquí,
ponme en las venas, el color de las olas de mar 🎵”

La Medicina, Real de Catorce

“Lo esencial es invisible a los ojos ”

El Principito, Antoine de Saint-Exupéry

Recuerden esto es parte de la Aventura 🤔❤️😊

Índice

Índice de figuras.	iii
Índice de cuadros.	v
Resumen.	vi
1. Introducción.	1
2. Marco Teórico.	3
2.1. El género <i>Sargassum</i>	3
2.2. Pesquerías.	6
2.3. Sistemas de información Geográfica, percepción remota y mapeo temático.	7
3. Antecedentes y Justificación.	11
4. Área de Estudio.	13
5. Hipótesis.	15
6. Objetivos.	16
6.1. General.	16
6.2. Particulares.	16
7. Material y Método	17
7.1. Obtención de la cobertura de los bosques de <i>Sargassum</i> spp a lo largo del tiempo.	17
7.1.1. Imágenes Satelitales.	17
7.1.2. Pre-Procesamiento.	17
7.1.2.1. Corrección Geométrica y definición del área de interés (AOI).	17
7.2. Análisis de la dinámica espacio-temporal de los bosques de <i>Sargassum</i> spp.	18
7.2.1. Obtención de la cobertura reciente de los bosques.	18
7.2.2. Obtención de la cobertura histórica de los bosques.	18
7.3. Obtención de datos sobre volumen de pesca.	20
7.4. Variación espacio-temporal del bosque de <i>Sargassum</i> spp y su relación con la captura de especies de importancia comercial.	20
8. Resultados.	22
8.1. Pre-procesamiento de las imágenes adquiridas.	22
8.2. Cobertura histórica de los bosques de <i>Sargassum</i> spp.	23
8.2.1. Clasificación no supervisada de las AOI.	23

8.2.2. Cobertura de <i>Sargassum</i> spp a lo largo del tiempo.	23
8.2.2.1. Bahía Concepción.	23
8.2.2.2. Bahía de la Paz.	27
8.3. Obtención de las especies de importancia comercial distribuidas en los bosques de <i>Sargassum</i> spp.	31
8.3.1. Bahía Concepción.	34
8.3.1.1. Invertebrados.	34
8.3.1.2. Peces.	34
8.3.2. Bahía de la Paz.	39
8.3.2.1. Invertebrados.	39
8.3.2.2. Peces.	41
9. Discusión.	46
9.1. Mapeo temático.	46
9.2. Cobertura histórica de los bosques de <i>Sargassum</i>	46
9.3. Análisis estadístico de pesquerías.	48
10. Conclusiones y Recomendaciones.	51
11. Referencias.	52
Anexo 1.	63
Anexo 2.	64

Índice de Figuras.

- Figura 1. Área de estudio, a) Bahía Concepción y b) Bahía de La Paz.14
- Figura 2. Ejemplo del proceso de pre-procesamiento en imágenes Landsat 7 (RGB) georeferenciadas para el año 2006 en Bahía La Paz (a) y Bahía Concepción (b). Recorte de las escenas (c y d) y enmascaramiento de las áreas de interés para el análisis (e y f).22
- Figura 3. Se presenta la clasificación no supervisada de las AOI del año 2006 para Bahía Concepción (a) y Bahía de la Paz (b) con 16 y 12 clases, respectivamente.23
- Figura 4. Mapas temáticos de la distribución anual de *Sargassum* spp en Bahía Concepción. a) 2004, b) 2005, c) 2006, d) 2007, e) 2008, f) 2009, g) 2010 y h) 2011.24-25
- Figura 5. Cobertura total de *Sargassum* spp para Bahía Concepción durante el periodo de estudio. 26
- Figura 6. Mediana de la cobertura de *Sargassum* spp para Bahía Concepción durante el periodo de estudio. Las barras negras representan el cuartil superior e inferior, respectivamente.27
- Figura 7. Mapas temáticos de la distribución anual de *Sargassum* spp en Bahía de La Paz. a) 2004, b) 2005, c) 2006, d) 2007, e) 2008, f) 2009, g) 2010 y h) 2011. 28-29
- Figura 8. Cobertura total de *Sargassum* spp para Bahía de la Paz durante el periodo de 2004-2011. 30
- Figura 9. Mediana de la cobertura de *Sargassum* spp para Bahía de la Paz durante el periodo de estudio. Las barras negras representan el cuartil superior e inferior, respectivamente.31
- Figura 10. Variación del volumen de pesca del Pulpo (*Octopus* sp) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio.35
- Figura 11. Variación del volumen de pesca de la Vieja (*Sphoeroides annulatus*) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio.35
- Figura 12. Variación del volumen de pesca del Perico (*Scarus* spp) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio.36

Figura 13. Variación del volumen de pesca del Pargo mulato (<i>Lutjanus novemfasciatus</i>) y la cobertura de <i>Sargassum</i> spp a lo largo de los años de estudio.	36
Figura 14. Variación del volumen de pesca de la Mojarra (<i>Calamus brachysomus</i>) y la cobertura de <i>Sargassum</i> spp a lo largo de los años de estudio.	37
Figura 15. Variación del volumen de pesca de la Cabrilla (<i>Paralabrax maculatofasciatus</i>) y la cobertura de <i>Sargassum</i> spp a lo largo de los años de estudio.	38
Figura 16. Variación del volumen de pesca del Botete (<i>Balistes polylepis</i>) y la cobertura de <i>Sargassum</i> spp a lo largo de los años de estudio.	38
Figura 17. Variación del volumen de pesca de la Baqueta (<i>Mycteroperca prionura</i>) y la cobertura de <i>Sargassum</i> spp a lo largo de los años de estudio.	39
Figura 18. Variación del volumen de pesca del Pulpo (<i>Octopus</i> sp) y la cobertura de <i>Sargassum</i> spp a lo largo de los años de estudio.	40
Figura 19. Variación del volumen de pesca de la almeja Chocolate (<i>Megapitaria squalida</i>) y la cobertura de <i>Sargassum</i> spp a lo largo de los años de estudio.	40
Figura 20. Variación del volumen de pesca del Pargo Mulato (<i>Lutjanus novemfasciatus</i>) y la cobertura de <i>Sargassum</i> spp a lo largo de los años de estudio.	41
Figura 21. Variación del volumen de pesca de la Mojarra (<i>Calamus brachysomus</i>) y la cobertura de <i>Sargassum</i> spp a lo largo de los años de estudio.	42
Figura 22. Variación del volumen de pesca de la Cabrilla (<i>Paralabrax maculatofasciatus</i>) y la cobertura del <i>Sargassum</i> spp a lo largo de los años de estudio.	43
Figura 23. Variación del volumen de pesca del Botete (<i>Balistes polylepis</i>) y la cobertura de <i>Sargassum</i> spp a lo largo de los años de estudio.	43
Figura 24. Variación del volumen de pesca del Bacoco (<i>Anisotremus interruptus</i>) y la cobertura del <i>Sargassum</i> spp a lo largo de los años de estudio.	44

Índice de cuadros

Cuadro 1. Especies de importancia comercial identificadas a partir del análisis de las bases de datos de CONAPESCA y observaciones en campo para Bahía Concepción.	32
Cuadro 2. Especies de importancia comercial identificadas a partir del análisis de las bases de datos de CONAPESCA y observaciones en campo para Bahía de la Paz.	33
Cuadro 3. Valores de autocorrelación para la cobertura de <i>Sargassum</i> y las especies que tuvieron observaciones durante 6 años consecutivos. () Valor Lag o desfase. * Correlación significativa.	45
Cuadro 4. Análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis para Bahía Concepción. . .	63
Cuadro 5. Análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis, para verificar la relación entre los años de estudio en cuanto a la distribución de <i>Sargassum</i> spp.	64

Resumen

Los bosques de *Sargassum* spp constituyen ecosistemas que proporcionan importantes servicios ambientales relacionados con la alta diversidad de especies que soportan. Entre estos servicios, destaca su función como sitios de anidación, alimentación y refugio para especies, algunas de importancia comercial. Este estudio describe la variación espacio-temporal de los bosques de *Sargassum* spp durante un periodo de siete años (2004-2011), utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) e imágenes satelitales de alta y mediana resolución, y explora su relación con el volumen de captura de especies de importancia comercial, obtenido de bases de datos de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA) en dos bahías de Baja California Sur: Bahía Concepción y Bahía de la Paz. Se encontró que para Bahía Concepción el año de mayor cobertura fue el 2008 con 9.95 km² mientras que el año con menor cobertura correspondió al 2006 con 1.86 km². En Bahía de La Paz la mayor cobertura se encontró en 2010 con 8.26 km² y el año con menor área fue el 2008, con 3.91 km². No se encontró correlación en la variación de la cobertura de *Sargassum* spp a través del tiempo entre las dos bahías de estudio ($p > 0.05$). Tres especies en Bahía Concepción (*Octopus* sp, *Calamus brachysomus* y *Balistes polylepis*) presentan una correlación significativa ($p < 0.05$) con la cobertura de la macroalga a lo largo del tiempo. Los resultados obtenidos destacan la importancia de los bosques de *Sargassum* spp como sitios de reclutamiento de especies de importancia comercial y por lo tanto de la necesidad de medidas adecuadas de manejo y conservación que resulten en políticas públicas que permitan su persistencia.

1. Introducción

Los ecosistemas proveen diversos servicios ecológicos a la sociedad, tanto directa como indirectamente, que benefician a las actividades humanas. Dentro de los bienes y servicios adquiridos por la sociedad están la captura de carbono, purificación del agua, producción de biodiversidad (con énfasis en las especies de extracción comercial), entre otros.

El género *Sargassum* posee importancia ecológica dentro de la zona intermareal y submareal, ya que comúnmente se encuentran asociados con diversas comunidades biológicas. Este ecosistema funciona como sitio de anidación y refugio así como lugar de alimentación para distintos tipos de organismos, como pequeños moluscos, crustáceos y peces, que suelen ser capturados por su alto valor comercial (Carpenter y Cox, 1974; Aguilar-Rosas y Machado, 1990; Rooker *et al.*, 2006; Aburto-Oropeza *et al.*, 2007). En México es común encontrar bosques de *Sargassum* a lo largo de todas las costas, siendo en Baja California donde posee mayor abundancia y variedad de especies (Aguilar-Rosas y Machado, 1990; Rocha-Ramírez y Siqueiros-Beltrones, 1990).

Las pesquerías de peces y algunos invertebrados son una de las principales actividades económicas realizadas en la zona costera, las cuales han venido en aumento a través de los años (Baqueiro y Massó, 1998), éstas además de la modificación de los ecosistemas y la transformación de los ciclos biogeoquímicos, causan un estrés masivo que modifican a la comunidad completa y el modo de vida de los organismos (Maass *et al.*, 2010). Su evaluación ayuda a comprender el impacto de esta actividad dentro del ecosistema sumado al aporte de información sobre la explotación de los recursos y las estrategias de manejo a utilizar (Begossi, 2006; Vázquez-Hurtado *et al.*, 2010). Debido al crecimiento de la población humana es necesario abastecer de alimento a un mayor número de personas. En el mundo se obtienen alrededor de 224×10^9 toneladas de biomasa en peso seco a través de las distintas pesquerías lo cual evidencia la

preocupación de conservar la biodiversidad y fomentar la sustentabilidad (Pauly y Christensen, 1995).

Bahía de La Paz y Bahía Concepción, Baja California Sur, son zonas de gran importancia ecológica y pesquera debido a su alta diversidad y abundancia de especies (Peguero-Icaza y Sánchez-Velasco, 2004). En esta porción de la costa oeste del Golfo de California se practica la pesquería artesanal, actividad económica importante, mediante la cual se obtienen valiosos recursos pesqueros tanto de peces como de moluscos y crustáceos (Villalejo-Fuerte y Ochoa-Báez, 1993; Rodríguez-Romero *et al*, 1994; Abitía-Cardenas *et al.*, 1994; Vázquez-Hurtado *et al.*, 2010).

Debido al crecimiento de las actividades humanas y la presión que ejercen sobre el ecosistema, es necesario diseñar estrategias que ayuden a mitigar y controlar las actividades llevadas a cabo dentro de la zona costera, con el objetivo de minimizar los efectos negativos que se puedan suscitar dentro del ecosistema y asegurar su mantenimiento en el tiempo (Aswani y Lauer, 2006; Moreno-Casasola y Peresbarbosa, 2006).

Por lo anterior, es necesario realizar trabajos que evalúen la variación espacio temporal del área de distribución del *Sargassum* como hábitat crítico de especies de importancia comercial para el área del Golfo de California –un área que *per se* posee características ecológicas específicas que le atribuyen interés comercial y turístico- y que además relacione información de dinámica pesquera que ayude a describir los servicios ambientales que brindan a la sociedad y de esta manera ayudar a su conservación y mantenimiento a través del tiempo.

2. Marco teórico

2.1. El género *Sargassum*

El género *Sargassum* constituye un grupo de macroalgas pardas que se encuentran distribuidas en casi todos los océanos del mundo. Cuenta con cerca de 550 especies entre tropicales, subtropicales y templadas (Núñez y Casas, 1997; Suárez, 2008). Estas macroalgas pueden llegar a formar florecimientos masivos (bosques) y crecer en sustratos rocosos, fangosos y arenosos (Rivera y Scrosati, 2006; Rooker *et al.*, 2006). Entre los factores que determinan la distribución latitudinal de estas macroalgas se encuentran la temperatura y la luz, las cuales también determinan el crecimiento y la época de reproducción (Mateo-Cid *et al.*, 1993). Este género de macroalgas presenta mayor crecimiento durante los meses cálidos en las zonas templadas y en los meses fríos en zonas tropicales y subtropicales (McCourt, 1984). En México el género *Sargassum* presenta la mayor etapa de desarrollo entre marzo y junio, cuando la temperatura del agua es baja (20-25°C), mostrando un periodo de rápido crecimiento y producción de un máximo de biomasa (Muñetón-Gómez y Hernández-Carmona, 1993).

Es un organismo vegetal marino que carece de sistema vascular, posee una estructura de forma arbustiva dividida en sujetador, estirpe, filoides y en la base de estas se encuentran los aerocistos que ayudan en la flotación. Presenta reproducción sexual, que implica la producción, fertilización de gametos y la fijación del cigoto en el sustrato; y reproducción asexual, regeneración de nuevos individuos a partir de estolones (Suárez, 2013)

Junto con los arrecifes de coral y pastos marinos, los bosques de macroalgas son lugares donde se desarrolla un gran número de especies ofreciendo un sin número de nichos y hábitats, además de zonas importante para la adquisición de alimento directo (Flores, 2010).

El género *Sargassum* en México se encuentra bien representado a lo largo de sus costas, en el Golfo de México y el Caribe; en la parte litoral del Océano Pacífico, incluyendo el Mar de Cortés (Suárez, 2008). Se ha reportado que para Bahía Concepción y Bahía de la Paz la estacionalidad de los bosques de *Sargassum* es en la época de primavera (marzo-junio) y alcanza una biomasa total de ~7000 y 19000 toneladas, respectivamente (Núñez y Casas, 1997).

De las especies de *Sargassum* que rodean las costas de México se encuentran *Sargassum vulgare*, *S. filipendula*, *S. fluitans*, *S. natans*, en el Golfo de México y el mar Caribe (Flores, 2010) y *S. johnstonii*, *S. herporhizum*, *S. lapazeanum*, *S. sinicola* y *S. horridum* en el litoral del Pacífico (Núñez-López y Casas-Valdéz, 1996; Suárez, 2008) estas tres últimas localizadas en Bahía de la Paz (Fajardo-León, 1994).

Dentro de las funciones ecológicas que posee este género de macroalgas son las asociaciones con diversas especies animales que poseen algún tipo de interés dentro de la comunidad humana. Los crustáceos son los organismos que más frecuentemente se encuentran asociados a esta comunidad, seguido de moluscos y otros invertebrados (Suárez, 2008). La ictiofauna también se hace presente encontrándose larvas y juveniles de peces pelágicos que encuentran alimento dentro y cerca de las frondas de la macroalga, algunos peces sujetos a la pesquería artesanal y deportiva. Entre ellas destacan la cabrilla sardinera (*Mycteroperca* sp.), el jurel (*Seriola lalandi*), el aguado (*Opistognathus rhomaleus*), cabrilla extranjera (*Paralabrax auroguttatus*) entre otros (Viesca-Lobaton et al, 2008).

En específico, los bosques de *Sargassum* poseen una importancia ecológica destacada pues funcionan como hábitat crítico para algunas especies brindándoles protección, alimento, o sirviéndoles como zona de reproducción (Aguilar-Rosas y Machado, 1990). La estructura tridimensional que los bosques conforman, proporciona diferentes nichos y hábitats, lo cual da como resultado

que en estos sitios se encuentre una alta biodiversidad. Así mismo, las especies de *Sargassum* pueden considerarse como especies fundadoras, con un alto efecto en la estructura de la comunidad (Crowder, 2005; Shelton, 2010).

Dentro de la gran variedad de estudios que se relacionan con la presencia de *Sargassum* spp en altas latitudes en la cual se han encontrado asociaciones con fauna diversa están los de Fine (1970) donde concluye que la composición faunística depende de la cantidad de biomasa de la macroalga y de las condiciones ambientales presentes a lo largo de las estaciones del año; con mayor variedad y abundancia en primavera y menor cantidad en otoño, cuando la macroalga tiene crecimiento limitado. Por otro lado, Casazza y Ross (2008) encontraron que la diversidad de larvas y juveniles de peces son más abundantes en muestras tomadas cerca de las áreas cubiertas por *Sargassum* spp que en las colectadas en aguas abiertas donde la macroalga no está presente. Además sugieren que existe una clara diferenciación de utilización del hábitat entre las especies que habitan los bosques de *Sargassum* spp. Generalmente larvas y juveniles de peces se encuentran dentro y cerca de la estructura tridimensional formada por la macroalga, a diferencia de peces de mayor talla, incluso de la misma especie, que suelen pasar más tiempo alejados de estas áreas.

En el norte del Golfo de México se han observado asociaciones de la macroalga con diversas especies y se destaca la importancia ecológica que posee dentro de una comunidad biológica marina. Flores (2010) indica que el Golfo de México es uno de los lugares donde la macroalga tiene las condiciones ideales de desarrollo y que además posee importancia ecológica al asociarse con una gran variedad de invertebrados, como artrópodos y los moluscos, los cuales llegan a representar el 51% del total de la fauna asociada. Este autor concluye que su papel ecológico dentro del ecosistema como hábitat crítico es muy importante y fundamental en el establecimiento de los organismos a los que les brinda un sustrato fijo en la zona rocosa, además por su capacidad de flotación y dispersión hacia otras áreas, crea nuevos hábitats que ocupan nuevas especies.

