



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



“EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA HISTÓRICA DE LOS BOSQUES
DE MACROALGAS EN PUNTA SAN MIGUEL: EL USO DE
PERCEPCIÓN REMOTA PARA INFORMAR CONSERVACIÓN”

T E S I S

QUE PARA CUBRIR LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE

LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA

ANDREA PAZ LACAVEX

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, JUNIO DE 2018.

DEDICATORIA

A mis padres, Tomás y Mónica.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

"EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA HISTÓRICA DE LOS BOSQUES DE
MACROALGAS EN PUNTA SAN MIGUEL: EL USO DE PERCEPCIÓN REMOTA
PARA INFORMAR CONSERVACIÓN"

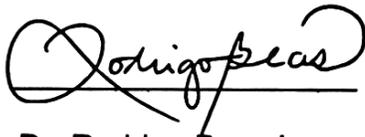
T E S I S

QUE PARA CUBRIR LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA

ANDREA PAZ LACAVEX

Aprobada por:



Dr. Rodrigo Beas Luna

Co-director



Dr. Julio Lorda Solorzano

Co-director



Dr. Hiram Rivera Huerta

Sinodal



Dr. Kyle Cavanaugh

Sinodal

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, JUNIO DE 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente

A mi director, Dr. Rodrigo Beas Luna, por contagiar esa curiosidad científica que se volvió clave en el inicio de mi vida académica e impulsarme a plasmar mis ideas en este proyecto. También, por estar dispuesto a apoyarme en todos los aspectos posibles a su alcance, siempre con paciencia y buen humor.

A mi co-director, Dr. Julio Lorda Solorzano, por su apoyo, comentarios y ánimos a lo largo de este proceso. Sus aportaciones contribuyeron a un mejor resultado de éste trabajo, así como a mi formación.

A mi tutor y sinodal, Dr. Hiram Rivera Huerta, por, desde primer semestre, haberme abierto las puertas. Por escucharme, apoyarme en mis proyectos y animarme a no "enconcharme". También, por haberme dado los primeros empujones hacia lo que se volvería una de mis principales aficiones, los Sistemas de Información Geográfica.

A mi sinodal, Dr. Kyle Cavanaugh y Dr. Tom Bell, por su apoyo y paciencia para llevar a cabo este proyecto y por siempre atender amablemente a mis múltiples dudas.

A la Universidad Autónoma de Baja California, por brindar espacios para una formación integral para el desarrollo de mi curiosidad científica desde temprana edad. Orgullosamente, mi *alma mater*.

Al personal administrativo de la Facultad de Ciencias Marinas. Especialmente al director, Dr. Juan Manuel Vaca Rodríguez, por su absoluto apoyo a lo largo de mi formación. Al Dr. Víctor Antonio Zavala Hamz, a quién acudí en repetidas ocasiones y siempre me atendió animosamente.

A la Facultad de Ciencias Marinas, por volverse mi segunda casa los últimos 4 años, y por tener el mejor "patio" de la Universidad: el mar y sus bellas vistas a la Cenicienta.

Al MExCAL, por volverse una parte fundamental de mi vida. A pesar de la evidente dependencia al café del Lab, siempre estaré orgullosa de formar parte de tan activo, diverso e ingenioso grupo de trabajo.

A los buzos *mexcalitos*: Fernanda, Eliot, Jeremie, Diana, por su valioso apoyo para llevar a cabo el monitoreo exitosamente.

Al Oc. Daniel Alberto Díaz Guzmán, técnico de MExCAL, por su valioso trabajo, apoyo y constantes ánimos a lo largo de este proceso.

Especial agradecimiento a:

A mis padres, Tomás y Mónica. Millones de gracias por fomentar y confiar, siempre con cariño, en mis capacidades y aspiraciones, por muy "temerarias" que parezcan.

A mis hermanos, David y Daniel, por no dejarme olvidar que siempre seré la chiquita. A mi tía Aurora, por sus consejos, compañía y apoyo para empezar desde 30. A mi prima Gloria, por sus valiosos comentarios en este trabajo, por su ejemplo y energía desde siempre. A mi cuñada Noemi, por escucharme y animarme en todo momento. A mis sobrinos Natalia Mandarina y Bruno Emiliano, por ayudarme a refrescar la mente y llenarme de alegría. A mis tíos Teddie y Toño. A toda mi familia, presentes y ausentes, por siempre impulsarme hacia adelante.

Y a todas las personas que me apoyaron directa e indirectamente, académica, emocional y recreativamente, para el desarrollo de este trabajo: H.M.G., Frida, Jorge, María, Jessica, Huerta, Silva, Itzel L., Itzel G., Martha, Walo, Fer A., Fer P., Gus, Caros, MLML.

También, agradezco a UC MEXUS-CONACYT Collaborative Grant CN 17-117, por la oportunidad de trabajar con esta base de datos. Al NPTC UABC-PTC-549, por la beca otorgada durante el semestre 2017-2. A la 19a. Convocatoria Interna 385, por financiar las aventuras subacúaticas de este proyecto. A EDF y PRODEP UABC-PTC-669 por el financiamiento para participar en el IX Simposio Internacional del Programa Mexicano del Carbono.

RESUMEN

Los bosques de *Macrocystis pyrifera*, son uno de los ecosistemas marinos con mayor biodiversidad y productividad en el mundo y proveen gran diversidad de servicios ecosistémicos como la pesca. Estos ecosistemas varían en respuesta a factores ambientales como el incremento en la temperatura del agua, tormentas, acidificación del océano, y especies invasoras, asociadas al cambio climático. Desafortunadamente, no existe suficiente información para entender que tan resilientes pueden llegar a ser estos ecosistemas para manejar sus recursos efectivamente. Este proyecto se enfocó en caracterizar, identificar y evaluar la dinámica histórica utilizando la biomasa y persistencia de *M. pyrifera* del bosque submarino de Punta San Miguel, Baja California (PSM). Se utilizó un algoritmo que integra imágenes satelitales multiespectrales (Landsat 5, 7 y 8) de los últimos 28 años con validaciones *in situ* de tallas y abundancia de *M. pyrifera* para estimar su densidad de biomasa. Además, se llevaron a cabo caracterizaciones submarinas con equipo SCUBA de la comunidad asociada a este bosque de macroalgas. Se utilizó esta información para identificar sitios dentro del bosque de PSM con mayor persistencia, biomasa y diversidad, para promoverlos como zonas de conservación prioritaria. Estos resultados muestran una persistencia de 17% y 396 kg de macroalgas húmedas por pixel (30x30m). PSM cuenta con una comunidad conformada por 9 especies de algas, 20 de peces y 23 de invertebrados. Se encontró que 90 de los 548 pixeles de PSM coinciden con los valores más altos de persistencia y biomasa. Sin embargo, no se pudo encontrar diferencias significativas en las comunidades dentro y fuera de estos pixeles. Estos resultados a pesar de su valor como primera aproximación, carecen de una comparación a diferentes escalas espaciales. A pesar de haber encontrado patrones interesantes para informar la identificación de zonas prioritarias de conservación, se recomienda realizar un análisis extensivo de los diferentes bosques de macroalgas de la región utilizando los métodos aquí descritos para calcular la biomasa, persistencia, y datos de diversidad de las comunidades asociadas. Finalmente, este trabajo muestra el valor de la integración de métodos novedosos y su potencial para impulsar estrategias de conservación y manejo adecuadas a ecosistemas tan variables, productivos y complejos en el contexto actual de cambio climático.