En estudios recientes en el Norte del Golfo de México se ha observado que las larvas y juveniles de peces obtienen aproximadamente 20% de la energía requerida para el crecimiento a partir de la materia orgánica particulada derivada de la desintegración de los bosques de *Sargassum* spp. Esto confirma el importante papel de este ecosistema para el reclutamiento de especies que encuentran un mayor éxito de supervivencia asociándose con la macroalga para obtener alimento o refugio (Wells y Rooker, 2004; Wells y Rooker, 2009).

2.2. Pesquerías

La pesquería es una actividad económica en la que a través de la captura de organismos acuáticos se obtienen recursos alimenticios y de utilización comercial. El océano es una fuente importante de recursos marinos que el hombre a través de los años ha explotado sin medida, principalmente por la creciente explosión demográfica mundial (Young, 2001; Vázquez *et al.*, 2011).

Existen distintos tipos de pesca dependiendo del lugar y la forma de extracción, las cuales se pueden dividir en: pesca de altura (aquella que se realiza a más de 12 millas náuticas), pesca ribereña (realizada dentro de aguas continentales, aguas protegidas y aguas oceánicas dentro de 3 millas náuticas), la pesca industrial (con el fin de extracción masiva, se realiza con embarcaciones mayores que cuentan con tecnología para la navegación de altura) y la pesca artesanal (ejecutada por embarcaciones menores y de menor presupuesto) (Jiménez, 2006). Esta última es la más utilizada por pescadores locales que buscan un ingreso económico propio.

La pesca artesanal es una actividad importante en México y contribuye a cerca del 40% de la pesca total nacional (Arreguín-Sánchez *et al.*, 2004; Ramírez, 2011). En México, la pesca junto con las actividades agropecuarias y la silvicultura contribuyen con 6.5 % del producto interno bruto (PIB) (Jiménez, 2006). Los

desembarques pesqueros anuales son de ~1.5 millones de toneladas en peso vivo, de los cuales el 80% se obtiene del litoral del Pacífico (SAGARPA, 2012).

La pesca como actividad extractiva puede alterar de manera notable las funciones ecológicas de las comunidades presentes en los ecosistemas costeros y marinos. Además, la fuerte presión que se ejerce directamente sobre las poblaciones de depredadores o presas afecta las redes tróficas (Jiménez, 2006). Así mismo la pesca indiscriminada y sin control de tallas disminuye notablemente el potencial de reproducción y por lo tanto el crecimiento poblacional.

La riqueza pesquera constituye un recurso que tiene características eficientes de reproducción que hace pensar en un manejo sostenible. La evaluación de los sistemas y tipos de pesca, así como la obtención de información de las especies capturadas a través de la investigación científica (por ejemplo: abundancia, reproducción y áreas de reclutamiento) permite establecer esquemas de manejo (por ejemplo: vedas, cuotas de captura, tamaño mínimo de captura, etc.) con el fin de asegurar la persistencia del recurso (Vázquez-Hurtado *et al.*, 2010).

2.3. Sistemas de Información Geográfica, percepción remota y mapeo temático

El término percepción remota se define como una técnica de colecta de imágenes o datos acerca de un objeto obtenidas a distancia (Dahdouh-Guebas, 2002). La adquisición de las imágenes se realiza de manera indirecta por medio de propagación de señales, por ejemplo ópticas, acústicas o microondas, que permiten el reconocimiento de un objeto o escena a distancia (Schowengerdt, 2011).

El uso de imágenes satelitales y/o fotografías aéreas en el estudio de los ecosistemas a escala de paisaje se ha incrementado de acuerdo con los avances tecnológicos, ya que cada vez es más económica su adquisición y existe un mayor número de plataformas y productos disponibles. Estas herramientas han sido de

gran ayuda para estudios donde el ordenamiento del territorio es fundamental para el conocimiento de la ubicación de los recursos utilizables (Monroy y Travieso-Bello, 2006; Cogan *et al.*, 2009).

El principio fundamental de acción dentro de la percepción remota es la relación emisión y reflexión de señales energéticas que generalmente depende de radiaciones naturales (sol, térmicas) y/o artificiales (microondas generadas por satélites o radares). La energía reflejada en comparación de la energía emitida es medida y analizada por sensores que se encargan de presentar la información de manera comprensible (Barrera, 2012).

De manera general la percepción remota se divide en pasiva y activa. La percepción remota pasiva se da mediante empleo de sensores que miden la radiación natural reflejada o emitida desde el sol hacia el objeto o área de interés, mientras que en la teledetección activa se emplean técnicas de medición de radiaciones emitidas por mecanismos artificiales. Por ejemplo: la radiación dispersa o absorbida en una longitud de onda particular emitida por una sonda dentro de la atmosfera puede proveer información sobre la constitución molecular del ozono (Schorwengerdt, 2011).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas útiles en la toma de decisiones ya que permiten tener un panorama amplio de donde se localizan las cosas dentro de un espacio con la información disponible (Monroy y Travieso-Bello, 2006).

Los SIG permiten el análisis y la toma de decisiones en áreas vitales para el desarrollo humano y socioeconómico de una región, cuya inclusión en un plan de manejo es vital para la óptima utilización de los recursos (Done y Reichelt, 1998; Dahdouh-Guebas, 2002).

Dentro del manejo costero los SIG son herramientas que permiten el buen ordenamiento del territorio, analizando la complejidad de la zona costera,

evaluando las alternativas de uso y las prioridades para la conservación para la inclusión de planes integrales de manejo (Monroy y Travieso-Bello, 2006).

La percepción remota en conjunto con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han sido de gran utilidad para generar información de manera rápida y relativamente no costosa que permite describir las relaciones espaciales de los ecosistemas de interés (ej. extensión y distribución de hábitats) y de esta manera generar información fundamental para el manejo adecuado de los recursos (Mumby y Harborne, 1999).

Una técnica ampliamente utilizada para la descripción de ecosistemas de interés a escala de paisaje es el mapeo temático. Un mapa temático es aquel que posee información particular sobre conceptos dentro de un tema. Está compuesto por dos partes fundamentales para su entendimiento: el mapa base y un contenido con una temática en especial (ej. vegetación, climas, tipos de suelo). La elaboración de mapas temáticos se puede realizar mediante la clasificación de imágenes multispectrales, considerando los patrones de agrupamiento de píxeles (Mumby y Harborne, 1999; Schowengerdt, 2011).

Un mapa temático muestra la distribución espacial de objetos identificables en la superficie de la tierra y provee información descriptiva sobre un área dada, por medio de colores, tonos, texturas y patrones, que diferencian a los objetos localizados (Green *et al.*, 2000a; Schowengerdt, 2011).

Para la construcción de mapas temáticos sobre la distribución del hábitat se pueden utilizar de manera general dos tipos de clasificación de imágenes, la clasificación supervisada y la no supervisada, así como la combinación de estos métodos. La clasificación supervisada se basa en la experiencia del usuario, mediante información obtenida en campo u otros medios (ej. fotografía aérea). Los objetos de interés son determinados dependiendo del objetivo del estudio mediante la selección de píxeles representativos de cada una de las categorías

utilizadas. Cuando la clasificación se lleva a cabo solamente utilizando algoritmos que agrupen un cierto número de píxeles de acuerdo a sus características espectrales, sin darles una identidad *a priori* a éstos, se define como clasificación no supervisada (Green *et al.*, 2000a). Este es un proceso relativamente automático pues el análisis requiere de definir el número de clases y seleccionar los parámetros estadísticos que el software va a utilizar dentro del proceso de clasificación (Green *et al.*, 2000a; Schowengerdt, 2011).

La mayoría de los estudios realizados con tecnologías de percepción remota y sistemas de información geográfica han tenido su auge en trabajos donde se han observado las relaciones organismo-hábitat concentrados en ecosistemas terrestres y su aplicación en ecosistemas acuáticos poseen menor tiempo de aplicación (Mellin *et al.*, 2009). La percepción remota ha sido una gran herramienta en cuanto a la utilización de sensores que permiten identificar algunas condiciones oceanográficas (temperatura superficial del mar, productividad y frentes oceánicos) que favorecen la presencia y las fluctuaciones de determinadas poblaciones de peces en el océano (Klemas, 2012).

El mapeo de hábitats marinos someros situados en la costa ha venido creciendo gracias a la incursión de la percepción remota y los SIG, sobre todo en ecosistemas de arrecife de coral (Rioja-Nieto, 2007; Mellin *et al.*, 2009), en manglares (Carrasquilla-Henao *et al.*, 2013) y en macroalgas (Barrera, 2012).

3. Antecedentes y Justificación

Las relaciones simbióticas entre organismos y su hábitat han sido centro de interés dentro de la ecología de un sitio, la información obtenida se utiliza como base de estudios para saber cuál es la función de cada uno de los organismos dentro del ecosistema. Además, el mapeo de hábitats costeros genera información importante que posteriormente es utilizada en la gestión de los recursos, para la óptima utilización de estos.

Rooker y colaboradores (2012) encontraron una estrecha relación de bosques de *Sargassum* spp y peces de importancia deportiva y comercial como son el marlín y el pez espada, y comentan que la distribución y abundancia de las larvas de estas especies varía espacial y temporalmente por distintos factores entre los que destacan la temperatura superficial del mar y la biomasa de *Sargassum* encontrada en las zonas de muestreo.

En el Golfo de California los estudios sobre las asociaciones entre fauna y bosques de *Sargassum* son pocos. Entre ellos destacan los de Suárez (2008) en la localidad del Sauzoso en Bahía de La Paz, donde se encontraron 17 taxa de epibiontes, 54 especies de invertebrados epibénticos y 47 especies de peces asociados a la macroalga, los cuales constituyen una fuente de alimentación para los peces reclutados en ese hábitat.

La evaluación de biomasa de los bosques de *Sargassum* spp y la determinación del área de distribución es el centro de atención para diversos estudios como los de Casas-Valdez *et al.* (1993), en Bahía Concepción y los de Muñetón-Gómez y Hernández-Carmona (1993), Hernández-Carmona *et al.* (1990) y Fajardo-León (1994), en Bahía de la Paz, los cuales mencionan que el género *Sargassum* spp es el dominante por sobre las demás algas encontrando una biomasa media de 3.42 kg/m² y 1831g/0.25m² respectivamente. Estos autores mencionan que los mayores valores de biomasa se observan durante la primavera.

Existen pocos estudios en la zona sobre la pesquería asociada al *Sargassum* spp como hábitat crítico de desarrollo. Aburto-Oropeza (2007) menciona el reclutamiento de larvas de cabrilla sardinera (*Mycteroperca rosacea*) que prefiere este tipo de hábitats como refugio, además menciona que el reclutamiento de este tipo de especies disminuye con la ausencia de la macroalga. Además Suárez y colaboradores mencionan que parte de la fauna asociada al *Sargassum* es una fuente económica importante pues especies como las cabrillas, dorados, pargos y pulpos son utilizados en la pesca local.

Por lo anterior, este trabajo pretende explorar la relación entre el bosque de *Sargassum* spp y la dinámica de la pesquería local, para proporcionar conocimiento que pueda ser utilizado en la valoración los servicios ambientales que la macroalga proporciona.

4. Área de estudio

Bahía Concepción y Bahía de la Paz se localizan en la costa oriental de la península de Baja California, están alimentadas por las aguas del Golfo de California, en el estado de Baja California Sur. Son sitios de interés comercial ya que se practica la pesquería de peces y moluscos (Villalejo-Fuerte y Ochoa-Báez, 1993; Rodríguez-Romero *et al.*, 1994).

Bahía Concepción está localizada entre los 26°33' y 26°53' latitud Norte y 111°42' y 112°56' longitud Oeste. Posee casi 40 km de longitud y 10 km en su parte más ancha, con una extensión de aproximadamente 281.93 km² (Figura 1a)

Bahía de La Paz, está localizada en la costa oriental de Baja California Sur, entre los 24° 07' y 24° 21' de latitud Norte y los 110°17' y 110°40' de longitud Oeste, posee una extensión de aproximadamente 2000 km² (Figura 1b)

La batimetría de la Bahía de La Paz es relativamente somera en su parte sur y en la norte es la más profunda (Salinas-González, 2003). Las mayores profundidades se presentan (250-275 m) en la parte central y norte de la bahía (Abitia-Cárdenas, *et al.*, 1994). En el caso de Bahía Concepción la profundidad varía presentándose el área somera en las orillas y las más profundas en el centro (Rodríguez-Romero, 1994).

La región presenta un clima seco y árido (BWh), con una precipitación promedio anual de 180 mm (Obeso-Nieblas *et al.*, 2008) y régimen de temperatura media anual entre 22 - 24°C (Salinas-González, 2003).

El estado de Baja California Sur es considerado una zona productiva tanto biológica como económicamente que debe su alta importancia a las pesquerías de peces e invertebrados y a sus sitios de interés turístico (Villalejo-Fuerte y Ochoa-Báez, 1993; Silverberg *et al.*, 2006; Vázquez *et al.*, 2011).

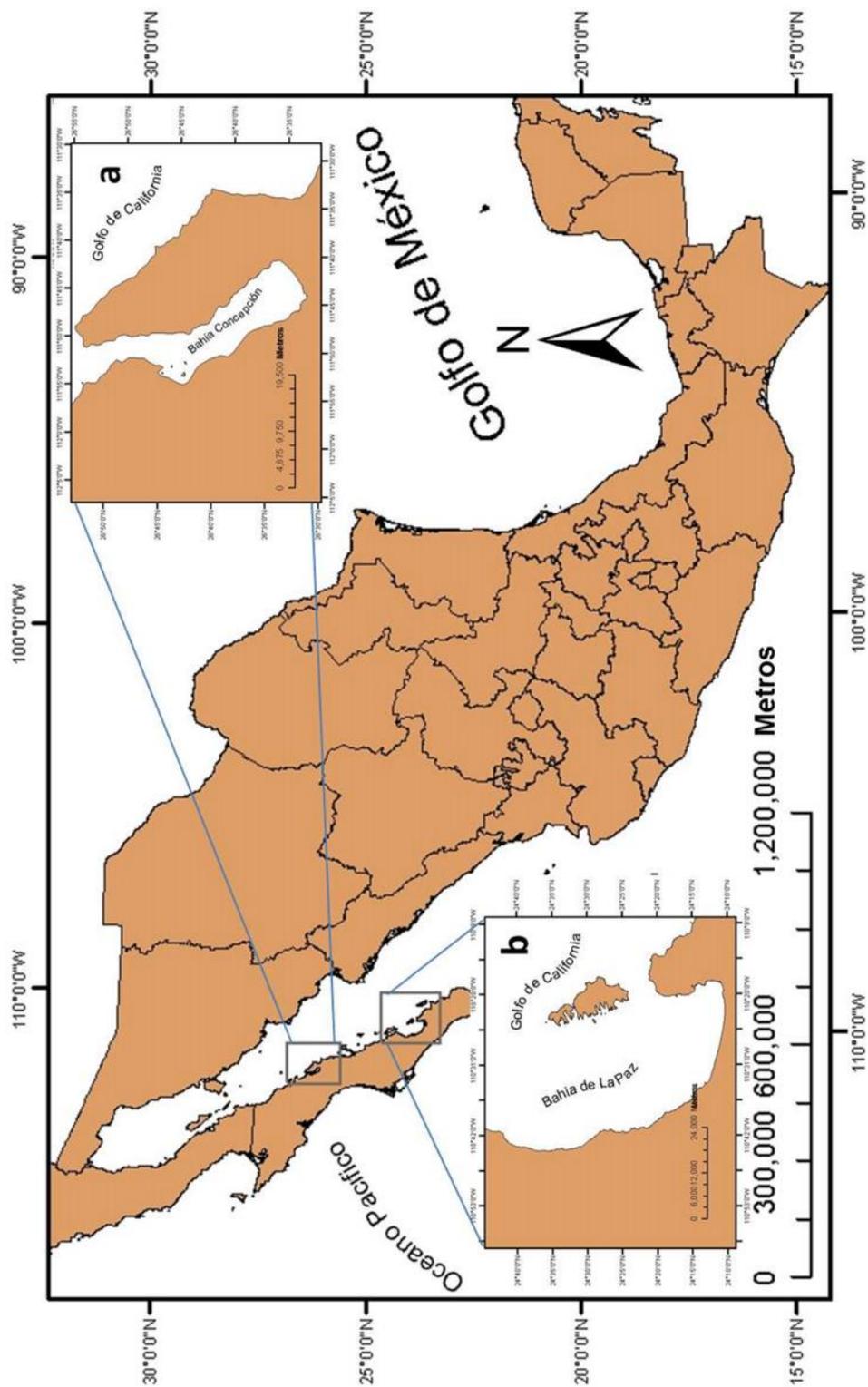


Figura 1 Área de estudio, a) Bahía Concepción y b) Bahía de La Paz

5. Hipótesis

Debido a que los bosques de *Sargassum* spp proporcionan sitios de refugio y alimentación a una alta diversidad de especies, permite aumentar la probabilidad de reclutamiento de especies de peces e invertebrados de interés comercial. Por ello, se espera que la variación espacio-temporal en la cobertura de la macroalga esté relacionada con la variación en el volumen de captura de especies a lo largo del tiempo.

6. Objetivos

6.1. General

Determinar la dinámica espacio temporal de la cobertura de bosques de *Sargassum* spp en Bahía Concepción y Bahía de La Paz y evaluar su relación con el volumen de captura de especies de importancia comercial que utilizan este hábitat durante alguna fase de su ciclo de vida.

6.2. Particulares

1. Identificar las áreas cubiertas por bosques de *Sargassum* spp.
2. Llevar a cabo una clasificación no supervisada de imágenes satelitales históricas (2004-2011) obtenidas de la plataforma Landsat 7.
3. Caracterizar la dinámica espacio temporal de la cobertura de bosques de *Sargassum* spp.
4. Obtener información sobre volúmenes de pesca de especies comerciales, que utilizan los bosques de *Sargassum* spp como hábitat.
5. Explorar la posible relación entre la cobertura de *Sargassum* spp. y el volumen de captura de especies de importancia comercial a lo largo del tiempo.

7. Material y Método

7.1. Obtención de la cobertura de los bosques de *Sargassum* spp a lo largo del tiempo.

7.1.1. Imágenes Satelitales

Se obtuvieron escenas satelitales con resolución de 30 m por píxel, de la plataforma Landsat 7 en color natural (RGB) del sitio <http://glovis.usgs.gov/>. Las imágenes corresponden al periodo 2004-2011 (una escena por año, por bahía de estudio) entre los meses de marzo-junio que corresponde al periodo de mayor desarrollo de la macroalga (Muñeton-Gómez y Hernández-Carmona, 1993). En total se obtuvieron 16 imágenes, de las cuales 8 corresponden a Bahía de La Paz y 8 a Bahía Concepción. Debido a una falla en el colector de escaneo de líneas en el satélite la mayoría de las imágenes (a excepción de aquellas correspondientes a los años 2006, 2008, 2011 para Bahía la Paz y 2008 para Bahía Concepción) presentaron franjas paralelas con ausencia de datos, que en general corresponde ~ 20% del área total de la escena (Rodríguez, 2009). Las imágenes completas son resultado de un proceso de corrección *a posteriori* aplicado por la fuente de origen de las imágenes.

7.1.2. Pre-Procesamiento

7.1.2.1. Corrección Geométrica y definición del área de interés (AOI)

Las escenas obtenidas se georeferenciaron al sistema de coordenadas UTM (datum WGS84) mediante la utilización de un polinomio de primer orden y 3 o 4 puntos de control con posición geográfica conocida.

La generación de la máscara del AOI en cada una de las bahías de estudio se llevó a cabo con la utilización del software Erdas Imagine 11, además de la utilización del modelo General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO 08), cartas marinas de la SEMAR y visitas en campo para así eliminar los lugares de profundidad mayor a 10 m y áreas en tierra que no son de interés. Se seleccionó

esta profundidad máxima ya que las condiciones de visibilidad en la columna de agua no permiten la obtención de datos confiables a mayores profundidades. Finalmente, se creó un archivo vectorial del AOI para cada una de las 16 imágenes.

7.2. Análisis de la dinámica espacio-temporal de los bosques de *Sargassum* spp.

7.2.1. Obtención de la cobertura reciente de los bosques.

Se utilizaron mapas temáticos de los fondos bentónicos marinos en Bahía Concepción y Bahía de la Paz generados en el marco del proyecto SEMARNAT-CONACyT 108464 (Rioja-Nieto e Hinojosa-Arango, 2013), para delimitar la ubicación espacial y extensión de los parches (polígonos) que correspondían a bosques de *Sargassum* spp caracterizados en el año 2011, en adelante referida como cobertura reciente. Se obtuvieron a partir de una clasificación supervisada agrupando los distintos substratos bentónicos encontrados de acuerdo a su grado de similitud (Rioja-Nieto y Sheppard, 2008; Rioja-Nieto *et al.*, 2013). En este caso, se utilizó un mosaico de imágenes en color natural (RGB) de alta resolución (sensor Geoeye-1) hasta una profundidad máxima de 10 m.

7.2.2. Obtención de la cobertura histórica de los bosques

En cada una de las imágenes Landsat 7 pre-procesadas, se llevó a cabo una clasificación no supervisada, con el algoritmo isodata (Green *et al.*, 2000b; Schowengerdt, 2011). En este proceso se utilizaron 12 clases para Bahía de la Paz y 16 clases para Bahía Concepción. El número de clases para cada una de las bahías se definió con base a la caracterización del hábitat bentónico realizada como parte del proceso de construcción de los mapas temáticos recientes de los fondos marinos. La clasificación no supervisada permitió agrupar en clases a los píxeles, en cada una de las imágenes por separado en base a la similitud en sus características espectrales y generar una imagen temática (raster).

Utilizando los rasters temáticos históricos y la cobertura reciente de *Sargassum* spp, se llevó a cabo un análisis de extracción de píxeles (ESRI, 2010) para obtener aquellos píxeles “históricos” que se ubicaran completamente dentro de los polígonos correspondientes a la cobertura reciente. Posteriormente, se analizó la identidad de los píxeles extraídos y se identificaron aquellas clases representativas por imagen pre-procesada, cuyos píxeles se encontraran en una alta proporción (~30% en Bahía la Paz y ~22% en Concepción) y formaran agrupaciones homogéneas cercanas a la costa (área donde se sabe se distribuyen los bosques de *Sargassum* spp). Mediante técnicas de enmascaramiento, las clases representativas identificadas se utilizaron para determinar en toda la imagen temática aquellas áreas cubiertas por bosques de *Sargassum* spp correspondiente a cada año analizado. Los rasters de cobertura histórica (2004-2011) obtenidos para Bahía de La Paz y Bahía Concepción fueron transformados a archivos vectoriales (polígonos) y exportados a un SIG (ArcGIS 10.0) para el análisis. Con ayuda del programa ArcGIS 10.0 en conjunto con la extensión de análisis espacial se realizaron los análisis de extracción de píxeles e identificación de clases representativas.

Utilizando como base los SIG, se calculó la cobertura total de *Sargassum* spp por año por bahía mediante la sumatoria de las áreas de los polígonos identificados. Con el fin de estandarizar el área analizada en cada una de las imágenes, para los años 2006, 2008 y 2011 (en Bahía de la Paz) y 2008 en Bahía Concepción, se restó de la sumatoria el 20 % que corresponde aproximadamente al área corregida y no presente en el resto de las imágenes. Los datos no presentaron una distribución normal ($p < 0.05$) y ninguna transformación cambió esta condición. Se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis con la prueba de comparación múltiple de Tukey no paramétrica (Zar, 2010) para determinar si existía variación en la cobertura del alga a lo largo del tiempo e identificar aquellos años con distinta cobertura en cada una de las bahías. Así mismo, se llevó a cabo un análisis de correlación de Spearman (Crawley, 2002) con el objetivo de evaluar si la variación

de la cobertura total de la macroalga presentaba relación entre las bahías de estudio a lo largo del tiempo.

7.3. Obtención de datos sobre volumen de pesca

Para la identificación de especies de importancia comercial que utilizan los bosques de *Sargassum* spp, se comparó la lista de especies de peces e invertebrados obtenida a partir de transectos realizados en este hábitat en el área de estudio (Rioja-Nieto e Hinojosa-Arango, 2013) con bases de datos de captura de organismos marinos generada por la CONAPESCA correspondiente al periodo 2004-2009. La disponibilidad de las bases de datos limitó el periodo de tiempo del cual se pudo obtener información. Se obtuvo el volumen de pesca de las especies de interés considerando solamente los sitios de pesca localizados en Bahía Concepción y Bahía de La Paz, identificados a partir del atlas de localidades pesqueras de Baja California Sur (Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2004). Los datos por especie fueron sumados por año y bahía de estudio para su análisis.

7.4. Variación espacio-temporal del bosque de *Sargassum* spp y su relación con la captura de especies de importancia comercial

Se llevó a cabo un análisis de autocorrelación (Crawley, 2002) para explorar la posible relación del volumen de pesca a lo largo del tiempo de especies de importancia comercial que utilizan el bosque de *Sargassum* spp como hábitat y la variación temporal de la cobertura total de la macroalga en cada una de las bahías de estudio.

Se consideró la aplicación de este análisis pues se considera que la pesca de un año en particular, no refleja la captura de organismos reclutados en ese mismo año, por el tiempo en que tardan éstos en desarrollarse y llegar a una talla de captura “adecuada”. Por lo tanto se espera exista un desfase (efecto lag) entre la cobertura del bosque de *Sargassum* spp y la cobertura de la macroalga en el eje temporal. Debido a que no es posible llevar a cabo el análisis con datos

discontinuos, se utilizaron solamente aquellas especies que tuvieran datos de captura durante al menos cuatro años consecutivos. El análisis se llevó a cabo con el programa S-plus.

8. Resultados

8.1. Pre-procesamiento de las imágenes adquiridas

Se obtuvo una serie temporal de AOI a partir de imágenes satelitales Landsat 7 (RGB), 8 correspondientes a Bahía Concepción y 8 de Bahía de la Paz, correspondiente a los años 2004-2011 (Figura 2).

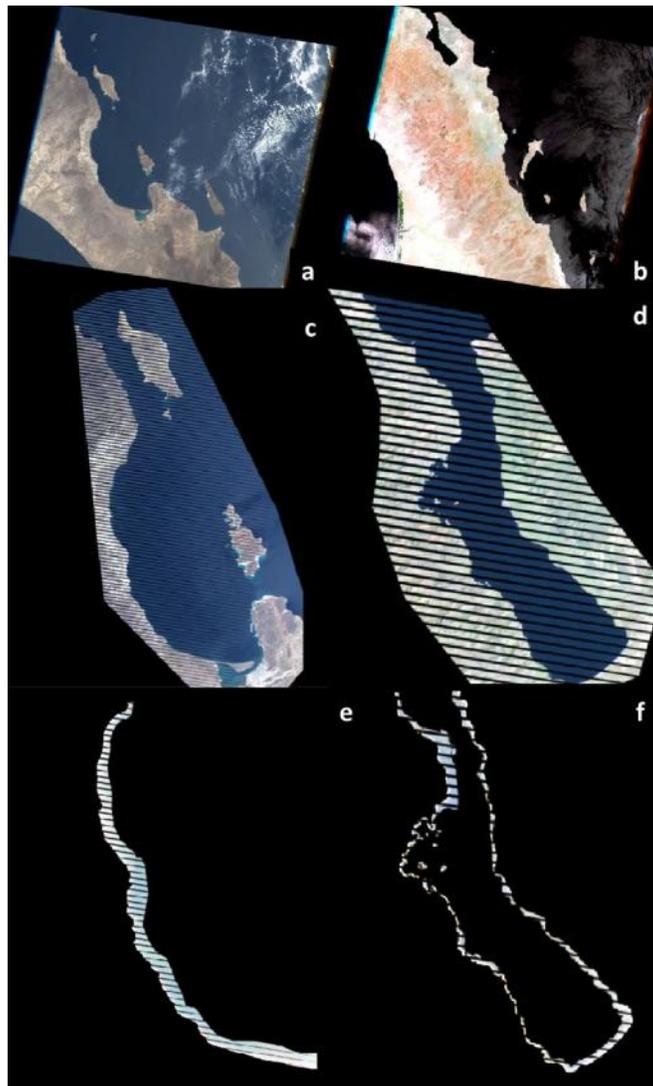


Figura 2 . Ejemplo del proceso de pre-procesamiento en imágenes Landsat 7 (RGB) georeferenciadas para el año 2006 en Bahía La Paz (a) y Bahía Concepción (b). Recorte de las escenas (c y d) y enmascaramiento de las áreas de interés para el análisis (e y f).

8.2. Cobertura histórica de los bosques de *Sargassum* spp.

8.2.1. Clasificación no supervisada de las AOI

A partir de las AOI, se llevó a cabo una clasificación no supervisada con 16 y 12 clases para Bahía Concepción y Bahía La Paz, respectivamente (Figura 3 a y b).

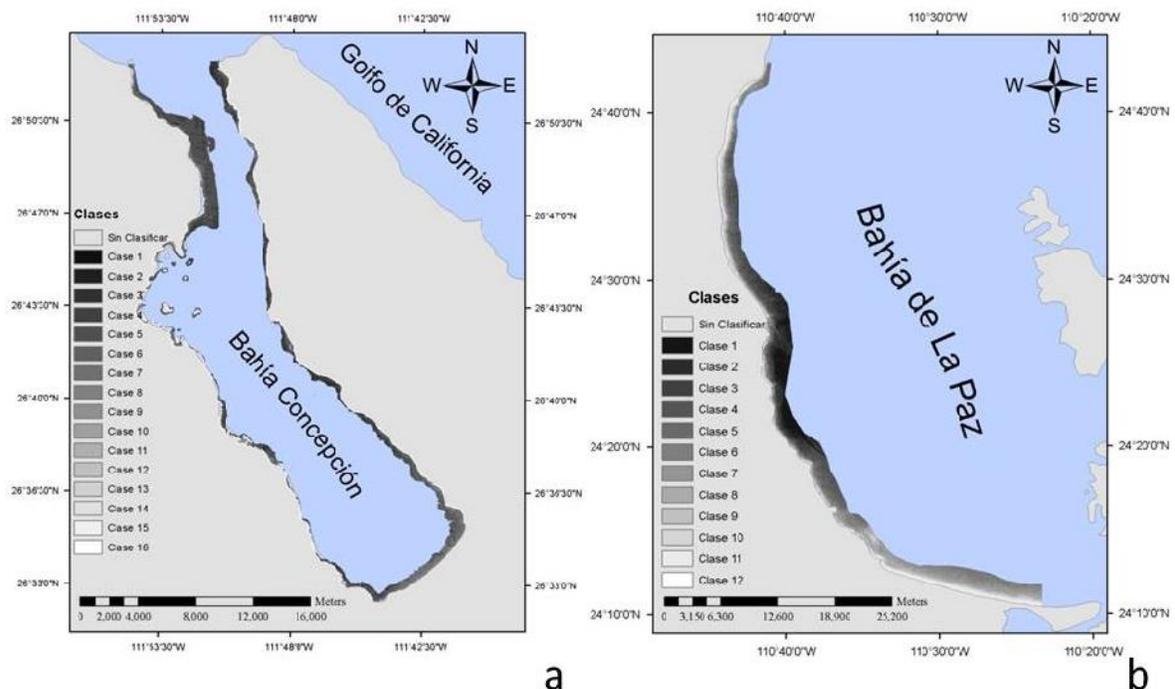


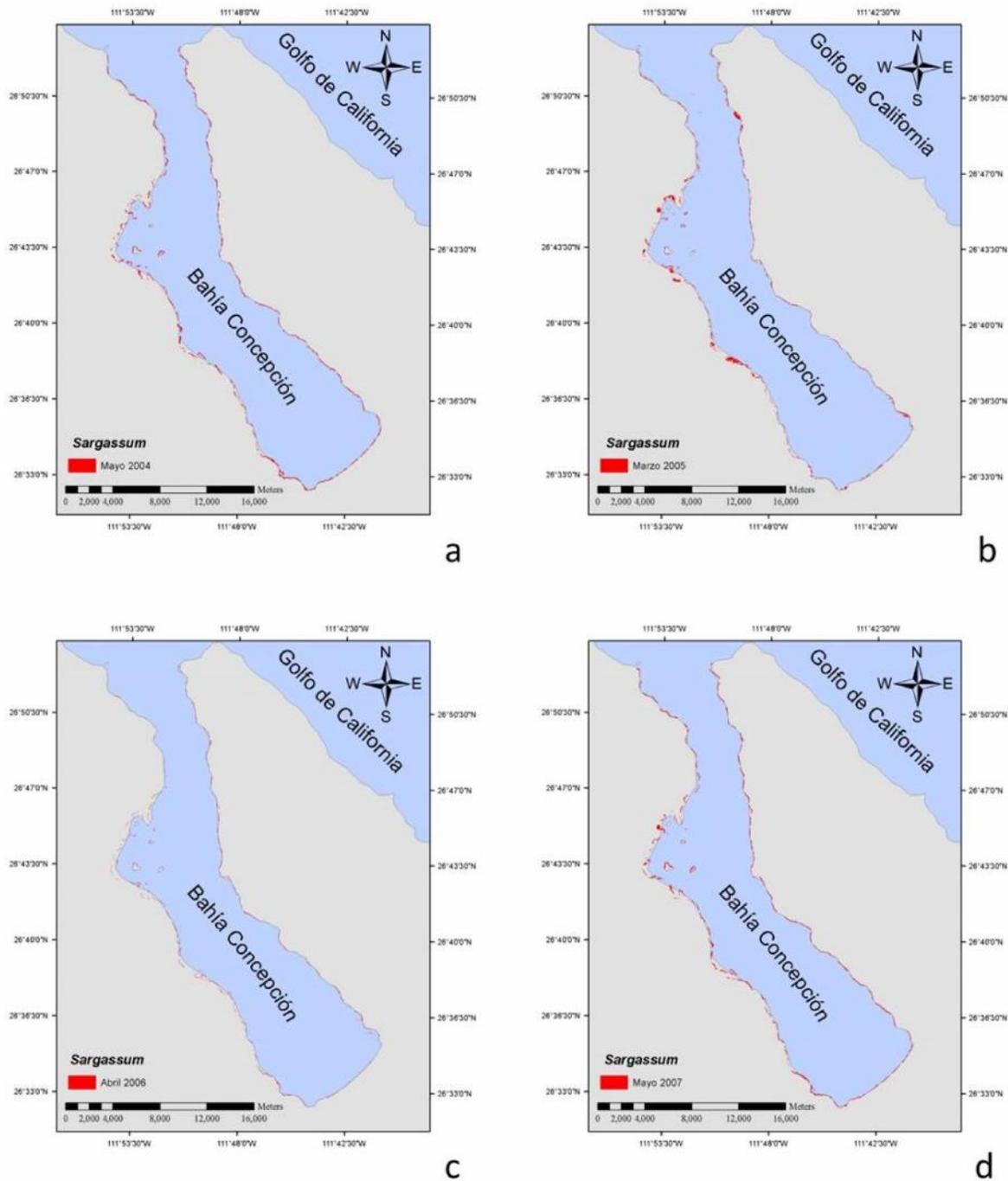
Figura 3 Se presenta la clasificación no supervisada de las AOI del año 2006 para Bahía Concepción (a) y Bahía de la Paz (b) con 16 y 12 clases, respectivamente.

8.2.2. Cobertura de *Sargassum* spp a lo largo del tiempo

8.2.2.1. Bahía Concepción

En la figura 4 (A-H) se presenta la distribución espacio-temporal de los bosques de *Sargassum* spp en Bahía Concepción para el periodo 2004-2011. De manera general se observan los cambios en la variación que tienen los bosques de *Sargassum* spp a través de los años de estudio.

El traslape de algunos polígonos en tierra se debe a falta de precisión en la georeferenciación del mapa base utilizado para la presentación de los datos y no afecta los análisis.