Palabras clave: Bosques de macroalgas, Percepción remota, *Macrocystis pyrifera*, Punta San Miguel, Conservación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	6
3. MÉTODOS.....	6
3.1. DESCRIPCIÓN DEL SITIO	6
3.2. BIOMASA.....	8
3.3. PERSISTENCIA.....	10
3.4. RELACIÓN ENTRE BIOMASA Y PERSISTENCIA	2
3.5. COMUNIDADES ASOCIADAS.....	2
3.6. ZONAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN	2
4. RESULTADOS.....	2
4.1. BIOMASA.....	2
4.2. PERSISTENCIA.....	6
4.3. RELACIÓN ENTRE BIOMASA Y PERSISTENCIA	8
4.4. COMUNIDADES ASOCIADAS.....	9
4.5. ZONAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN	10
5. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES.....	12
6. REFERENCIAS.....	16
7. ANEXOS.....	19
7.1. Anexo I. Script.....	19
7.2. Anexo II. Listado de especies asociadas a Punta San Miguel	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de macrolocalización de Punta San Miguel.....	7
Figura 2. Escenas Landsat 5, 7 y 8 que cubren las costas del sur de California y Norte de Península de Baja California	9
Figura 3. Mapa de distribución histórica de biomasa de macroalgas en Punta San Miguel 1989-2017.....	3
Figura 4. (a) Gráfica de promedio anual del bosque de macroalgas de Punta San Miguel. (b) Serie de tiempo de las anomalías de temperatura para Bahía Todos Santos (cortesía de José Antonio Martínez Alcalá)	5
Figura 5. Serie de tiempo de biomasa histórica por temporada de <i>Macrocystis pyrifera</i> es de Punta San Miguel estimada por medio de imágenes satelitales.....	6
Figura 6. Mapa de persistencia histórica del bosque de macroalgas de Punta San Miguel y sitios de monitoreo	7
Figura 7. Gráfica de regresión de datos de biomasa y persistencia promedio por píxel	9
Figura 8. Sitios potenciales de conservación prioritaria con base en la persistencia de biomasa de <i>M. Pyrifera</i> en Punta San Miguel. Los sitios en gris indican píxeles de coincidencia de máximos de biomasa y persistencia.....	11

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conteo de píxeles y superficie asociada a rangos de biomasa del bosque de macroalgas en Punta San Miguel.....	4
Tabla 2. Conteo de píxeles y superficie asociada a rangos de persistencia del bosque de macroalgas en Punta San Miguel.....	8
Tabla 3. Resultados del análisis de diversidad y similitud entre zonas efímeras y persistentes del manto de macroalgas de Punta San Miguel	10

1. INTRODUCCIÓN

Existen muchas evidencias de cómo la variabilidad de los disturbios ambientales recientes, derivados del cambio climático, han tenido un efecto drástico en la estabilidad de los ecosistemas naturales (Stocker *et al.*, 2013). Por ejemplo, las tormentas, el incremento en la temperatura del agua, pH, hipoxia, desarrollo costero y especies invasoras son algunos de los disturbios exacerbados por el cambio climático que afectan el equilibrio, estabilidad y resiliencia de los ecosistemas marinos costeros (Brynes *et al.*, 2011; Assis *et al.*, 2017, Kroeker *et al.*, 2013; Micheli *et al.*, 2012; Marks *et al.*, 2015;). La estructura y la función de los ecosistemas marinos del Pacífico Nororiental están sujetos a la influencia de los disturbios y su respuesta varía tanto en dirección como en magnitud (Bell *et al.*, 2015). Uno de los hábitats más productivos del planeta son los bosques de macroalgas estructurados por la “sequoia del mar” *Macrocystis pyrifera* (Graham *et al.*, 2007). Los efectos del cambio climático afectan directamente su distribución y abundancia y por lo tanto los servicios ecosistémicos que nos proveen (Ling *et al.*, 2009). La tecnología disponible de satélites presenta la oportunidad de generar información útil para promover mejores estrategias de manejo y conservación. Este trabajo se enfoca en evaluar la dinámica de la cobertura superficial de *Macrocystis pyrifera* en arrecifes templados para entender los efectos del cambio climático y con este esfuerzo generar información relevante para el manejo de estos ecosistemas tan complejos y productivos.

Macrocystis pyrifera, es un alga parda que crece hasta 0.6 metros por día y puede llegar hasta los 45 metros de longitud (Davis, 1991). Cuentan con rizoides para sostenerse de fondos predominantemente rocosos, y así, soportar los fuertes oleajes. De los rizoides, se observan estipes, a veces hasta cientos de ellos, que a su vez dan lugar a las frondas pardas características de los mantos que se observan en la superficie del mar. La época de reclutamiento y aumento de biomasa es al finalizar el invierno y durante la primavera y verano (Foster y Schiel, 1985). El desarrollo y crecimiento se ve afectado por una combinación de factores ambientales como es la disponibilidad de luz y nutrientes, disturbios por olas y temperatura, así como por herbívoros y procesos demográficos como dispersión, reclutamiento y competencia intraespecífica (Graham *et al.*, 2007).

Los bosques de macroalgas son ecosistemas altamente productivos y complejos. La macroalga *M. pyrifera* es formadora de hábitat biogénico para una gran diversidad de especies que la utilizan como refugio, zonas de reproducción, alimento y desarrollo (Carr y Reed 2015). Hasta hoy, se han identificado alrededor de 800 especies de mamíferos,

aves, peces, invertebrados y otras algas asociados a este ecosistema. También, se han descrito más de 3600 interacciones entre especies, incluyendo interacciones tróficas, de competencia y parasitismo (Beas-Luna *et al.*, 2014). *Macrocystis pyrifera*, además de estructurar los bosques de macroalgas, también es responsable de una gama de servicios ecosistémicos que incluyen la protección de la costa, turismo y principalmente pesquerías ribereñas de alto valor económico.

El abulón, langosta, erizo, caracol y pepino de mar son algunas de las especies asociadas a los bosques de macroalgas de gran valor comercial (Ojeda-Ruiz de la Peña & Ramírez-Rodríguez, 2012). De acuerdo a la Carta Estatal Pesquera, estos organismos son los productos con mayor precio y exportación en el estado de Baja California (DOF, 2010). La extracción de estos productos ha sustentado económicamente a las comunidades de pescadores ribereños por más de 70 años (McCay, 2017). Sin embargo, estas pesquerías son altamente vulnerables a los disturbios recientemente ocasionados por los efectos del cambio climático. Por ejemplo, en 2009 se reportó un evento extremo de hipoxia que provocó una mortalidad masiva de abulones en el pacífico de Baja California (Micheli *et al.*, 2012). Este aumento en la frecuencia e intensidad de tormentas, eventos de hipoxia y calentamiento del agua ha generado incertidumbre en el manejo de los recursos asociados a los bosques de macroalgas (Finkbeiner, 2018). Por lo tanto, entender los patrones históricos de los bosques de macroalgas es de gran importancia para informar mejores planes de manejo ante condiciones de cambio climático.

Fenómenos como El Niño (ENSO), son eventos que disminuyen la disponibilidad de nutrientes y aumentan la frecuencia y la intensidad de tormentas que llegan a devastar bosques completos, algunos tardando años en reaparecer (Edwards, 2004). En el Panel Intergubernamental ante el Cambio Climático (2013) se ha sugerido que este tipo de fenómenos naturales, agravados por factores antropogénicos, serán más severos a medida que la temperatura media del mar aumente, lo cual es probable que dificulte la dinámica natural de los bosques de macroalgas y comprometa la estabilidad de algunas comunidades costeras (Cavanaugh *et al.*, 2014). Por lo tanto, la relevancia de entender la dinámica espacio-temporal de *M. pyrifera* en el contexto de cambio climático.

Además de los forzamientos climáticos que sufren los bosques de macroalgas, también se ven directamente afectados por estresores locales, como la sobreexplotación de sus recursos. Se ha mostrado que la sobrepesca reduce la resiliencia de los bosques de macroalgas causando cascadas tróficas (Ling *et al.*, 2009). Algunos organismos que se

pescan como la langosta, son controladores biológicos de herbívoros como los erizos de mar, lo cual conlleva a un crecimiento desmedido de estas poblaciones (e.g. la extracción de langostas; Ling *et al.*, 2009, Lafferty 2004). En consecuencia, con la repetición de disturbios ambientales aunados a la pesca, la complejidad del ecosistema disminuye y con ella la estabilidad y sostenibilidad de las pesquerías. Sin embargo, se ha comprobado que implementar acciones de manejo como reservas marinas, vedas y tallas mínimas de captura contribuye a la resiliencia de los ecosistemas y los servicios ambientales que proveen a los humanos.

En 2007 California decretó una red de reservas marinas a lo largo de sus costas con 6 objetivos claros: ayudar a la protección de especies clave de las pesquerías, así como su papel dentro de la estructura y función del ecosistema que habitan; conservar los ecosistemas en los que estas especies se desarrollan; apoyar al desarrollo de actividades no extractivas en áreas marinas, como el ecoturismo; y la creación de zonas no afectadas para estudios científicos que apoyen la mejora, manejo y conservación de estos recursos (Saarman *et al.*, 2013). Uno de los ecosistemas que integran esta red de reservas son los bosques de macroalgas, gracias al reconocimiento de sus atributos por parte del gobierno y la sociedad. Desafortunadamente, en ese entonces este esfuerzo no se extendió hasta las costas de Baja California a pesar de que muchas poblaciones de especies marinas están altamente conectadas.

En Baja California, sólo algunas cooperativas pesqueras, han destinado voluntariamente zonas de refugio pesquero. Estas zonas tienen como objetivo la recuperación de la producción de especies objetivo, refugio para reproductores y fuente para repoblamiento de zonas aledañas (MacCay 2017). Uno de los ejemplos más claros, es la cooperativa de Isla Natividad, que desde la asignación de zonas de no pesca, ha encontrado la capacidad de adaptarse a la variabilidad ambiental. Por ejemplo, Micheli (*et al.*, 2012) encontraron abulones de tallas y capacidad reproductiva mayores dentro de las reservas marinas. Sin embargo, estos ejemplos de manejo son locales y muy escasos. Por lo tanto, se requiere de una integración de información detallada de los ecosistemas costeros a lo largo de la costa para generar un marco de referencia y plantear una posible extensión de la red de reservas de California en Baja California (Arafeh-Dalmau *et al.*, 2017).

Dentro del marco nacional, el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, el adecuado manejo y conservación de los recursos marinos es prioridad. Bajo la Estrategia 4.4.4

“Proteger el patrimonio natural, el incrementar la superficie del territorio nacional bajo modalidades de conservación, buenas prácticas productivas y manejo regulado del patrimonio natural”, en 2016 se protegieron 1,091,083-35-49.84 hectáreas de superficie marina por medio del decreto de la Reserva de la Biósfera de las Islas del Pacífico de la Península de Baja California. Así, se protege por primera vez a nivel federal el ecosistema de bosques de arrecifes templados. No obstante, los esfuerzos de conservación y manejo sustentable de estos ecosistemas deben de continuar para el diseño de los planes de manejo e implementación de acciones de conservación.

Para desarrollar un plan de manejo exitoso en el contexto de cambio climático es indispensable localizar zonas de conservación prioritarias. Para Baja California, la producción pesquera ribereña está altamente asociada a los bosques de *M. pyrifera*. Por lo tanto, estudiar la dinámica de estos bosques a largo plazo, puede ayudar a localizar sitios de importancia ecológicas. Esta información tiene el potencial de impulsar la conservación y manejo adecuado de estos recursos por medio del entendimiento de los mecanismos que actúan sobre la cobertura y biomasa de *M. pyrifera* y de la variabilidad y abundancia de las especies asociadas a esta comunidad.

Una de las herramientas utilizadas para compensar la escasez de información espacial a largo plazo son los sistemas de información geográfica. Se han realizado estudios para evaluar la dinámica de las poblaciones de macroalgas por medio de fotointerpretación de imágenes satelitales y captura de datos en campo en las costas de California, E.U.A. (Cavanaugh, 2011; Cavanaugh *et al.*, 2013). Se encontró que a escalas grandes (1.3-172 kilómetros), la dinámica corresponde a factores físicos, sugiriendo que la variabilidad ambiental regional en la intensidad y altura del oleaje domina el comportamiento de estas comunidades. Al mismo tiempo, el aumento en la frecuencia y severidad de las tormentas tendrán como consecuencia ecosistemas menos diversos, redes tróficas menos complejas con menos relaciones entre las especies (Byrnes *et al.*, 2011).

Los bosques de macroalgas presentan una distribución heterogénea dentro de un mismo parche. Existen zonas que son más persistentes que otras, muchas veces reduciendo su biomasa hasta un núcleo semipermanente (Foster y Schiel, 1985). Los bosques de macroalgas se distinguen por desarrollarse en condiciones ambientales muy variables. Se sugieren estos lugares como prioritarios, ya que de acuerdo a la hipótesis de disturbio intermedio de Connell (1978), ecosistemas con perturbaciones intermedias

cuentan con altos niveles de riqueza y abundancia de especies. Se espera que aquellas zonas persistentes y con alta biomasa presenten una mayor riqueza y abundancia de especies por su característica de refugio.

Los arrecifes rocosos de Baja California se encuentran dentro de los límites sur de distribución de los arrecifes rocosos templados dominados por bosques de macroalgas estructurados por *Macrocystis pyrifera*. Por estar en su límite sur de distribución, los hace especialmente interesantes para entender los efectos del cambio climático en su estructura y función. Además, de toda la distribución de este ecosistema, los bosques de macroalgas de Baja California son los que han recibido menos atención. Una de las zonas con mayor relevancia por su importancia económica es la Bahía de Todos Santos (BTS).

De acuerdo a la Carta Estatal Pesquera (2015) los 5 productos principales que se explotan en Baja California incluyen: abulón, camarón, langosta, erizo y pulpo. La mayoría de estos organismos se asocian con hábitats de bosques de macroalgas. Una de las zonas relevantes de captura dentro de BTS es Punta San Miguel (PSM). Dominado por un sustrato rocoso, da lugar a un volumen considerable de organismos de importancia comercial para exportación. También, se ha destacado por ser un sitio estudiado previamente por instituciones universitarias. A pesar de su historia pesquera y académica, no se ha caracterizado claramente la dinámica histórica de su bosque de macroalgas y las pesquerías asociados a estos.

La ubicación espacial de las zonas persistentes de bosques de macroalgas es desconocida para la Bahía Todos Santos. Normalmente se requiere monitoreo *in situ* a largo plazo para definir su localización geográfica. Localizarlas, coadyuvaría a la conservación de la biodiversidad y resiliencia de estos ecosistemas y de sus recursos pesqueros para, a largo plazo, lograr que estas actividades económicas se sigan llevando a cabo fuera de ellos.

Este trabajo pretende estimar la dinámica del bosque de macroalgas de Punta San Miguel (PSM) en Baja California, como un primer acercamiento para identificar zonas prioritarias de conservación. Particularmente, este trabajo se enfoca en responder 1) ¿cuál es la dinámica de la biomasa de los bosques de macroalgas en PSM?, 2) ¿existen zonas con mayor persistencia dentro de este bosque? 3) ¿hay diferencias de biomasa en zonas con persistencia similar? 4) ¿se pueden identificar características en la comunidad

dentro y fuera de zonas persistentes? y 5) ¿dónde se encuentran estos sitios persistentes en PSM?

2. OBJETIVOS

General

Caracterizar, identificar y evaluar la dinámica de bosques de *M. pyrifera* en PSM.

Específicos

- Estimar la variabilidad espacial y temporal de la biomasa de *M. pyrifera* en PSM
- Identificar y caracterizar la persistencia de *M. pyrifera* en PSM.
- Evaluar la relación entre biomasa y persistencia del bosque de macroalgas de PSM.
- Caracterizar las comunidades asociadas a zonas persistentes y efímeras en PSM
- Identificar zonas prioritarias de conservación dentro del bosque de macroalgas de PSM

3. MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DEL SITIO

Punta San Miguel se encuentra en el km 98 de la carretera Tijuana-Ensenada, con el límite de coordenadas 3,529,365-3,531,015 mE Y 52,4115-52,294 mN (Figura 1). La costa no protegida, dominada por intermareal rocoso de material basáltico, presenta una pendiente aproximada de 23% (García-Pámanes y Chee-Barragán, 1976) y fuera del efecto térmico generado dentro de Bahía Todos Santos (Morales, 1977). El arrecife rocoso submareal de PSM se caracteriza por la presencia de un bosque de macroalgas de *M. pyrifera*. Este bosque se encuentra en el límite norte de Bahía Todos Santos, y gracias a su ubicación, no se ve afectado directamente por las descargas de aguas residuales de la zona urbana e industrial.