Análisis de la cobertura de los bosques de *Sargassum* spp y dinámica pesquera a través del tiempo mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota en Bahía Concepción y Bahía de La Paz, B.C.S., México

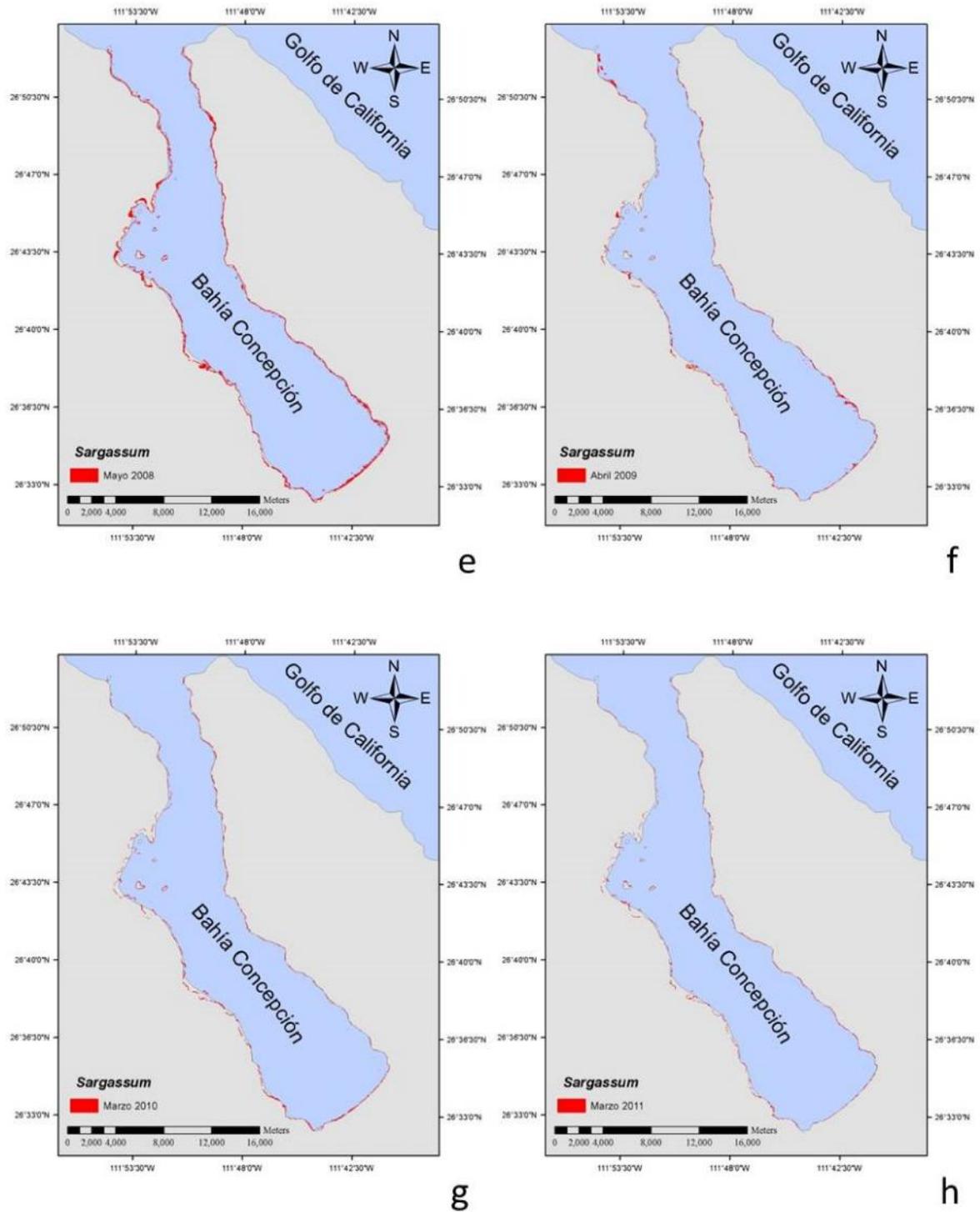


Figura 4 Mapas temáticos de la distribución anual de *Sargassum* spp en Bahía Concepción. a) 2004, b) 2005, c) 2006, d) 2007, e) 2008, f) 2009, g) 2010 y h) 2011

En la figura 5 se presenta la cobertura total (km²) del bosque de *Sargassum* spp en Bahía Concepción para el periodo 2004-2011 calculada a partir de la clasificación no supervisada de imágenes Landsat 7.

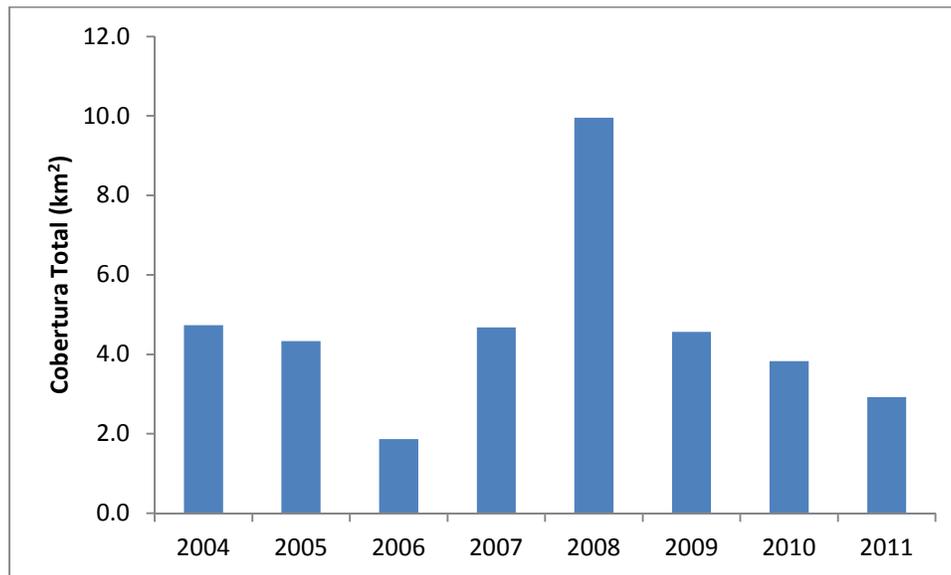


Figura 5 Cobertura total de *Sargassum* spp para Bahía Concepción durante el periodo de estudio.

De manera general, la cobertura del bosque se mantiene relativamente homogénea a excepción del año 2006, donde se observó una considerable disminución presentando la menor cobertura total con 1.86 km², y el año 2008 donde se observa un aumento considerable. Este último representa el año con mayor cobertura total, la cual corresponde a 9.95 km².

A partir del análisis de Kruskal-Wallis (Anexo 1) se determinó que al menos uno de los años presenta una cobertura distinta ($X^2 = 2085.23$, $p < 0.0001$), es decir hay variación a lo largo del tiempo. Al comparar por pares de años, se encontró que estadísticamente el área del bosque de *Sargassum* spp correspondiente a los años 2004, 2009 y 2011 es similar entre sí. Así mismo, el área del 2005 es similar a la del año 2008 y el área del 2006 es similar a la del 2010 (Figura 6). Todas las demás comparaciones posibles resultaron significativamente distintas ($p < 0.05$).

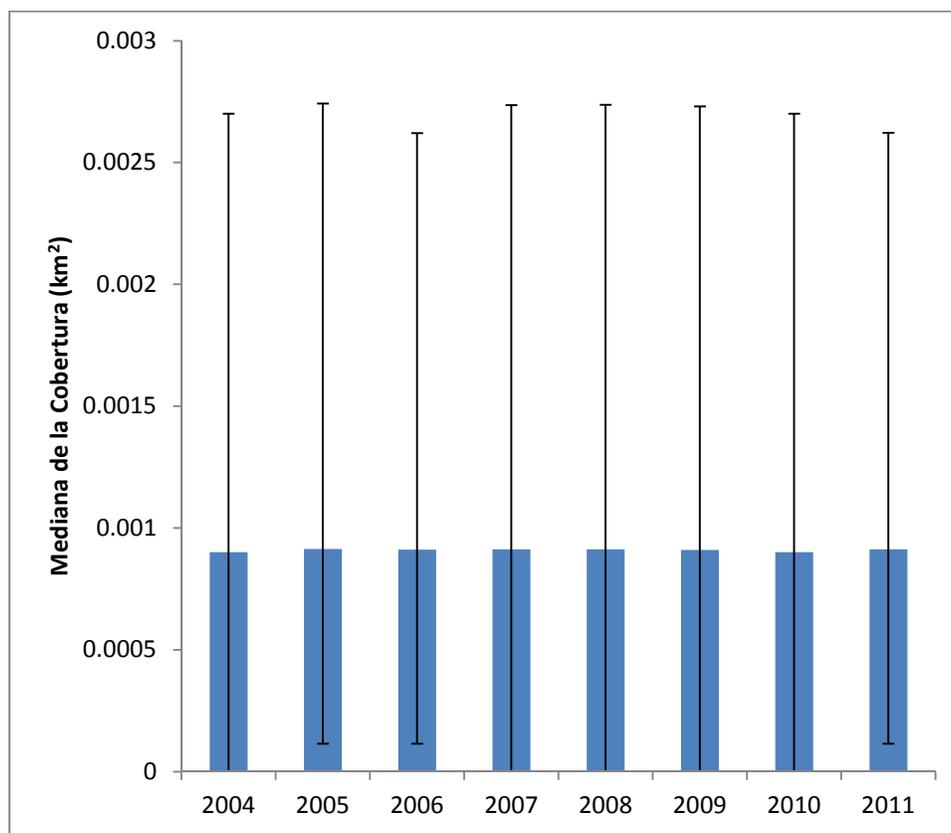
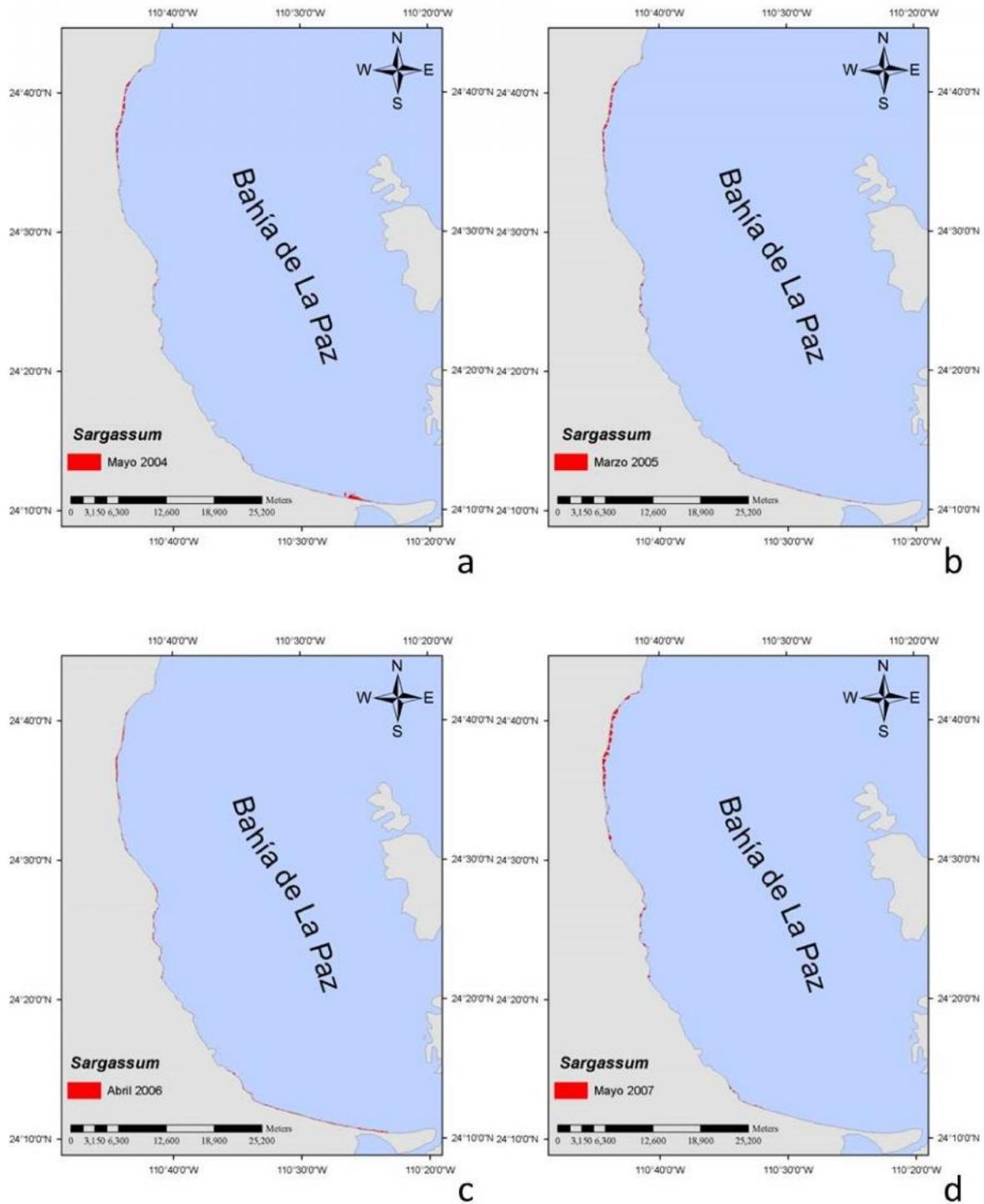


Figura 6 Mediana de la cobertura de *Sargassum* spp para Bahía Concepción durante el periodo de estudio. Las barras negras representan el cuartil superior e inferior, respectivamente.

8.2.2.2. Bahía de La Paz

La figura 7 muestra el área de cobertura y distribución de los bosques de *Sargassum* spp en la Bahía de la Paz a lo largo de los años de estudio, obtenida a partir del análisis de la clasificación supervisada y clasificaciones no supervisadas de imágenes satelitales.

Análisis de la cobertura de los bosques de *Sargassum* spp y dinámica pesquera a través del tiempo mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota en Bahía Concepción y Bahía de La Paz, B.C.S., México



Análisis de la cobertura de los bosques de *Sargassum* spp y dinámica pesquera a través del tiempo mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota en Bahía Concepción y Bahía de La Paz, B.C.S., México

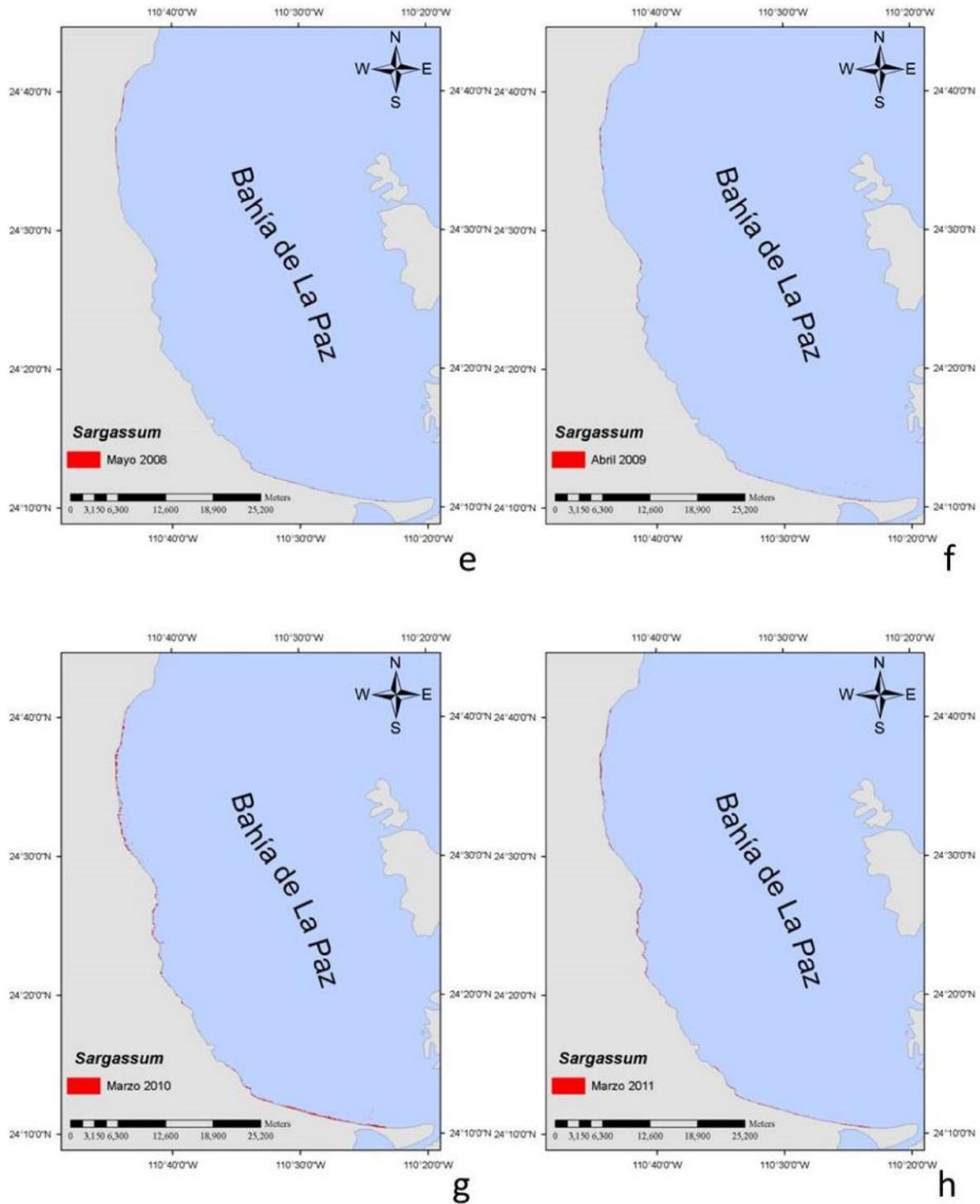


Figura 7 Mapas temáticos de la distribución anual de *Sargassum* spp en Bahía de La Paz. a) 2004, b) 2005, c) 2006, d) 2007, e) 2008, f) 2009, g) 2010 y h) 2011

En la figura 8 se presenta la cobertura total (km²) del bosque de *Sargassum* spp para Bahía de la Paz del año 2004-2011.

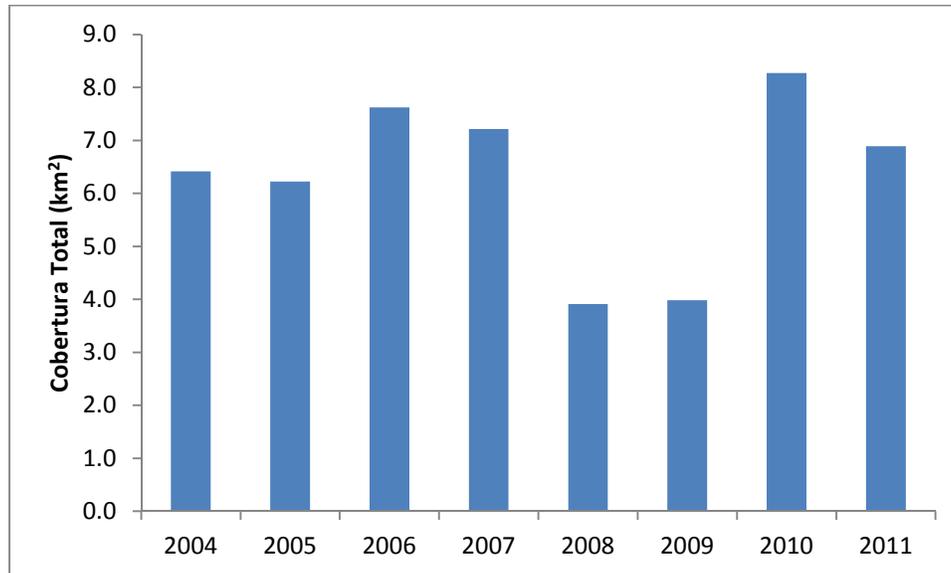


Figura 8 Cobertura total de *Sargassum* spp para Bahía de la Paz durante el periodo de 2004-2011

Al igual que en Bahía Concepción, se observa que en Bahía de La Paz existe cierta variación en la cobertura a lo largo del tiempo. El año que posee la mayor cobertura total corresponde al 2010 con 8.26 km² y el año con la menor cobertura es el 2008 con un área total de 3.91 km².

A partir del análisis de Kruskal-Wallis (Anexo 2) se determinó que al igual que en Bahía Concepción, al menos uno de los años presenta cobertura distinta ($\chi^2=283.07$, $p<0.00001$) a lo largo del tiempo. Al hacer la comparación por pares de años, se observó que el tamaño de los parches correspondiente a los años 2004, 2005, 2007 y 2008 es similar. Así mismo, la cobertura de los parches entre los años 2006, 2009, 2010 y 2011, a excepción de 2009 con 2011, no presenta diferencias (fig. 9). Todas las demás comparaciones posibles resultaron significativamente distintas ($p < 0.05$).