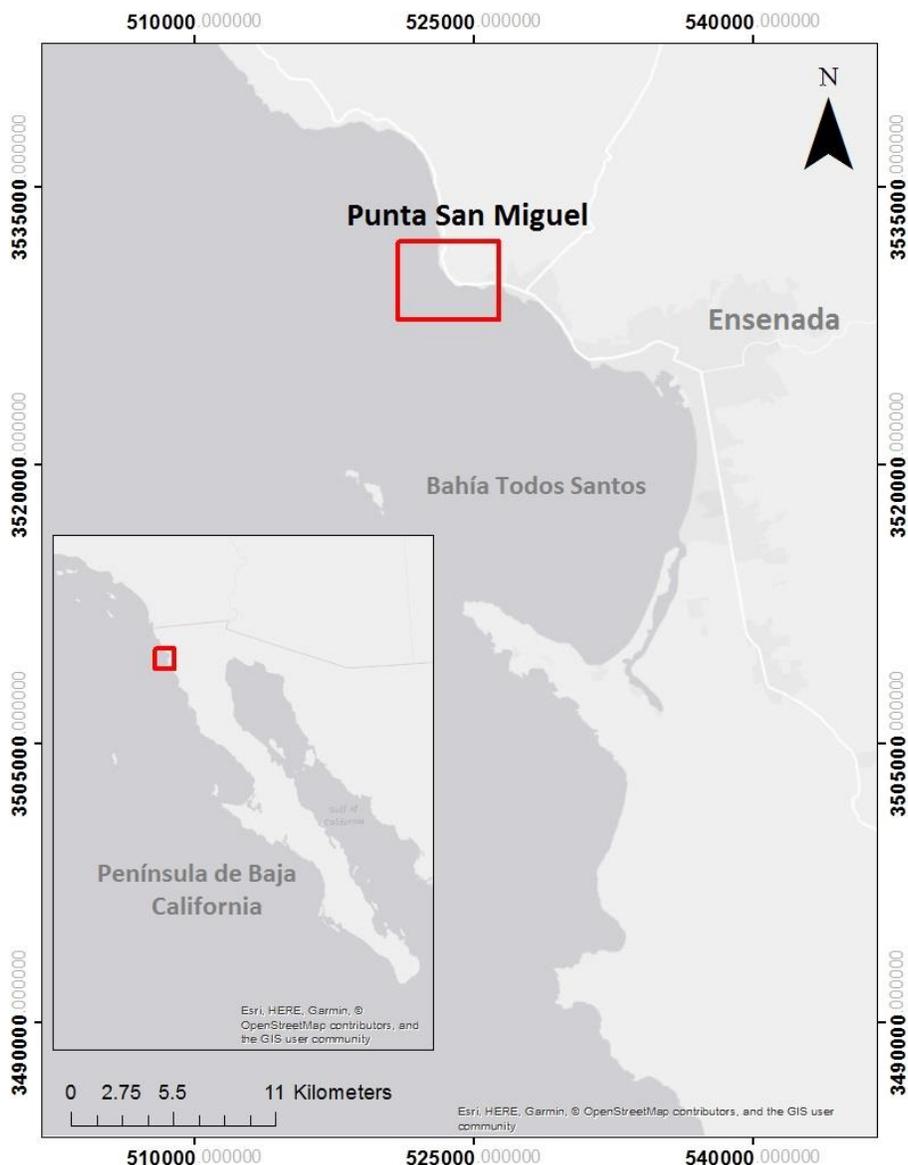


Figura 1. Mapa de macrolocalización de Punta San Miguel

Entre 2004 y 2015, se registraron 432 arribos de 58 permisionarios asociados al arrecife de PSM (Datos proporcionados oficialmente por la Secretaría de Pesca y Acuicultura de Baja California). Además de los organismos de alto valor comercial como el erizo y pepino de mar, en PSM también se pueden encontrar almejas, baqueta, berrugata, bonitos, cabrilla, calamar, caracol, cazón, corvina, guachinango, jaiba, jurel, lisa, macarela, mero, mojarra, pargo, raya y tiburón. La gran mayoría de estas especies, están estrechamente asociadas a las comunidades de los bosques de *M. pyrifera*. Por consiguiente, el estudio de la dinámica poblacional de esta especie de macroalga es

relevante para informar un mejor manejo y conservación de estas especies de importancia comercial.

Actualmente, se cuentan con 19 permisionarios de la zona, con un total de 240 pescadores en 80 embarcaciones, las cuales desembarcan desde Muelle del Sauzal y Muelle del Mercado Negro (Datos proporcionados oficialmente por la Secretaria de Pesca y Acuicultura de Baja California). Apenas con una explotación actual de 12 de sus 29 especies potenciales, Punta San Miguel representa una zona de importancia en la región de BTS, debido al valor de su producción, así como la fuente de trabajo que representa.

Por otro lado, aparte de ser hábitat biogénico para un gran porcentaje de las especies explotadas, *M. pyrifera* es en sí una de ellas. Aunque desde 2005 el barco "Sargacero" dejó de operar, la extracción artesanal ha mantenido a flote éste mercado en la Península. Para el periodo de 2005-2010, se registró el 71% de la extracción en el litoral del Pacífico, del cual el 63% fue aportado por flotas ribereñas (DOF, 2012). Con apenas un promedio de 30,000 toneladas anuales, se considera un recurso subexplotado. PSM tiene un registro promedio de 74 toneladas anuales por medio de macheteo entre 2010 y 2015. En la actualidad no se considera una actividad significativamente maligna para el bosque de macroalgas (DOF, 2012). Un duplicado de la media registrada para la Península llevaría a una explotación no sustentable del recurso y a un desequilibrio de las redes de este complejo ecosistema.

Por su producción, características del arrecife, cercanía con Ensenada, importancia ecológica y asilamiento parcial de descargas, PSM es un sitio ideal para llevar a cabo el presente trabajo. Se considera que PSM es una buena base para la aplicación de metodología que posteriormente se espera reproducir en BTS y el resto de la Península de Baja California.

3.2. BIOMASA

Para calcular la biomasa de macroalgas, se utilizó la firma espectral de su dosel en cada uno de los pixeles del bosque de PSM. Esto se realizó a partir de la combinación de bandas de satélites multiespectrales que coincidieran con las tonalidades de radiación reflejadas por el bosque de macroalgas en diferentes estados de desarrollo. De acuerdo a la metodología presentada por Cavanaugh y colaboradores (2010), se utilizó la banda verde (500-590 nm), rojo (610-680 nm), infra-rojo cercano (780-890 nm) e infra-rojo medio (1580-1730 nm). También, diseñaron un algoritmo para generar estimaciones de biomasa

de *M. pyrifera* a partir datos *in situ* de densidad. En este proyecto se aplicó este algoritmo para evaluar cada imagen satelital del área de estudio.

Se utilizaron imágenes satelitales multiespectrales Landsat 5, 7 y 8, disponibles desde abril de 1989, hasta noviembre del 2017. Las imágenes corresponden a la escena que cubre la zona de BTS con número de identificación #039038 (Figura 2). Cuentan con una extensión de 185 kilómetros de lado, una resolución de 30 metros por pixel, un rango espectral de 0.45 – 2.35 micrómetros en las bandas 1,2,3,4,5, y 7. También contempla una elipse alrededor de la Tierra en 16-18 días, obteniendo imágenes del mismo sitio con esa frecuencia (GLCF, 2016). Solamente se utilizaron los datos de los pixeles que presentaron macroalgas 5 veces o más a lo largo del tiempo evaluado. La escena que se utilizó es consistente cada 1-2 meses ya que las imágenes con condiciones meteorológicas adversas, como oleaje y nubosidades, se descartaron.



Figura 2. Escenas Landsat 5, 7 y 8 que cubren las costas del sur de California y Norte de Península de Baja California

Los valores de longitud y latitud se desplegaron en el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator para la zona 11 Norte con el Datum de referencia WGS 1984. Los valores de biomasa se representaron en kilogramos húmedos.

A partir del polígono generado entre las coordenadas 3,529,365-3,531,015 mE Y 52,4115-52,294 mN, se extrajeron los valores de biomasa de *M. pyrifera* para PSM y generar un mapa de biomasa histórica. Para ello, se promedió la biomasa encontrada para cada par de coordenadas a lo largo de todas las imágenes disponibles. Se extrajeron del conteo aquellos pixeles que presentaran alguna clase de obstrucción y resultara en una celda con valor "NaN". Con el *software* ArcMap 10.2, se proyectaron los pares de coordenadas de cada pixel como puntos y se agregó manualmente la dimensión del pixel. A partir de la herramienta *Natural Breaks*, se dividieron los valores de biomasa en 10 categorías y se utilizó una rampa de colores para su fácil interpretación en el mapa a desplegar.

Para estimar la variabilidad temporal de biomasa, se calculó la media por estación para cada año. Se consideró diciembre, enero y febrero como invierno; marzo, abril y mayo como primavera; junio, julio y agosto como verano; y septiembre, octubre y noviembre como otoño. Esto con base en la estacionalidad observada en las condiciones ambientales de la región y su posible influencia en el bosque de macroalgas.

3.3. PERSISTENCIA

Para identificar y caracterizar la persistencia de *M. pyrifera* en PSM, se utilizaron los datos de presencia y ausencia de macroalgas por pixel a lo largo de la línea de tiempo evaluado en PSM. Se utilizó el *software* abierto R Studio, ligado al repositorio que se presenta en el Anexo I para el desarrollo de este análisis. Se tomó en cuenta la cantidad de observaciones de macroalgas por pixel, ceros (que indica ausencia real) y NaNs, para generar un porcentaje de persistencia histórica (1).

(Ecuación 1)

$$\rho = \frac{\alpha}{\beta - \mu}$$

Donde ρ es el porcentaje de persistencia histórica por pixel, α es el número de pixeles con presencia de macroalgas, β es el número total de imágenes utilizadas y μ el número de NaNs por par de coordenadas.

Para generar el mapa de persistencia histórica se utilizaron los valores calculados con la ecuación 1 para cada pixel. Se desplegaron los pares de coordenadas en el *software* ArcMap 10.2. Se clasificaron los valores en 7 categorías con la herramienta *Natural Breaks*, y se reflejaron en rampa de colores.

3.4. RELACIÓN ENTRE BIOMASA Y PERSISTENCIA

Para entender la dinámica histórica del bosque de macroalgas de PSM se relación entre biomasa y persistencia de *M. pyrifera* en cada uno de los pixeles. Se utilizaron los valores calculados en la sección 4.2 y 4.3 de biomasa promedio y persistencia histórica. Se calculó el coeficiente de correlación entre estos valores y se graficaron en un diagrama de dispersión

3.5. COMUNIDADES ASOCIADAS

Para caracterizar las comunidades asociadas a las zonas persistentes del bosque de macroalgas de PSM y compararlas con zonas efímeras, se realizó un monitoreo submarino con equipo SCUBA. Se evaluaron 4 sitios: dos correspondientes a pixeles dentro de las dos categorías superiores de persistencia, distribuidos en el extremo norte y sur; y dos correspondientes a pixeles dentro de las dos categorías inferiores de persistencia, distribuidos aleatoriamente, uno en el norte, y uno en el sur.

Los datos de la comunidad asociada a los bosques de macroalgas de PSM se recopilaron mediante censos submarinos estandarizados por el grupo Monitoreando Ecosistemas a través de las Californias (MExCAL). Se utilizaron tres transectos de banda de 30 x 2 m con el centro en las coordenadas de cada sitio. El primer y segundo transecto se llevaron a cabo en dirección perpendicular a la costa hacia el norte y hacia el sur, y el tercero en dirección hacia la costa. En cada transecto, se midió la abundancia y la talla de algas, invertebrados y peces.

Además de los censos de algas, invertebrados y peces, también se caracterizó el substrato mediante transectos de Punto de Contacto Uniforme (PCU). En los transectos PCU, los buzos colectaron datos del tipo de substrato, pendiente y que tipo de organismo se encontraba adherido en cada metro de un transecto de 30 m. El substrato puede estar caracterizado por el tipo y tamaño de la roca. Por ejemplo, canto rodado, cama de roca, arena o grava. También, se colecta el dato de aquello que se encuentra fijado al sustrato. Por ejemplo, esponjas, algas rojas incrustantes, briozoarios, etc.

A partir de los monitoreos, se calculó el índice de biodiversidad de especies y el coeficiente de similitud para describir y comparar las comunidades en la zona persistente (núcleo) y efímera. Para lograrlo, se utilizó el listado y conteo de algas, peces e invertebrados, y se creó una sumatoria de los 6 transectos en la zona persistente y zona efímera. En el caso de las algas, no se consideró *M. pyrifera* dentro de los cálculos ya que se considera como la estructuradora del hábitat y dominante en el ecosistema.

Para evaluar la diversidad y equidad de especies de los diferentes grupos, se utilizó el Índice de Shannon-Weiner = H' (2). H' será máximo (H'_{max}) al calcular el logaritmo natural del número de especies. La cercanía de H' con H'_{max} , indicará la clase de distribución de los organismos dentro de la comunidad; entre más cercano el valor de H' a H'_{max} , mayor equidad en la proporción de organismos por especie.

(Ecuación 2)

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i) \ln(p_i)$$

Donde H' se refiere al índice de Shannon-Weiner, p_i es la abundancia proporcional de la i ésima especie sobre el número total de individuos para todas las S especies.

Se utilizó el coeficiente de comunidades de Sorensen = CC (3) para evaluar la similitud de las comunidades persistente y efímera. Éste coeficiente representa el porcentaje de especies que se repiten en los dos listados de especies. Se utilizó para evaluar la similitud entre las comunidades de algas, peces, invertebrados y el total de las dos zonas. Los valores van de 0 a 1, siendo valores cercanos a 0 sitios de baja coincidencia, y valores cercanos a 1, comunidades significativamente similares y 1 si son iguales.

(Ecuación 3)

$$CC = (2c)/(S_1+S_2)$$

Donde CC es el Coeficiente de similitud de Sorensen, $2c$ es el número de especies en común entre la comunidad 1 y la comunidad 2, S_1 es el número de especies en la comunidad 1 y S_2 es el número de especies en la comunidad 2.

3.6. ZONAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN

Para identificar zonas prioritarias para la conservación dentro del bosque de macroalgas de PSM se integraron los datos históricos de biomasa y persistencia de *M. pyrifera* aunado a los datos del monitoreo ecológico. Primero, con el *software* ArcMap 10.2, se identificaron pixeles que coincidieran con valores máximos de biomasa y persistencia. Se consideraron valores máximos a las dos categorías superiores de cada variable, definidas en la sección 4.2 y 4.3. Posteriormente, se generó un mapa del arrecife con los grupos de pixeles que coincidieran con éstas características .

A partir de la caracterización de las comunidades dentro y fuera del núcleo, se tomó en consideración los resultados de la sección 4.5. Esto, con el objetivo de decidir si la zona definida como núcleo cumple con las características suficientes como prioritaria para la conservación, es decir, una mayor abundancia de especies en comparación con la zona efímera.

4. RESULTADOS

4.1. BIOMASA

Se estimó la variabilidad espacial y temporal de la biomasa de *M. pyrifera* en PSM a partir de imágenes satelitales de los últimos 28 años. Se encontraron 38,596 pixeles con presencia de macroalgas a través de 590 escenas. Con 548 pixeles el bosque de macroalgas equivale a una superficie máxima de 493,200 m². El bosque de macroalgas de PSM cuenta con biomasa entre 24 y 1001 kg de macroalgas húmedas por pixel, con una media de 396 kg.