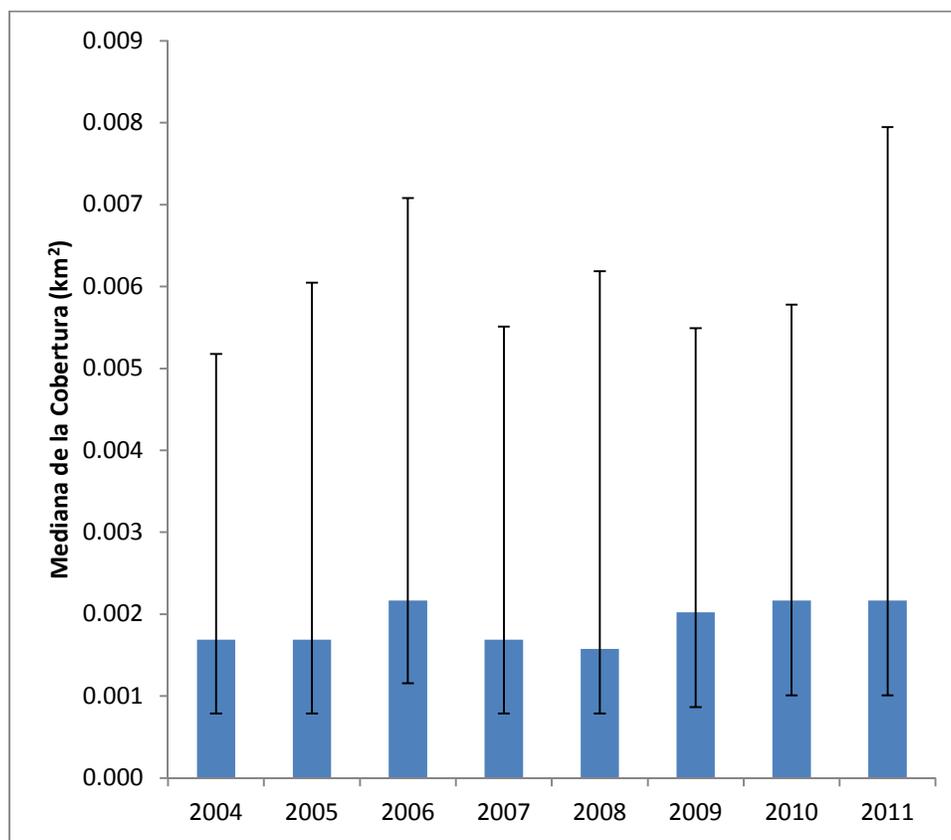


Figura 9 Mediana de la cobertura de *Sargassum* spp para Bahía de la Paz durante el periodo de estudio. Las barras negras representan el cuartil superior e inferior, respectivamente.

Es importante mencionar que no se encontró correlación al comparar la variación a lo largo del tiempo de la cobertura del bosque de *Sargassum* spp entre Bahía Concepción y bahía de la Paz, ($\rho = -0.6428$, $p = 0.08$).

8.3. Obtención de las especies de importancia comercial distribuidas en los bosques de *Sargassum* spp.

De acuerdo con la base de datos de CONAPESCA y a observaciones de fauna (peces e invertebrados) asociada a los bosques de *Sargassum* spp durante el trabajo en campo, se identificaron 31 especies en Bahía Concepción (tabla 1) y 19 especies en Bahía de la Paz (tabla 2) que son utilizadas para consumo humano, y que se consideran para este estudio de importancia comercial.

Cuadro 1 Especies de importancia comercial identificadas a partir del análisis de las bases de datos de CONAPESCA y observaciones en campo para Bahía Concepción.

	Nombre Común	Nombre Científico
Invertebrados	Almeja Catarina	<i>Argopecten</i> spp
	Almeja Chocolate	<i>Megapitaria squalida</i>
	Callo de Hacha, Callo Media Luna	<i>Atrina</i> spp
	Pulpo	<i>Octopus</i> spp.
Peces	Bacoco	<i>Anisotremus interruptus</i>
	Baqueta, Garropa	<i>Mycteroperca prionura</i>
	Barbito, Chivato, Salmonete	<i>Mulloidichthys dentatus</i>
	Botete, Vieja	<i>Sphoeroides annulatus</i>
	Cabrilla arenera, Cabrilla pinta, Curricata	<i>Paralabrax maculatofasciatus</i>
	Chopa	<i>Kyphosus analogus</i>
	Clavellino	<i>Lutjanus argentiventris</i>
	Cochito, Botete	<i>Balistes polylepis</i>
	Coconaco, Mulato	<i>Hoplopagrus guentherii</i>
	Garropa	<i>Mycteroperca jordani</i>
	Garropa	<i>Mycteroperca xenarcha</i>
	Guinea	<i>Haemulon</i> spp
	Lisa	<i>Mugil cephalus</i>
	Lisa macho	<i>Mugil</i> spp
	Lucero, Pinto	<i>Paralabrax auroguttatus</i>
	Mojarra, Mueluda	<i>Calamus brachysomus</i>
	Mulato, Pargo Mulato	<i>Lutjanus novemfasciatus</i>
	Palometa	<i>Gnathanodon speciosus</i>
	Perico y clavellino	<i>Scarus</i> spp.
	Vieja	<i>Bodianus diplotaenia</i>
Vieja	<i>Semicossyphus pulcher</i>	
Zorrillo	<i>Paralabrax auroguttatus</i>	

Cuadro 2 Especies de importancia comercial identificadas a partir del análisis de las bases de datos de CONAPESCA y observaciones en campo para Bahía de la Paz.

	Nombre Común	Nombre Científico
Invertebrados	Almeja Catarina	<i>Argopecten circularis</i>
	Almeja Chocolate	<i>Megapitaria squalida</i>
Peces	Bacoco	<i>Anisotremus interruptus</i>
	Botete, Cabrilla arenera	<i>Balistes polylepis</i>
	Cabrilla pinta	<i>Bodianus diplotaenia</i>
	Chopa, Clavellino, Mojarra	<i>Calamus brachysomus</i>
	Cochito	<i>Epinephelus analogus</i>
	Cochito s/c	<i>Epinephelus</i> spp
	Coconaco	<i>Gnathanodon speciosus</i>
	Curricata	<i>Haemulon</i> spp
	Guinea, Lisa	<i>Hoplopagrus guentherii</i>
	Lisa macho	<i>Kyphosus analogus</i>
	Mero, Pargo Mulato	<i>Lutjanus argentiventris</i>
	Lisa	<i>Mugil cephalus</i>
	Lisa	<i>Mugil</i> spp
	Mulato, Perico, Palometa	<i>Paralabrax maculatofasciatus</i>
	Perico y clavellino	<i>Scarus</i> spp
	Vieja	<i>Sphoeroides annulatus</i>

De las especies de importancia comercial en Bahía Concepción, 4 corresponden a invertebrados y 22 a peces. En Bahía de la Paz solamente se identificaron 2 especies de invertebrados y el resto correspondió a peces. Ambas bahías comparten 14 especies de peces y una de invertebrados. Del total de especies, el Pulpo (*Octopus* sp), Cabrilla (*Paralabrax maculatofasciatus*), Pargo Mulato (*Lutjanus novemfasciatus*), Mojarra (*Calamus brachysomus*), Mero (*Lutjanus argentiventris*), Pinto (*Paralabrax auroguttatus*), Coconaco (*Hoplopagrus guentherii*), Bacoco (*Anisotremus interruptus*), Cochito (*Epinephelus analogus*) y Botete (*Balistes polylepis*) son de hábitos de arrecife y poseen valor comercial (Erisman *et al*, 2010).

La falta de información completa y continua de captura para algunas de las especies arriba identificadas limitó su utilización. Para algunas especies no se

encontró información o no existía información suficiente que permitiera considerarlos en los análisis estadísticos planteados. Por lo tanto, de las listas de especies presentadas en las tablas 1 y 2, se identificaron aquellas que contaran con al menos cuatro años continuos con información de captura para llevar a cabo los análisis estadísticos. De este modo, se identificaron 8 especies en Bahía Concepción y 7 para Bahía de la Paz. El total de especies que cumplieron con el criterio mencionado son 2 especies de invertebrados y 8 especies de peces los cuales fueron: Pulpo (*Octopus* sp), Almeja Chocolate (*Megapitaria squalida*), Baqueta (*Mycteroperca prionura*), Perico (*Scarus* sp), Cabrilla (*Paralabrax maculatofasciatus*), Vieja (*Spheroides annulatus*), Pargo Mulato (*Lutjanus novemfasciatus*), Mojarra (*Calamus brachysomus*), Botete (*Balistes polylepis*) y Bacoco (*Anisotremus interruptus*). La variación en el volumen de pesca y la variación de los bosques de *Sargassum* spp con respecto al tiempo se presentan a continuación.

Los datos de volumen de pesca utilizados corresponden al periodo 2004-2009, años que estuvieron disponibles en la base de datos consultada.

8.3.1. Bahía Concepción.

8.3.1.1. Invertebrados

En la figura 10 se presenta el volumen de captura de *Octopus* sp a través del tiempo. Se observa un máximo en 2006 y una disminución continua para los siguientes años.

8.3.1.2. Peces

La figura 11 muestra el volumen de captura de *Sphoeroides annulatus*, se observa un máximo de pesca en el año 2005. A partir de este año la captura disminuye hasta el año 2008 donde se encuentra el mínimo de captura.

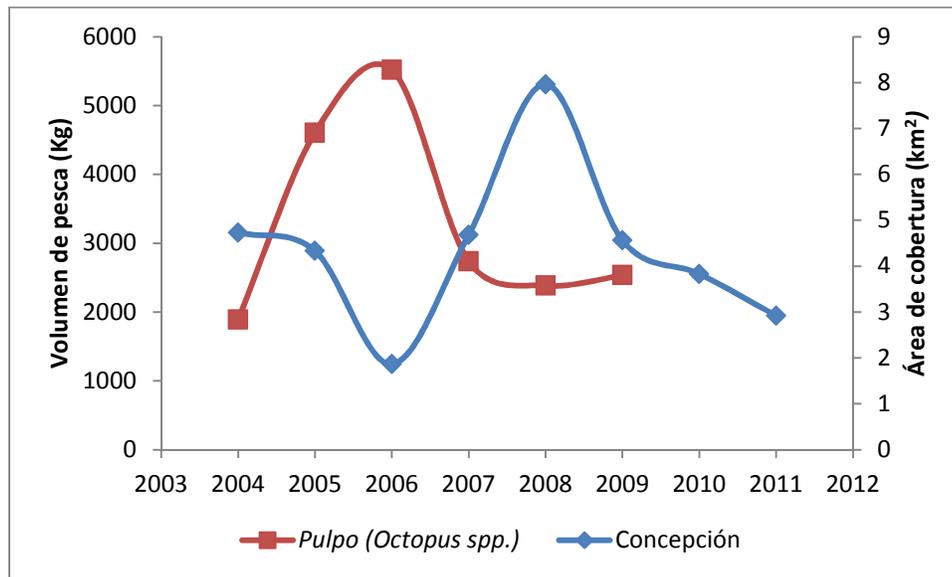


Figura 10 Variación del volumen de pesca del Pulpo (*Octopus* sp) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio.

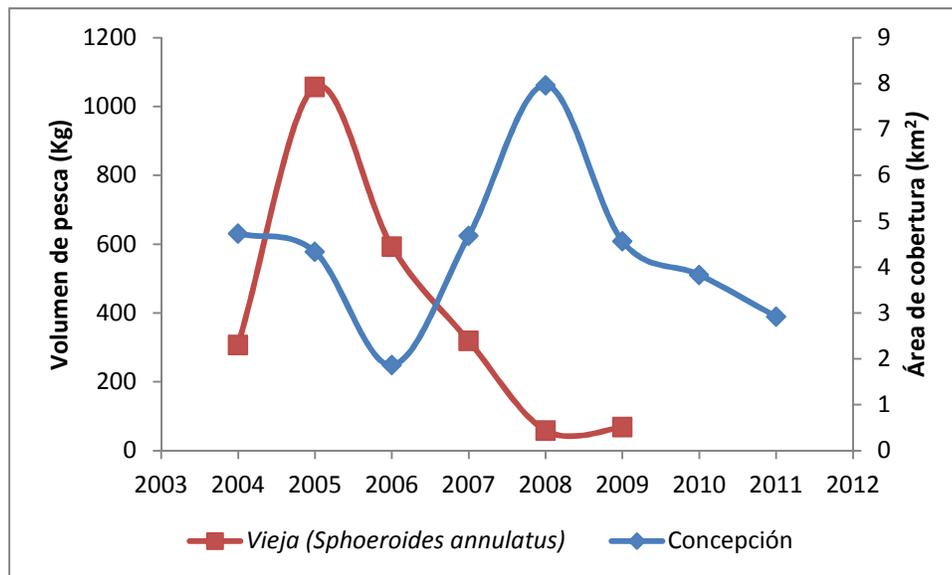


Figura 11 Variación del volumen de pesca de la Vieja (*Sphoeroides annulatus*) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio

En la figura 12 se puede observar que existe un número muy variable de capturas para *Scarus* sp., el cual presenta la máxima de extracción en 2005, y los siguientes años presenta una notable disminución en el volumen de captura.

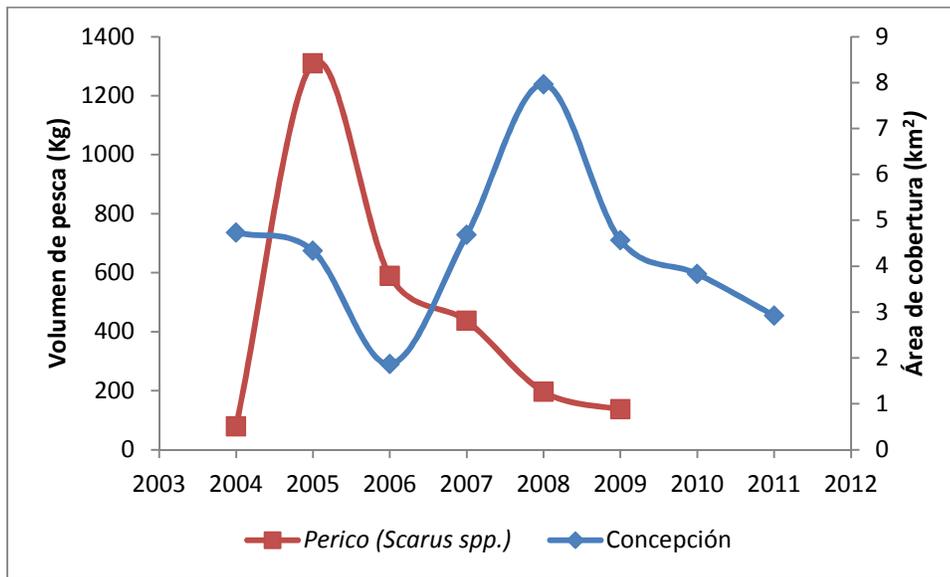


Figura 12 Variación del volumen de pesca del Perico (*Scarus* spp) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio

En la figura 13 se observa una mayor variación que la observada en las especies anteriores. Se presenta un máximo de captura en el año 2006 y un mínimo en el año 2008.

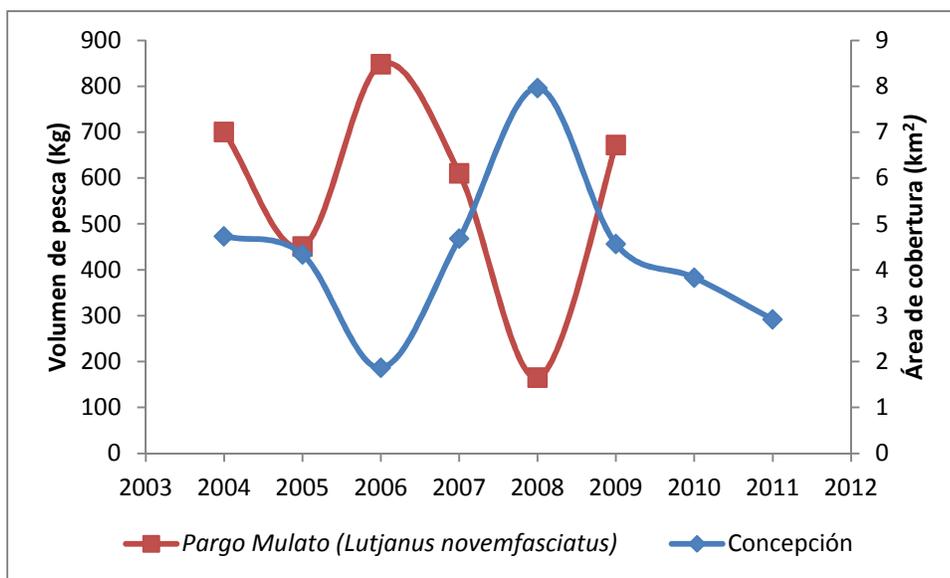


Figura 13 Variación del volumen de pesca del Pargo mulato (*Lutjanus novemfasciatus*) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio

En la figura 14 se observa la variación del volumen de captura de *Calamus brachysomus*, que al igual que el pargo mulato, se observa una mayor variabilidad de captura, con un máximo de pesca en 2006 y un mínimo en 2007.

En la figura 15 se observan la variación de los reportes de pesca de *Paralabrax maculatofasciatus* a lo largo del periodo de estudio, donde los máximos están en 2005 y 2006, los cuales disminuyen hacia 2008 y 2009.

En la figura 16 se muestra el reporte de pesca de *Balistes polylepis* donde se muestra la mayor extracción en 2006, en años anteriores y posteriores las capturas son mucho muy pequeñas.

La figura 17 se observa que la pesca de *Mycteroperca prionura* muestra la mayor captura en 2005 y la menor extracción en 2004.

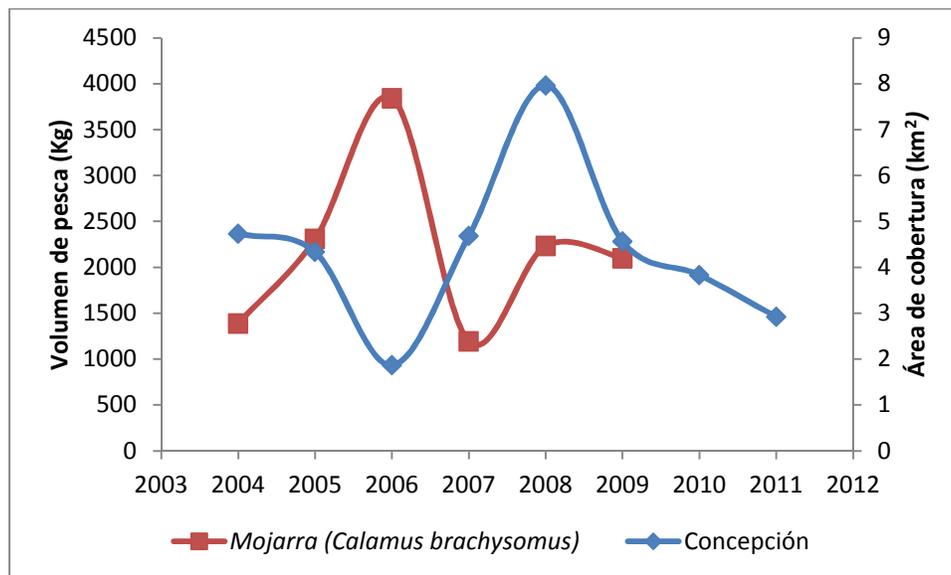


Figura 14 Variación del volumen de pesca de la Mojarra (*Calamus brachysomus*) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio.