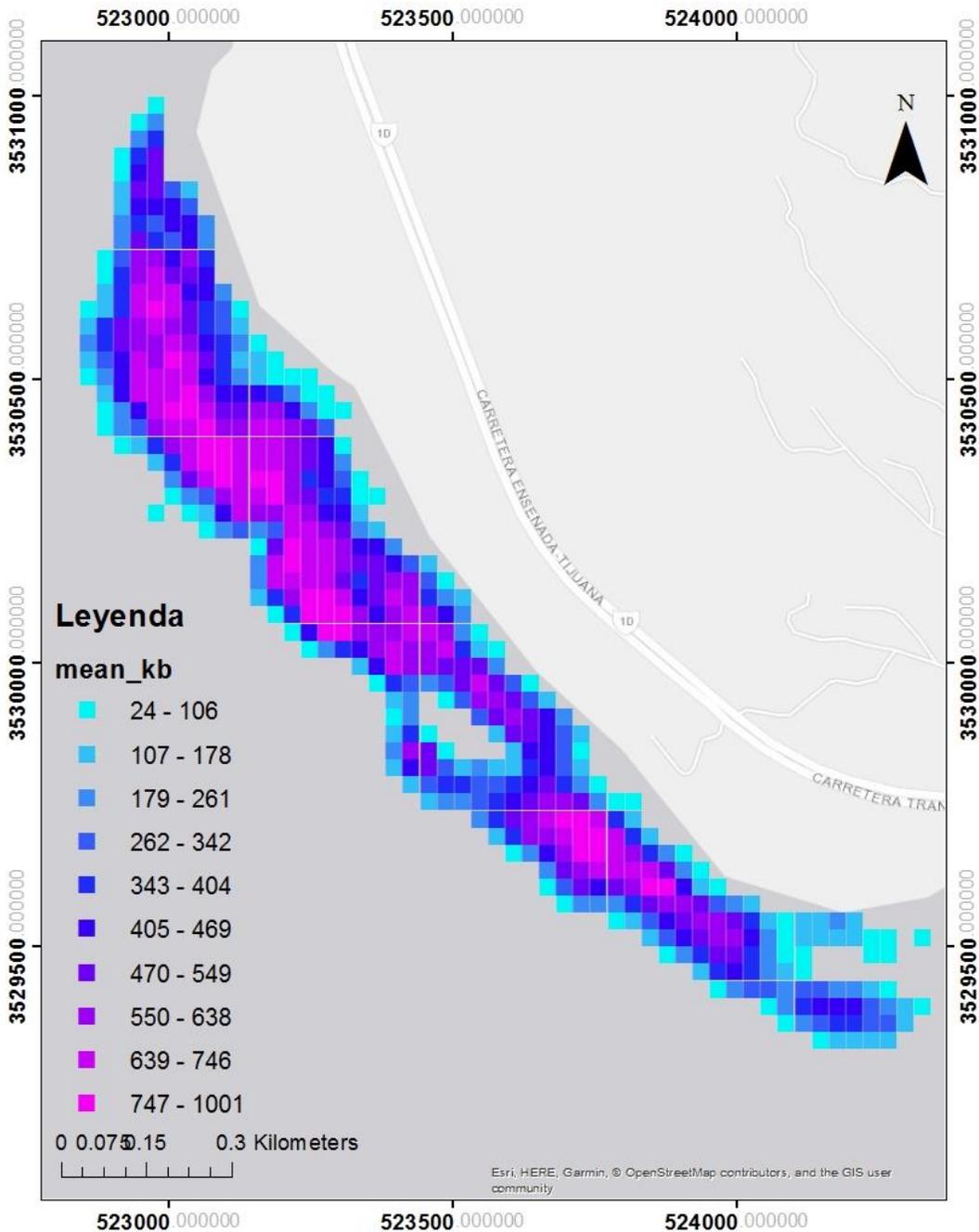


Figura 3. Mapa de distribución histórica de biomasa de macroalgas en Punta San Miguel 1989-2017

Se generó un mapa para demostrar la distribución histórica de la biomasa que el bosque de macroalgas presenta. Con una distribución semiradial, los pixeles con mayor biomasa se encuentran en el centro del parche y en sentido descendente hacia las periferias del mismo (Figura 3). Esta forma de núcleo se considera relevante ya que

muchos organismos utilizan las estructuras que forman las algas como refugio en etapas larvales y parte de su desarrollo. En la Tabla 1, se observa el conteo de pixeles asociado a los diferentes rangos de biomasa presentados en el mapa, así como su equivalente en m².

Tabla 1. Conteo de pixeles y superficie asociada a rangos de biomasa del bosque de macroalgas en Punta San Miguel.

Rango de biomasa	# pixeles	Superficie (m²)
24-106	70	63000
107-178	59	53100
179-261	60	54000
262-342	42	37800
343-404	49	44100
405-469	54	48600
470-549	53	47700
550-638	64	57600
639-746	66	59400
747-1001	31	27900
	548	
Desviación estándar	11.80	
Superficie total		493200

Con base en las imágenes satelitales, se generó una línea del tiempo de la biomasa del parche a lo largo de los años (Figura 4a). Claramente, PSM cuenta con una distribución de biomasa altamente dinámica. Eventos como el Niño (1992, 1998, 2002), se reflejan en una reducción considerable de la biomasa en años posteriores. En 2016, cuando la onda de calor conocida como BLOB (Cavole *et al.*, 2016) llega a las costas de

BTS, el bosque de macroalgas de PSM desaparece por completo, reapareciendo hasta la primavera siguiente.

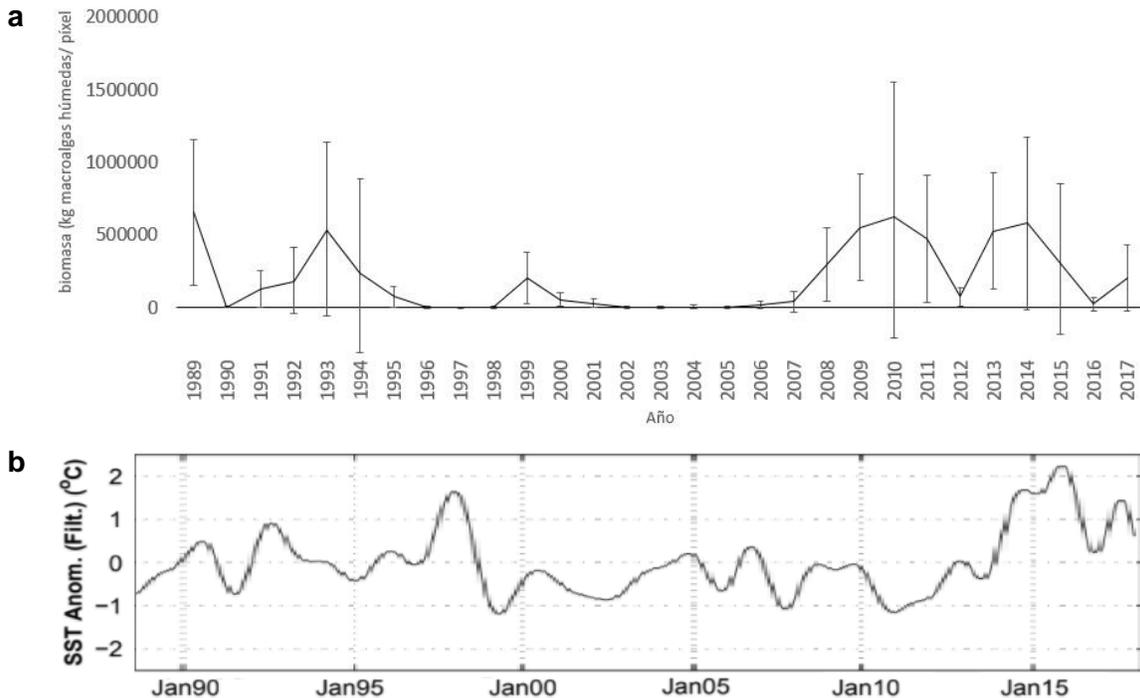


Figura 4. (a) Gráfica de promedio anual del bosque de macroalgas de Punta San Miguel. (b) Serie de tiempo de las anomalías de temperatura para Bahía Todos Santos (cortesía de José Antonio Martínez Alcalá)

Al comparar los valores de biomasa históricos (Figura 4a) con las anomalías de temperatura identificadas para BTS a través de imágenes satelitales (Figura 4b), se observa una relación inversamente proporcional entre la anomalía positiva de temperatura y la biomasa. A mayor temperatura, menor biomasa. Esta proporción no necesariamente se cumple con anomalías de temperatura negativa, normalmente asociadas a aguas frías, ricas en nutrientes y en donde se esperaría un aumento significativo de biomasa.

Se observó que existe una variabilidad de biomasa interanual a partir de la diferenciación de temporadas (Figura 5). Durante el verano, se presenta la mayor biomasa, con una media de 426,370 kg macroalgas húmedas por pixel. En invierno, se presenta una reducción considerable, la mayoría de las veces hasta valores de cero. Los periodos donde no se encuentran datos, principalmente en invierno, se debe a que las condiciones meteorológicas impidieron la obtención de imágenes útiles para su análisis (eg. oleaje, nubosidad y lluvia).

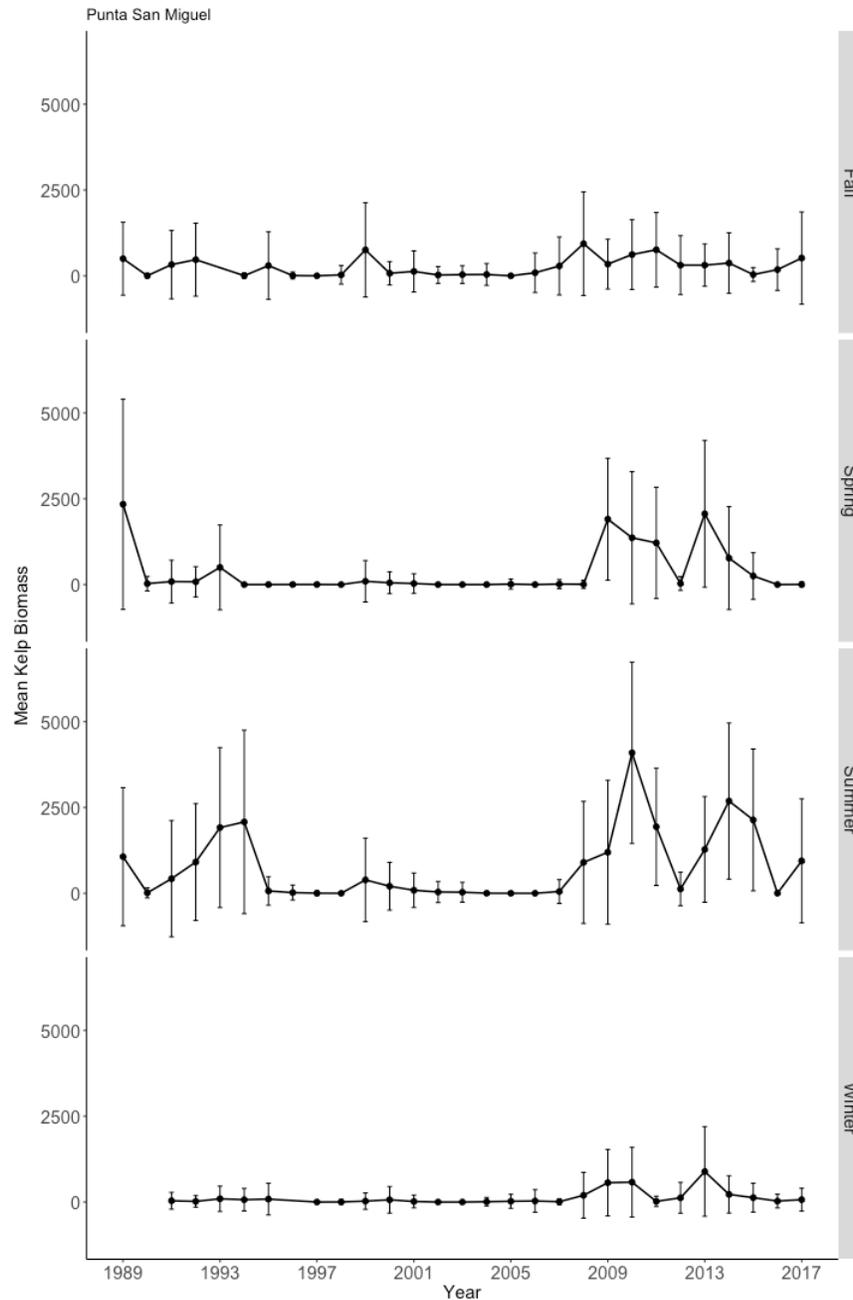


Figura 5. Serie de tiempo de biomasa histórica por temporada de *Macrocystis pyrifera* es de Punta San Miguel estimada por medio de imágenes satelitales.

4.2. PERSISTENCIA

De acuerdo a lo esperado, existen zonas persistentes en PSM. Se observa por medio de rampa de colores porcentajes de persistencia entre 1.86% y 37.58% con una media de 17% de los últimos 28 años (Figura 6). La mayor persistencia se encuentra en el

centro del parche, al igual que la biomasa. A este sitio se le considera como una zona núcleo, es decir una zona que resiste a pesar del efímero bosque a su alrededor. En el En la Tabla 2, se observa el conteo de pixeles asociados a los diferentes rangos de persistencia presentados en la Figura 6, así como la superficie equivalente en m². La zona más persistente, con un rango entre 28-38% alcanza una superficie de 68,400 m², es decir un 12.9% de la superficie total.