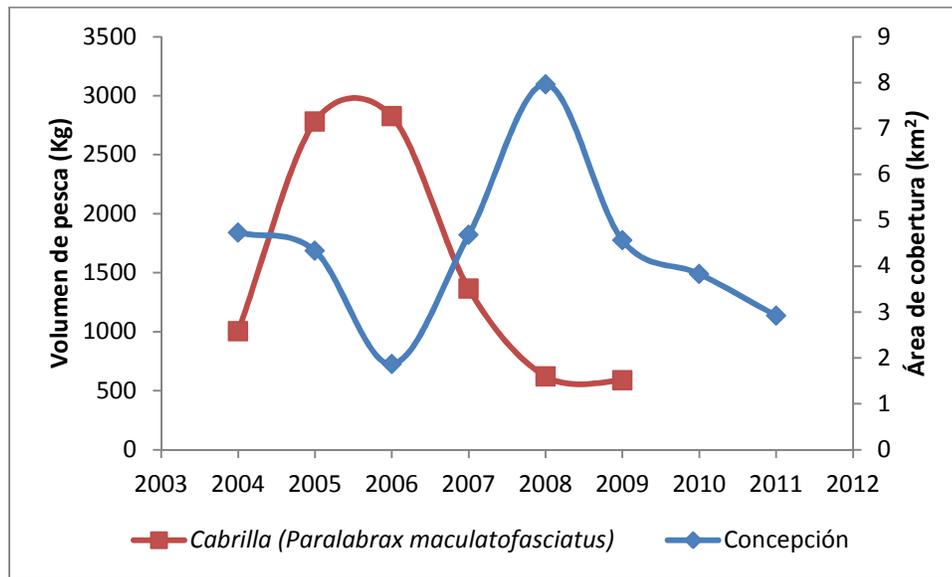


Figura 15 Variación del volumen de pesca de la Cabrilla (*Paralabrax maculatofasciatus*) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio

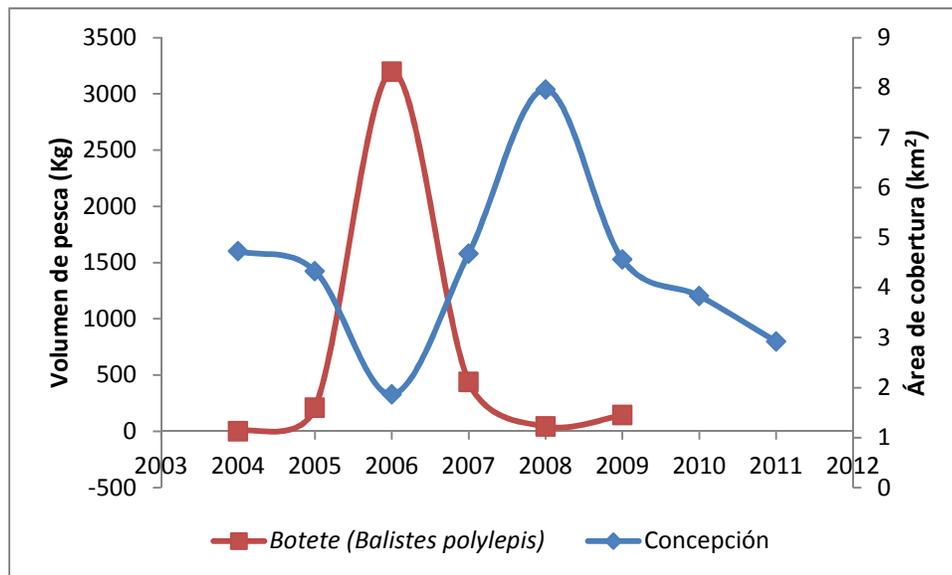


Figura 16 Variación del volumen de pesca del Botete (*Balistes polylepis*) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio

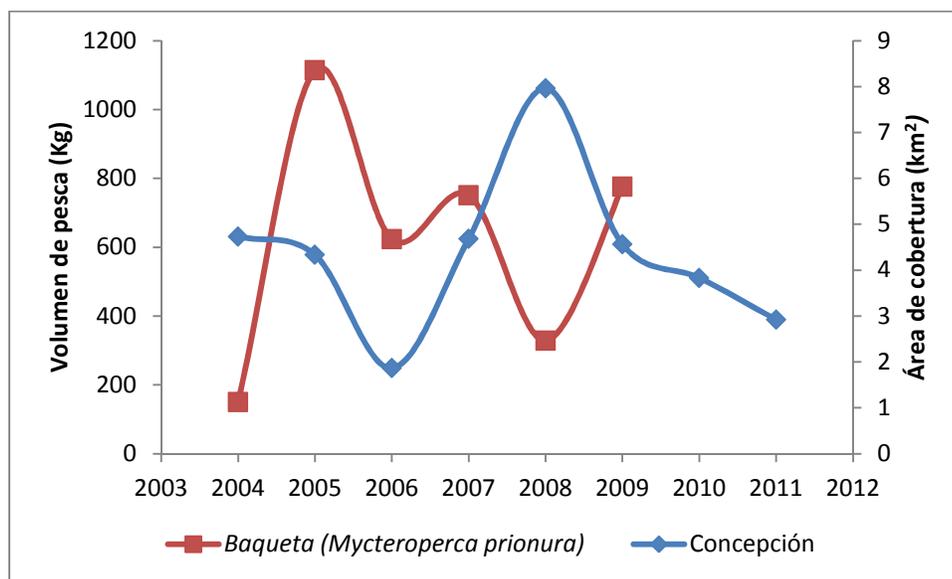


Figura 17 Variación del volumen de pesca de la Baqueta (*Mycteroperca prionura*) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio

8.3.2. La Paz.

8.3.2.1. Invertebrados

En la figura 18 se puede observar la variación de la pesca de *Octopus* spp en la Bahía de la Paz a lo largo del tiempo. La variación de los años 2005-2008 es similar a la variación de la cobertura del *Sargassum* spp. Así mismo, se puede distinguir un máximo de captura en el año 2007, que disminuye hacia 2008 donde se presenta el mínimo volumen de captura.

En la figura 19 se observa que la captura de la almeja chocolata (*Megapitaria squalida*) no es muy variable. Se presentó un máximo volumen de captura en el año 2009 a partir del cual disminuye considerablemente.

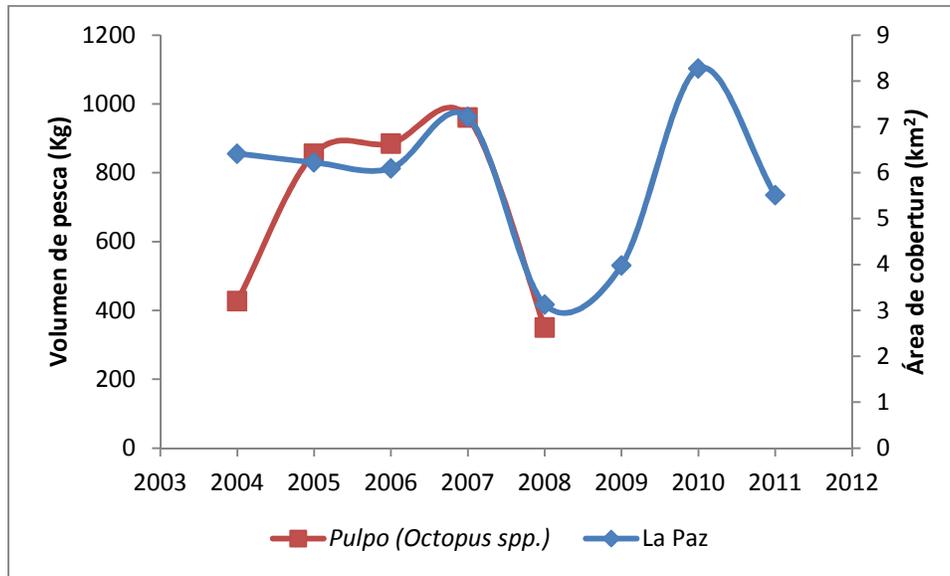


Figura 18 Variación del volumen de pesca del Pulpo (*Octopus* sp) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio.

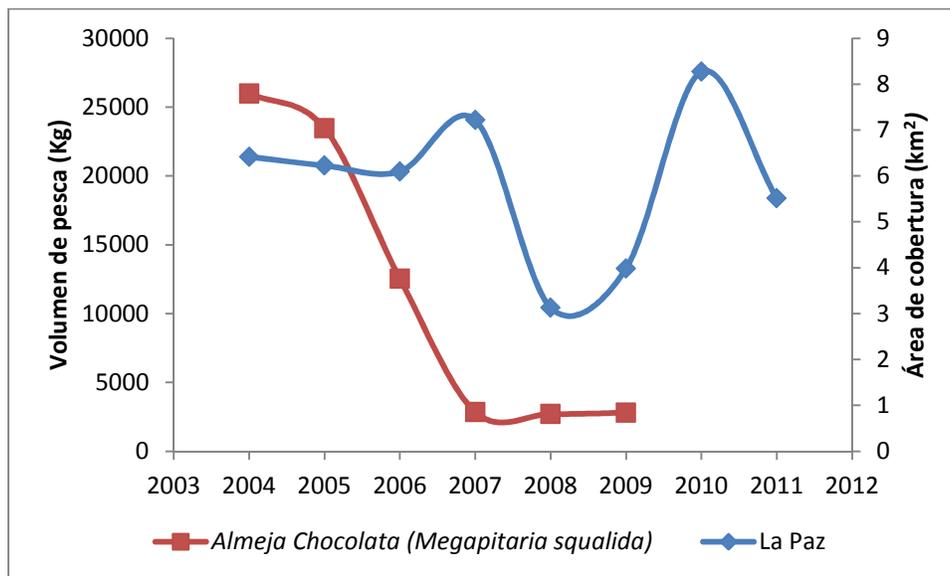


Figura 19 Variación del volumen de pesca de la almeja Chocolate (*Megapitaria squalida*) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio.

8.3.2.2. Peces

El volumen de pesca del pargo mulato (*Lutjanus novemfasciatus*) tuvo su máxima de captura en 2004, disminuyó hacia 2006, volvió a aumentar hacia 2007 pero disminuyó en 2008 (Figura 20).

La figura 21 muestra como varió el volumen de captura de la mojarra (*Calamus brachysomus*), donde se observa un máximo de pesca en 2004 que disminuye hacia 2007, donde encuentra ascenso hacia 2009.

En la figura 22 se observa como el volumen de pesca de *Paralabrax maculatofasciatus* varía a través del tiempo y posee un máximo de capturas en 2004 que disminuye en 3 ocasiones (2005, 2007 y 2009) y aumenta ligeramente en 2 (2006, 2008).

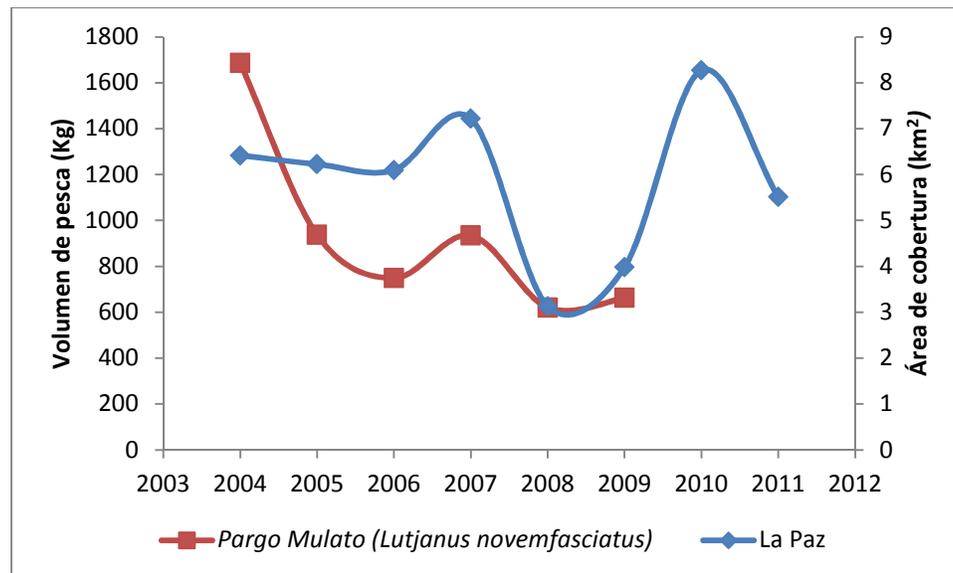


Figura 20 Variación del volumen de pesca del Pargo Mulato (*Lutjanus novemfasciatus*) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio

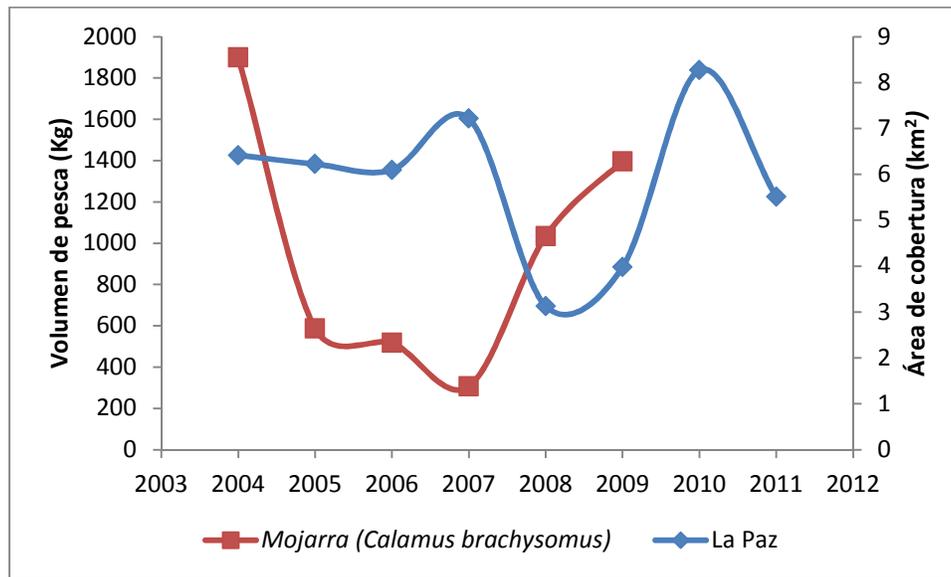


Figura 21 Variación del volumen de pesca de la Mojarra (*Calamus brachysomus*) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio.

Para el volumen de pesca del Botete (*Balistes polylepis*) (Figura 23) no se encontraron todos los datos, sin embargo para los análisis estadísticos se utilizaron los últimos 4, se observa un máximo en 2007 y los años que tienen baja producción son 2006, 2008 y 2009.

En la siguiente figura (24) se puede observar una mayor variabilidad en la captura del Bacoco (*Anisotremus interruptus*), la cual tiene un punto máximo en 2005 y un mínimo en 2007.

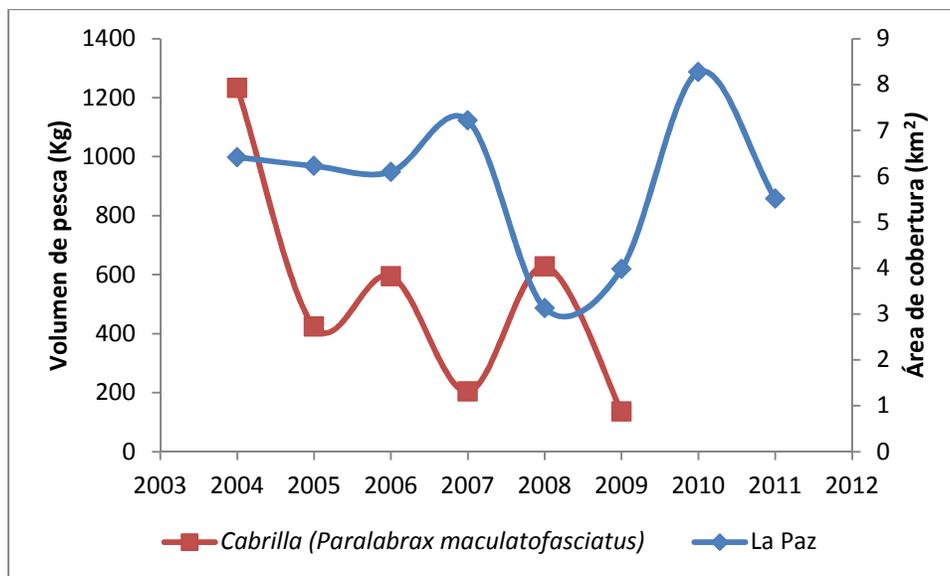


Figura 22 Variación del volumen de pesca de la Cabrilla (*Paralabrax maculatofasciatus*) y la cobertura del *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio.

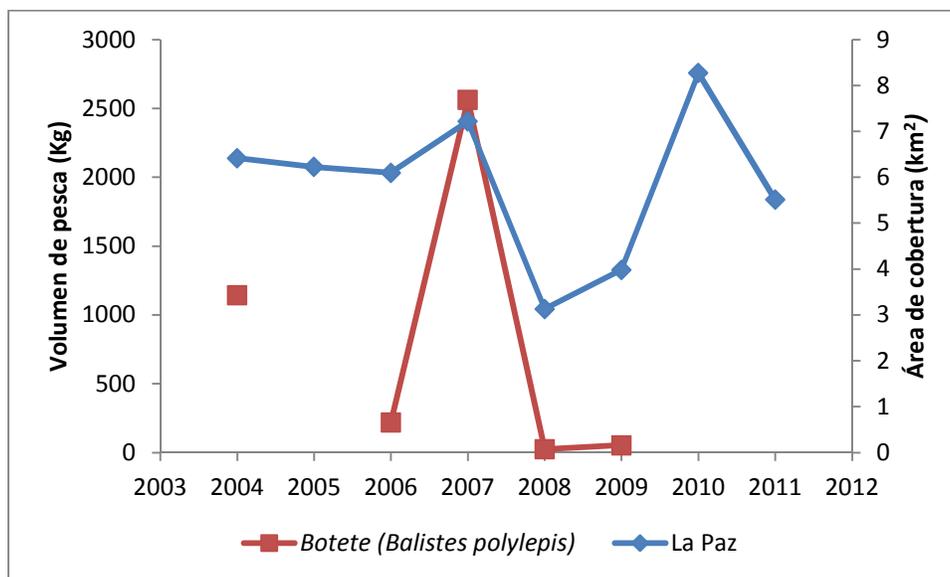


Figura 23 Variación del volumen de pesca del Botete (*Balistes polylepis*) y la cobertura de *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio.

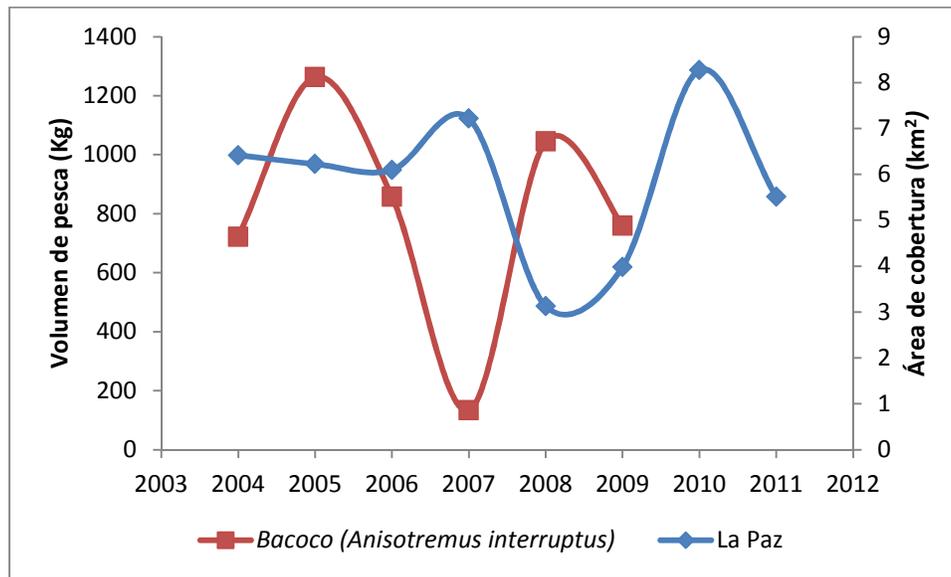


Figura 24 Variación del volumen de pesca del Bacoco (*Anisotremus interruptus*) y la cobertura del *Sargassum* spp a lo largo de los años de estudio

En el cuadro 3 se presentan los resultados del análisis de autocorrelación entre el volumen de pesca de las especies, con al menos 6 años consecutivos de datos de captura, y la variación de la cobertura del bosque de *Sargassum* spp a lo largo del tiempo en ambas bahías, a excepción del Botete (*Balistes polylepis*) en la Bahía de la Paz, donde el análisis se realizó para un periodo de cuatro años consecutivos por falta de información.

Cuadro 3 Valores de autocorrelación para la cobertura de *Sargassum* y las especies que tuvieron observaciones durante 6 años consecutivos. () Valor Lag o desfase. * Correlación significativa.

Especie	Concepción	La Paz
	Valor de Autocorrelación (lag)	Valor de Autocorrelación (lag)
Pulpo (<i>Octopus</i> sp)	0.81 (2) *	0.70 (0)
Almeja Chocolate (<i>Megapitaria squalida</i>)		0.62 (1)
Baqueta (<i>Mycteroperca prionura</i>)	0.48 (3)	
Perico (<i>Scarus</i> sp)	0.62 (3)	
Cabrilla (<i>Paralabrax maculatofasciatus</i>)	0.57 (2)	0.43 (3)
Vieja (<i>Spheroides annulatus</i>)	0.58 (3)	
Pargo Mulato (<i>Lutjanus novemfasciatus</i>)	0.23 (2)	0.57 (0)
Mojarra (<i>Calamus brachysomus</i>)	0.85 (2)*	0.65 (3)
Botete (<i>Balistes polylepis</i>)	0.84 (2)*	0.79 (0)
Bacoco (<i>Anisotremus interruptus</i>)		0.53 (2)

Se observa que la captura de *Octopus* sp, *Calamus brachysomus* y *Balistes polylepis*, en Bahía Concepción, esta correlacionada con la cobertura de *Sargassum* spp presente dos años anteriores al tiempo de captura ($p < 0.05$). El resto de las especies analizadas, incluyendo éstas mismas pero en Bahía de la Paz, no presentó correlación significativa ($p > 0.05$).

9. Discusión

9.1. Mapeo temático

La combinación de técnicas de clasificación supervisada y no supervisada de imágenes satelitales de alta y mediana resolución, permitió describir la cobertura histórica del bosque de *Sargassum* spp. Utilizando la clasificación no supervisada de imágenes satelitales multiespectrales por sí sola, no permite obtener información sobre la identidad de los píxeles sin ayuda de otras herramientas y/o fuentes de información. En este caso, la información obtenida de la clasificación supervisada de un mosaico de imágenes satelitales de alta resolución, permitió identificar mediante la ubicación y las características espectrales de los píxeles en las imágenes históricas, aquellas áreas cubiertas por bosque de *Sargassum* spp en el periodo 2004-2011. Métodos similares se han utilizado para evaluar la variación espacio-temporal de la cobertura de bosques de manglar relacionada con pesca artesanal (Carrasquilla-Henao, 2013). Sin embargo, este es un trabajo pionero en cuando a la realización de un análisis espacio-temporal de imágenes históricas del bosque de *Sargassum* spp a escala de paisaje.

La obtención de escenas históricas de mediana resolución de las distintas plataformas disponibles en la red fueron de gran ayuda en la elaboración del estudio ya que su adquisición fue gratuita y fácil, lo que redujo costos y tiempo en el procesamiento de las imágenes.

9.2. Cobertura histórica de los bosques de *Sargassum*

La generación de los mapas temáticos para cada año dentro del periodo de estudio permitió describir la distribución espacial y estimar el área de cobertura histórica de los bosques de *Sargassum* spp en las bahías de estudio.

Se observó que ambas bahías presentan distinta cobertura de bosques de *Sargassum* spp. En promedio, considerando todos los años de estudio se encontró que Bahía de la Paz presenta una mayor cobertura general de *Sargassum* spp (~6.3 km²) en comparación con Bahía Concepción ~4.6 km². Esta

diferencia puede atribuirse al distinto tamaño de las bahías, mientras que Concepción ocupa una extensión ~45 km de largo (Casas-Valdez, 1993), Bahía de La Paz posee una extensión ~de 80 km de largo (Obeso-Nieblas, 2003).

Por otro lado, la variación de la cobertura de los bosques de esta macroalga a lo largo del tiempo entre ambas bahías no está correlacionada. Esto puede deberse a distintos factores, por ejemplo, las condiciones climáticas, oceanográficas o geográficas. En este sentido, uno de los principales factores que influyen en el crecimiento de las macroalgas es la temperatura (Sánchez-Rodríguez y Cervantes-Duarte, 1999). Considerando que las áreas de estudio están separadas por una distancia de aproximadamente 300 km, probablemente existan diferencias en la variación de la temperatura a lo largo del tiempo. La temperatura dentro del golfo de California tiene variaciones a lo largo del año donde esta disminuye latitudinalmente de la Boca hacia la región norte del golfo con máximos en la parte sur y mínimos hacia el norte (Soto-Mardones *et al.*, 1999; García, 2008). Se sabe que la variación de la temperatura en Concepción es de 20-32.8°C (Núñez y Casas, 1997) mientras que en Bahía de La Paz la variación es de 19-31°C (Espinoza y Rodríguez, 1987; Espinoza y Rodríguez, 1989). Así mismo, Bahía La Paz, posee comunicación con el Golfo de California a través de dos bocas, una localizada en el norte entre los Islotes y Cabeza de Mechudo, y la otra localizada en el sureste de la bahía, mientras que Bahía Concepción es mucho más pequeña y cerrada, con la boca ubicada hacia el norte, lo cual limita el intercambio directo de masas de agua (Cruz *et al.*, 1996; Magallanes *et al.*, 1993; Obeso-Nieblas, 2003).

Aunado a las condiciones climáticas, existen factores que limitan el crecimiento de las macroalgas, por ejemplo, la intervención humana. Las actividades económicas importantes y que dejan ganancias atractivas en Concepción son la pesca y el turismo de muy bajo impacto que sostiene a una población de ~3800 habitantes (INEGI, 2010) en la población de Mulegé que es la más cercana a esta bahía. Por otro lado, las actividades que aportan recursos monetarios a la mayoría de la

población en la Paz (251 871 habitantes) incluyen una extensa actividad turística, pesquera, agropecuaria, minera y de servicios. Así mismo, en esta bahía se encuentra una granja camaronera así como plataformas de PEMEX las cuales son utilizadas para el transporte del combustible. Estas diferencias en cuanto a nivel de perturbación antropogénica podrían influir en la dinámica espacio-temporal del bosque de *Sargassum* spp en la región de estudio. Otros factores que pueden influir sobre la variación de la macroalga están relacionados con las relaciones de competencia-depredación que se dan en la comunidad, sin embargo esto no fue evaluado.

9.3. Análisis estadístico de pesquerías

De manera general, los datos sobre el volumen de captura muestran una notable disminución a lo largo del tiempo. Esto podría estar indicando la sobreexplotación de especies de importancia comercial extraídas no solo en la zona de estudio sino del panorama nacional. Un diagnóstico general menciona que cerca del 20% de las pesquerías están deterioradas, 70% en explotación plena y 10% en desarrollo (Arreguín-Sánchez y Arcos-Huitrón, 2011).

Los resultados del análisis de autocorrelación sugieren que podría existir algún tipo de relación entre la cobertura de *Sargassum* y la captura de tres especies de importancia comercial (*Balistes polylepis*, *Calamus brachysomus* y *Octopus* sp) a lo largo del tiempo. Los valores positivos y significativos de autocorrelación observados indican que la presencia de bosques de *Sargassum* podría estar ligada al reclutamiento de individuos de estas especies. Esta relación podría ser a través del incremento en la disponibilidad de hábitat de desarrollo y/o disponibilidad de alimento que se traduce en un mayor reclutamiento de los organismos que eventualmente son capturados. Aburto-Oropeza y colaboradores (2007) encontraron que los bosques de *Sargassum* spp proporcionan hábitat crítico a distintas especies. Las observaciones encontradas a partir del análisis de autocorrelación, coinciden con los estudios de Crowder (2005), Shelton (2010) y

Flores (2010), donde se destaca la importancia de los bosques de la macroalga como sitios de reclutamiento de especies de importancia comercial.

El periodo de tiempo de dos años que transcurre entre el reclutamiento y la captura de los organismos (efecto lag) donde se encontró una autocorrelación significativa coincide con información conocida sobre los ciclos de vida de estas especies. El pulpo (*Octopus* sp) en Baja California Sur alcanza una talla de captura a partir del año y medio de vida (Jorge López Rocha, comentario personal 2013; López, 2006) y la mojarra (*Calamus brachysomus*) y botete (*Balistes polylepis*) tardan ~2 años para alcanzar la talla deseada de captura 50-55 cm (Martínez, 1985; Barroso-Soto *et al.*, 2007).

En el caso de aquellas especies donde no se encontró correlación, esto podría deberse a que no dependen de manera sustancial solamente del hábitat para llevar a cabo su ciclo de vida, sino existan algunos otros factores que determinen su estancia en este tipo de ecosistemas. Es importante mencionar que las mismas especies que presentaron correlación en Bahía Concepción, no la mostraron en Bahía de La Paz. Esto probablemente podría deberse a distintos factores que se suman a la disponibilidad de hábitat, como factores de productividad y obtención de alimento, así como factores geográficos como la extensión de las bahías, además de la perturbación antropogénica, o debido también a errores humanos como las diferencias en el método de obtención de los datos, etc., los cuales no son del todo tomados en cuenta y limitan los alcances del estudio. En este sentido, se recomienda llevar a cabo análisis con una mayor cantidad de observaciones a lo largo del tiempo.

Dada la relación volumen de pesca-cobertura de *Sargassum* spp descrita, este estudio proporciona información preliminar para generar modelos que permitan estimar la captura de algunas especies en función de la cobertura de la macroalga observada. Por ejemplo, dado que no se encontraron diferencias significativas en la cobertura de la macroalga en Bahía Concepción entre los años 2006 y 2010, podríamos esperar que la captura de *Calamus brachysomus* sea similar en ambos

años, siempre y cuando no haya variación en otros factores (ej. aumento en el esfuerzo pesquero, disminución en la densidad de depredadores). Sin embargo, para poder proporcionar información adecuada será necesario contar con un mayor número de observaciones así como describir los mecanismos específicos que determinan el reclutamiento de estas especies considerando las relaciones ecológicas (ej. competencia intraespecífica e interespecífica), factores ambientales (ej. temperatura de la columna de agua) y desarrollo de la pesquería (ej. intensidad y esfuerzo de pesca, artes de pesca, número de embarcaciones, etc.), lo cual permita tener una visión integral sobre la utilización de los recursos en ambas bahías.

10. Conclusiones y Recomendaciones

Se encontró que la relación entre el volumen de captura de peces con importancia comercial con respecto a la cantidad de macroalgas encontrada en Bahía Concepción, fue positiva y significativa ($p < 0.05$) para tres especies: *Balistes polylepis*, *Calamus brachysomus* y *Octopus* sp. La captura de un año en particular presenta relación con la cobertura de *Sargassum* spp presente 2 años previos al tiempo de pesca de las especies. Para Bahía de La Paz no se encontraron resultados significativos ($p > 0.05$).

El método utilizado para el análisis de las imágenes permitió determinar la distribución que tiene el género *Sargassum* a lo largo de las costas de las bahías analizadas a través del tiempo y su relación con los recursos pesqueros.

Las bases de datos contienen mucha información incompleta por lo que se recomienda desarrollar una estrategia que permita una mayor consistencia al momento de obtener los datos, pues éstos constituyen la base de las acciones y estrategias de manejo de los recursos pesqueros en la región.

La falta de información en las bases de datos de CONAPESCA limitó el número de observaciones disponibles para llevar a cabo los análisis presentados.

Es necesario generar más estudios sobre otros aspectos que influyan de manera directa o indirecta en los factores que determinen el éxito de las relaciones ecológicas y función del ecosistema, como las condiciones ambientales, oceanográficas y climáticas, y de esta manera coadyuvar en el desarrollo de estrategias adecuadas de manejo y conservación de los ecosistemas costeros.

11. Referencias

Abitia-Cárdenas., L.A., Rodríguez-Romero., J., Galván-Magaña., F., de la Cruz-Agüero., J. y Chávez-Ramos., H. (1994) Lista sistemática de la ictiofauna de Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Ciencias marinas Vol. 20. No 002, 159-181

Aburto-Oropeza, O., Sala, E., Paredes, G., Mendoza, A. y Ballesteros, E. (2007), Predictability of reef fish recruitment in a highly variable nursery hábitat. Ecology 88(9) 2220-2228

Aguilar-Rosas, R. y Machado G., A. (1990). Ecological aspects of *Sargassum miticum* (Fucales, Phaeophyta) in Baja California, México: reproductive phenology and epiphytes. Hydrobiologia. 204/205: 185-190

Arreguín-Sánchez, F., Hernández-Herrera, A., Ramírez-Rodríguez, M., Pérez-España H. (2004). Optimal management scenarios for the artisanal fisheries in the ecosystem of La Paz Bay, Baja California Sur, Mexico. Ecol. Model. 172: 373–382.

Arreguín-Sánchez, F. y Arcos-Huitrón, E. (2011). La pesca en México: estado de la explotación y uso de los ecosistemas. Hidrobiologica. 21 (3):431-462.

Aswani, S. y Lauer, M. (2006). Benthic mapping using local aerial photo interpretation and resident taxa inventories for designing marine protected areas. Environmental Conservation 33 (3): 263–273.

Baqueiro, E. y Massó, J.A. (1998). Variaciones poblacionales y reproducción de dos población de *Chione undatella* (Sowerby, 1835), bajo diferentes regímenes de pesca en la Bahía de la Paz, B.C.S., México. Ciencia Pesquera. Inst. Nal. de la Pesca. Sria de Pesca. México. (6):5-67

Barrera F., E. (2012). Caracterización y mapeo de hábitat bentónicos en Bahía Magdalena, B.C.S. mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y

sensores remotos. Tesis de licenciatura en manejo sustentable de zonas costeras. Facultad de Ciencias, UNAM. México

Barroso-Soto, I., Castillo-Gallardo, E., Quiñonez-Velázquez, C. y Morán-Angulo, R. E. (2007). Age and Growth of the Finescale Tiggerfish, *Balistes polylepis* (Teleostei: Balistidae), on the Coast of Mazatlán, Sinaloa, México. *Pacific Science*, vol. 61, no 1:121-127.

Begossi, A. (2006). Temporal stability in fishing spots: conservation and co-management in Brazilian artisanal coastal fisheries. *Ecology and Society* 11(1): 5

Carpenter, E. J. y Cox, J. L. (1974). Production of pelagic *Sargassum* and a blue-green epiphyte in the western Sargaso Sea. *Limnology and Oceanography*, Vol. 19, No. 3 (May, 1974), pp. 429-436

Carrasquilla-Henao, M., González O., H. A., Luna G., A. y Rodríguez Q., G. (2013). Mangrove forest and artisanal fishery in the southern part of the Gulf of California, México. *Ocean & Coastal Management*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.02.019>

Casas-Valdez, M. M., Sánchez-Rodríguez, I. y Hernández-Carmona, G. (1993). Evaluación de *Sargassum* spp. en la costa oeste de Bahía Concepción, B.C.S. *Inv. Mar. CICIMAR* 8(2): 61-69.

Casazza, T.L. y Ross, S. W. (2008). Fishes associated with pelagic *Sargassum* and open water lacking *Sargassum* in the Gulf Stream off North Carolina. *Fish. Bull.* 106: 348-363.

Cogan, C. B., Todd, B. J., Lawton, P., y Noji, T. T. (2009). The role of marine habitat mapping in ecosystem-based management. – *ICES Journal of Marine Science*, 66: 2033–2042.

Crawley, M. J. (2002). Statistical computing: An introduction to data analysis using S-Plus. John Wiley & Sons. Nueva York. 761pp.

Crowder, L. B. (2005). Back to the Future in Marine Conservation. Marine Conservation Biology. The Science of Maintaining the Sea's Biodiversity. E. A. Norse and L. B. Crowder. Washington, D.C., Island Press.

Cruz O., R., Martínez N., C. y Mendoza M., A. (1996). Batimetría y sedimentos de la bahía de La Paz, B. C. S., México. *Oceánides*, 11 (1): 21-27.

Dahdouh-Guebas, F. (2002). The use of remote sensing and GIS in the sustainable management of tropical coastal ecosystems. *Environment, Development and Sustainability* 4: 93-112.

Done, T. J. y Reichelt, R. E. (1998). Integrated coastal zone and fisheries ecosystem management: generic goals and performance indices. *Ecological Applications*, Vol. 8, No 1, supplement: ecosystem management for sustainable marine fisheries. pp. S110-S118.

ESRI, 2010. ArcMap help manual, in: ESRI (Ed.), 10.0 ed.

Fajardo-León, M. (1994). Evaluación de biomasa y determinación de especies de los mantos del género *Sargassum* spp. Agardh, 1821 (Fucales: Phaeophyta) en la Bahía de La Paz, B.C.S., México, en primavera de 1988. Tesis Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México.

Flores P., M. L., (2010). Fauna asociada a cuatro especies del Género *Sargassum* C. Agardh del litoral rocoso de Villa Rica, Municipio de Actopan, Ver. México. Tesis de Trabajo de Experiencia Recepcional. Facultad de Biológica, Universidad Veracruzana.

García M., R. (2008). Análisis de la variabilidad superficial de mesoescala en el Golfo de California y su relación con la distribución y abundancia relativa de Mysticetos (2005-2006). Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. México.

Green, E., Clark, C., y Edwards, A., (2000a), Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management: Image classification and habitat mapping.

Green, E. P., Mumby, P. J., Edwards, A. J. y Clark, C. D. (2000b). Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

INEGI. 2010. Censo de Población y vivienda, 2010. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/consulta.asp?p=17118&c=27769&s=est#> .Consultado en Agosto, 2013.

Jiménez B., M de L. (2006). Caracterización de la pesca en la zona costera veracruzana. En Moreno-Casasola, P., Peresbarbosa R., E. y Travieso-Bello, A. C., Estrategia para el manejo costero integral: el enfoque municipal. Instituto de Ecología, A.C. CONANP y Gobierno del estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Ver, México.

Klemas, V. (2010). Fisheries applications of remote sensing: An overview. Fisheries research.

López R., J. (2013) Especialista en pesquerías, UMDI Sisal, Facultad de Ciencias, UNAM.

López U., E. (2006). Ciclo vital y pesca del pulpo *Octopus hubbsorum* Berry 1953 (Cephalopoda: Octopodidae) en la costa de Jalisco, México. Tesis Doctorado en ciencias biológicas. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México.

Maass, J.M., Jardel, E.J., Martínez-Yrizar, A., Calderón-Aguilera, L.E., Herrera, J, Castillo, A., Euán-Ávila, J., Equihua, M. (2010). Las áreas naturales protegidas y la investigación ecológica de largo plazo en México. *Ecosistemas* 19(2):000-000.

Magallanes, O. V. R., Grajeda M., M.M. y ARCE O., H. (1993). Variabilidad de parámetros fisicoquímicos en la zona costera de bahía Concepción, B. C. S., México. Res. V Congr. Lationoamer. de Cienc. del Mar. 245.

Martínez, J. (1985). Estudio sobre la edad y crecimiento de la Palma *Calamus brachysomus* (Lockington)(Pisces: Sparidae) en aguas ecuatorianas. *Boletín Científico y Técnico*, 8 (4), p. 51-62.

Mateo-Cid, L. E., Sánchez-Rodríguez, I., Rodríguez-Montesinos, Y. E., Casas-Valdez, M. M., (1993). Estudio florístico de las algas marinas bentónicas de bahía Concepción, B.C.S., México. *Ciencias Marinas*, vol. 19, núm. 1, 1993, pp. 41-60

McCourt, M. R. (1984). Seasonal patten of abundance, distributions, and phenology in relation to growth strategies of three *Sargassum* species. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 74: 141-156.

Mellin, C., Andréfouët, S., Kulbicki, M., Dalleau, M. y Vigliola, L. (2009). Remote sensing and fish-habitat relationships in coral reef ecosystems: Review and pathways for systematic multi-scale hierarchical research. *Marine Pollution Bulletin*. 58: 11-19.

Monroy I., R. C. y Travieso-Bello, A. C., (2006). Herramientas técnicas para la planificación: índices, mapas, bases de datos y sistemas de información geográfica. En Moreno-Casasola, P., Peresbarbosa R., E. y Travieso-Bello, A. C., *Estrategia para el manejo costero integral: el enfoque municipal*. Instituto de Ecología, A.C. CONANP y Gobierno del estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Ver, México.

Moreno-Casasola, P. y Peresbarbosa R., E. (2006). Manejo integral de la zona costera. En Moreno-Casasola, P., Peresbarbosa R., E. y Travieso-Bello, A. C., Estrategia para el manejo costero integral: el enfoque municipal. Instituto de Ecología, A.C. CONANP y Gobierno del estado de Veracruz-Llave, Xalapa, Ver, México.

Mumby, P. J. y Harborne, A. R. (1999). Development of a systematic classification scheme of marine habitats to facilitate regional management and mapping of Caribbean coral reefs. *Biological Conservation*, 88, 155-163.

Muñeton-Gómez, M. y G. Hernández-Carmona (1993). Crecimiento estacional de *Sargassum horridum* (Setchell y Gardner) Phaeophyta, en la Bahía de la Paz, B.C.S., México. *Inv. Mar. CICIMAR* 8(1): 23-31.

Núñez L., R. A. y Casas V., M. M. (1997). Variación estacional de la biomasa y talla de *Sargassum* spp. (Sargassaceae, Phaeophyta) en la Bahía Concepción, B. C. S., México. *Hidrobiológica* 7:19-25.

Núñez-López, R. A. y Casas-Valdéz, M. M. (1996). Fenología de las especies de *Sargassum* (Fucales: Sargassaceae) en tres zonas de Bahía Concepción, B. C. S., México. *Rev. Biol. Trop.*, 44 (2): 455-464.

Obeso-Nieblas, M. (2003). Variabilidad espacio-temporal de las condiciones oceanográficas de la bahía de la paz, B.C.S., México. Tesis de doctorado. CICIMAR, IPN. La Paz, B.C.S., México

Obeso-Nieblas, M., Shirasago-Germán, B., Gaviño-Rodríguez, J., Pérez-Lezama, E., Obeso-Huerta, H. y Jiménez-Illescas, A. (2008). Variabilidad hidrográfica en Bahía de La Paz, Golfo de California, México (1995-2005). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 43(3): 559-567.

Peguero-Icaza, M. y L. Sánchez-Velasco. 2004. Spatial distribution of fish larvae in a bay of the Gulf of California (June and November 1997). *Pac. Sci.* 58 (4): 567-578.

Pauly, D. y Chistensen, V. (1995). Primary production required to sustain global fisheries. *Nature* 374:255-257

Ramírez A., S. R. (2011). Caracterización de la pesca artesanal de elasmobranquios en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México.

Ramírez-Rodríguez, M., López-Ferreira, C. y Hernández H., A. (2004). Atlas de Localidades Pesqueras: Baja California, Baja California Sur y Sonora. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México

Rioja-Nieto, R. (2007). Landscape ecology and conservation of the Cozumel Reefs National Park, Mexico. Tesis de Doctorado. University of Warwick.

Rioja-Nieto, R. e Hinojosa-Arango, G. (2013). Reporte técnico proyecto "Caracterización y mapeo de las áreas de *Sargassum* spp en tres regiones de Baja California Sur: Bahía Magdalena, Bahía Concepción y Bahía de la Paz mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sensores remotos. Fondo SEMARNAT-CONACyT. Proyecto No. 108464.

Rioja-Nieto, R. y Sheppard, C. (2008). Effects of management strategies on the landscape ecology of a Marine Protected Area. *Ocean & Coastal Management* 51 397-404.

Rioja-Nieto, R. Barrera Falcón, E. Hinojosa-Arango, G. y Riosmena-Rodríguez, R. (2013). Benthic habitat -diversity modeling and landscape metrics for the selection of priority conservation areas using a systematic approach: Magdalena

Bay, Mexico as a case study. *Ocean & Coastal Management*. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2013.06.002.

Rivera, M. y Scrosati, R. (2006). Population dynamics of *Sargassum lapazeanum* (Fucales, Phaeophyta) from the Gulf of California, México. *Phycologia*. Volume 45 (2), 178-189.

Rocha-Ramírez, V. y Siqueiros-Beltrones, D. (1990). Revisión de las especies del género *Sargassum* C. Agardh registradas para la Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Ciencias Marinas*, 16(3): 15-26.

Rodríguez R., N. (2009). Rellenado de los *gaps* provocados por la falla del *Scan Line Corrector* en las imágenes *Landsat 7 ETM+*. Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Computación. Facultad de Matemática y Computación, Universidad de La Habana. La Habana, Cuba.

Rodríguez-Romero, J., Abitia-Cárdenas, L. A., Galván-Magaña, F. y Chávez-Ramos, H. (1994). Composición, abundancia y riqueza específica de la ictiofauna de Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*. 20 (3): 321-350.

Rooker, J.R., Turner, J.P. y Holt, S. A. (2006). Trophic ecology of *Sargassum*-associated fishes in the Gulf of México determined from stable isotopes and fatty acids. *Marine Ecology Progress Serie*, Volume 313: 249-250

Rooker, J. R., Simms, J. R., Wells, R.J.D., Holt, S.A., Holt, G. J. y Furey, N. B. (2012). Distribution and habitats associations of billfish and swordfish larvae across mesoscale features in the Gulf of Mexico. *PLoS One* 7(4)

SAGARPA (2012). Actualización de acta nacional Pesquera. *Diario Oficial*.

Salinas-González, F., Zaytsev, O. y Makarov, V. (2003). Formación de la estructura termohalina del agua en la Bahía de La Paz de verano a otoño. *Ciencias Marinas*. 29 (1): 51-65.

Sánchez-Rodríguez, I. y R. Cervantes-Duarte (1999). Longitud y biomasa de *Sargassum horridum* Setchell et Gardner (Phaeophyta) en Bahía Magdalena, BCS. *Hidrobiológica* 9(2): 117-124.

Schowengerdt, R. A., (2011). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. Tercera edición. Academic Press. EUA.

Shelton, A. O. (2010). Temperature and community consequences of the loss of foundation species: Surfgrass (*Phyllospadix* spp., Hooker) in tidepools. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 391: 35-42.

Silverberg, N., Aguirre, F., Aguíñiga, S. y Romero, N. (2006). Flujo vertical de materia particulada en la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, durante 2002. *Ciencias Marinas*, 32 (1A): 73-82

Soto-Mardones, L., Marioni, S.G. y Parés-Sierra, A. (1999). Variabilidad espaciotemporal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 25 (1): 1-30.

Suárez C., A. N. (2008). Fauna asociada a mantos de *Sargassum* (Ochrophyta: Fucales) en el Sauzoso, Baja California Sur, México. Tesis de maestría en ciencias en manejo de Recursos Marinos. CICIMAR-IPN.

Suárez C., A. N., Riosmena R., R., Rojo A., M., Torre C., J., Rioja N., R., Hudson W., A., Pfister, T., Hernández C., G., Hinojosa A., G., Aburto O., O. y Figueroa C., A. L., (2013). Bosques de algas pardas en el golfo de California: *Sargassum*, un hábitat esencial. *CONABIO. Biodiversitas*, 108: 12-16.

Vázquez-Hurtado, M., Maldonado-García, M., Lechuga-Devéze, CH., Acosta-Salmon, H. y Ortega-Rubio, A. (2010). Artisanal fisheries in La Paz Bay and adjacent oceanic area (Gulf of California, México), *Ciencias Marinas*, 36 (4): 433-444

Vázquez H., M., Manzano S., M. y Ortega R., A. (2011). Relación entre capturas de *Megapitaria squalida* (Bilvalvia: Veneridae) y la temperatura superficial del mar en la Bahía de la Paz, Baja California Sur, México.

Vázquez H., M.; Sanchez B., I. y Ortega-Rubio, A. (2011). Maricultura en la Bahía de La Paz, B.C.S., México: impacto socioeconómico de los cultivos de atún y camarón. *Estud. soc [online]*. vol.19, n.37, pp. 175-193

Viesca-Lobatón, C., Balart, E. F., González-Cabello, A., Mascareñas-Osorio, I., Aburto-Oropeza, O., Reyes-Bonilla, H., y Torreblanca, E. (2008). Peces arrecifales. *En* Gámez, A. E. (Ed.) Bahía de Los Ángeles: Recursos Naturales y Comunidad. Pronatura Noroeste AC, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, San Diego Natural History Museum. México DF, 385-427.

Villalejo-Fuerte, M. y Ochoa-Báez. R. I. (1993). El ciclo reproductivo de la almeja Catarina, *Argopecten circulares* (Sowerby, 1835), en relación con temperatura y fotoperiodo, en Bahía Concepción, B.C.S., México. *Ciencias Marinas*. 19 (2): 181-202.

Wells, R.J. y Rooker, J.R. (2004). Spatial and temporal patterns of habitat use by fishes associated with *Sargassum* mats in the Northwestern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 74: 81–99.

Wells, R.J. y Rooker, J.R. (2009). Feeding ecology of pelagic fish larvae and juveniles in slope waters of the Gulf of Mexico. *Journal of Biology* 75: 1719-1732

Young, E. (2001). State intervention and abuse of the commons: Fisheries development in Baja California Sur, Mexico. *Annals of the association of American geographers*. Vol. 91. No. 2. 283-306.

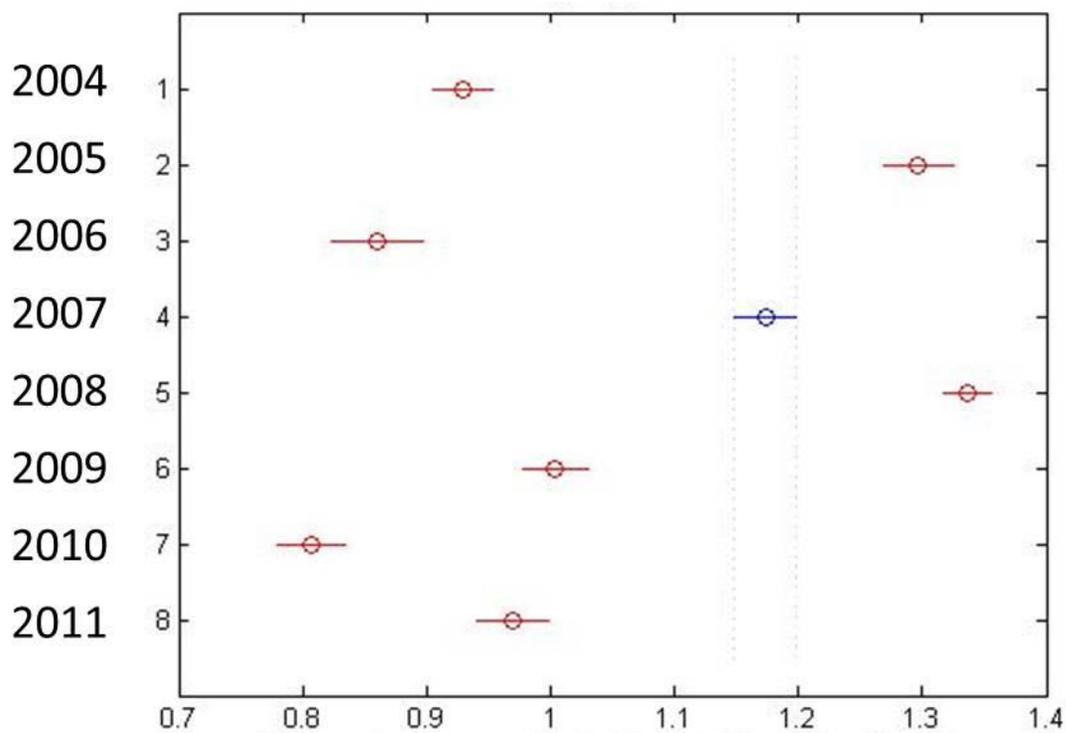
Zar, J. H. (2010). *Biostatistical Analysis*. 5 Edición. Pearson. EUA. 960 pp.

Anexo 1

Resultados del análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis para Bahía Concepción

Tabla 4 Análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis para Bahía Concepcion.

Kruskal-Wallis ANOVA Table					
Source	SS	df	MS	Chi-sq	Prob>Chi-sq
Groups	8.21583e+010	7	1.17369e+010	2085.23	0
Error	7.76766e+011	21793	3.56429e+007		
Total	8.58924e+011	21800			



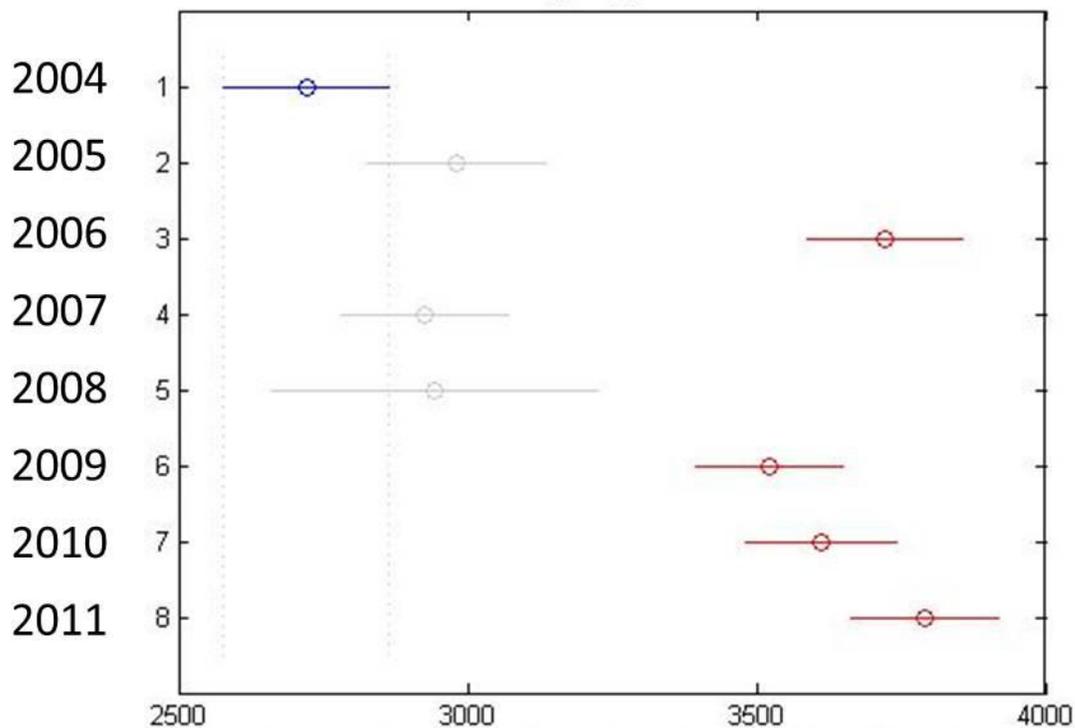
Comparación de los rangos promedio e intervalos de confianza para los años de estudio en Bahía Concepción

Anexo 2

Resultados del análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis para Bahía la Paz

Tabla 5 Análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis, para verificar la relación entre los años de estudio en cuanto a la distribución de *Sargassum* spp

Kruskal-Wallis ANOVA Table					
Source	SS	df	MS	Chi-sq	Prob>Chi-sq
Groups	1.05643e+009	7	1.50919e+008	283.07	2.48345e-057
Error	2.39892e+010	6704	3.57834e+006		
Total	2.50456e+010	6711			



Comparación de los rangos promedio e intervalos de confianza para los años de estudio en Bahía de La Paz.