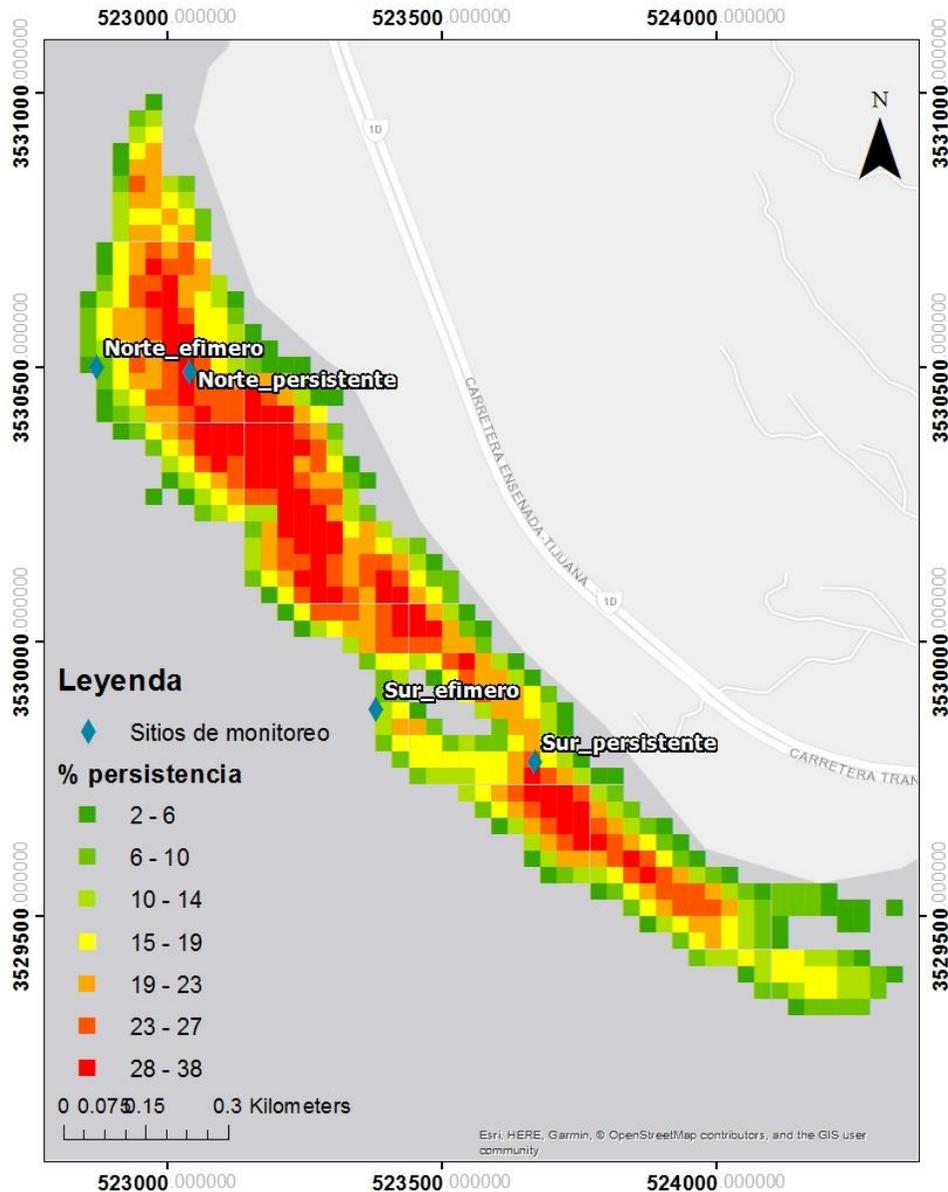


Figura 6. Mapa de persistencia histórica del bosque de macroalgas de Punta San Miguel y sitios de monitoreo

Tabla 2. . Conteo de pixeles y superficie asociada a rangos de persistencia del bosque de macroalgas en Punta San Miguel.

Rango de persistencia	# pixeles	Superficie (m²)
2-6%	64	57600
7-10%	73	65700
11-14%	76	68400
15-19%	83	74700
20-23%	96	86400
24-27%	80	72000
28-38%	76	68400
	548	
Desviación estándar	9.84	
Superficie total		493200

4.3. RELACIÓN ENTRE BIOMASA Y PERSISTENCIA

Para evaluar la relación entre biomasa y persistencia se calculó el coeficiente de correlación de estas dos variables. Se encontró que ambas se relacionan fuertemente con un valor de 0.96 (Figura 7). Este resultado apoya el supuesto de que, históricamente la zona núcleo es la más persistente, así como la más productiva en términos de biomasa.

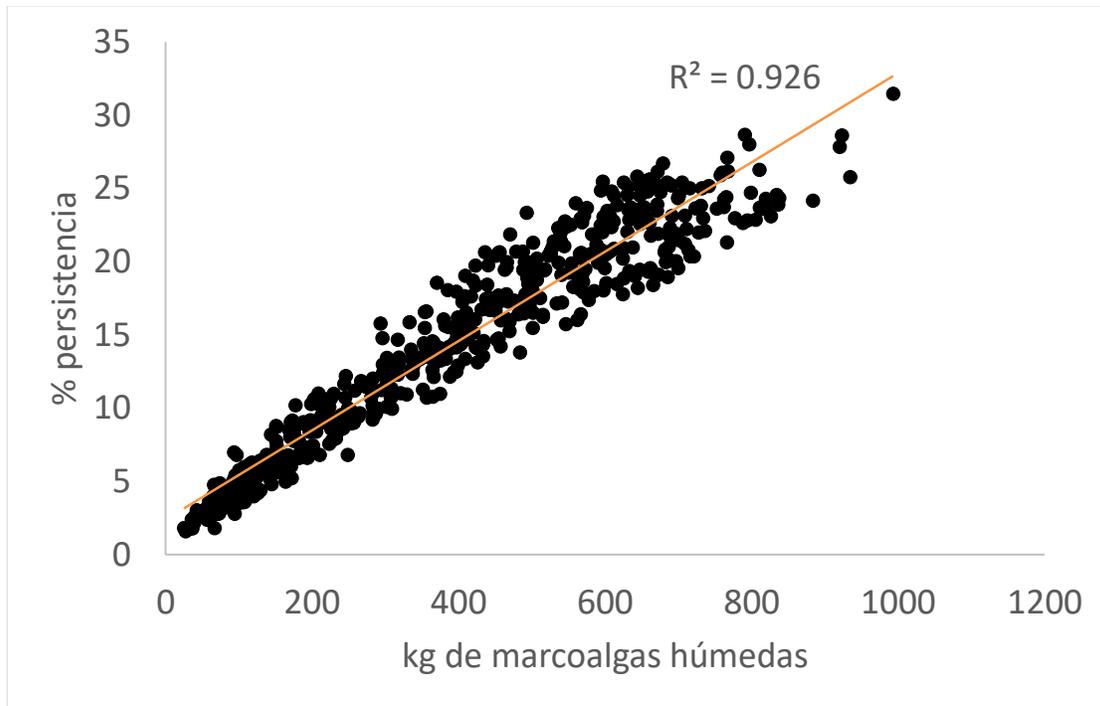


Figura 7. Gráfica de regresión de datos de biomasa y persistencia promedio por píxel

4.4. COMUNIDADES ASOCIADAS

Para caracterizar las comunidades asociadas de los puntos persistentes y efímeros del bosque de macroalgas de PSM, se presentan análisis de la estructura de las comunidades asociada a los bosques de *M. pyrifera*. Al contrario de lo esperado, se cuantificó una mayor riqueza de especies en los transectos de la zona efímera, en comparación con los transectos persistentes con un H' de 2.932 y 2.44 respectivamente.

Se llevaron a cabo un total de 12 transectos de banda en 4 sitios, dos persistentes y dos efímeros (Figura 6). Los buceos se realizaron a profundidades entre 4 y 14 metros, arrojaron como resultados 9 especies de algas, 20 de peces y 23 de invertebrados (Listado de especies Anexo II). La zona efímera presentó una mayor riqueza de peces e invertebrados, con 17 y 18 especies respectivamente. Por otro lado, la zona persistente domina con 7 especies de algas. El sustrato del arrecife es dominado por un fondo rocoso con cantos rodados entre 0.1 y 1 m, una pendiente poco pronunciada y el extremo oeste del bosque a 19 m de profundidad delimitado por arenas (observación en campo).

Tabla 3. Resultados del análisis de diversidad y similitud entre zonas efímeras y persistentes del manto de macroalgas de Punta San Miguel

Grupos	Índice de Shannon-Weiner ($\pi \cdot \ln \pi$)				Coeficiente de Sorensen ($2C/[A+B]$)
	Núcleo		Efímero		
	Obtenido H'	Esperado H'max	Obtenido H'	Esperado H'max	
Algas	0.476	1.946	1.436	1.792	0.500
Peces	1.768	2.639	1.988	2.833	0.710
Invertebrados	1.677	2.708	2.276	2.890	0.606
Todos	2.440	3.220	2.932	3.710	0.632

Para comparar las comunidades de las zonas persistentes y efímeras, se calculó el índice de Shannon-Weiner y el coeficiente de similitud de comunidades de Sorensen (Tabla 3). De acuerdo al índice de diversidad, se observó un total de 2.44 de 3.22 esperado para la zona persistente, y un total de 2.93 de 3.7 esperado para la zona efímera. Esto indica que, al contrario de lo esperado, la zona efímera cuenta con una mayor riqueza, y se confirma al realizar los cálculos correspondientes para los grupos evaluados. Por otro lado, las comunidades son significativamente parecidas, con un promedio de 63% de similitud, un mínimo de 50% para las algas, y un máximo de 71% para los peces.

4.5. ZONAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN

Se identificaron zonas prioritarias para la conservación con ayuda del *software* ArcMap 10.2 y los valores históricos de biomasa y persistencia por pixel. Debido a los resultados encontrados de riqueza y abundancia de especies en la zona persistente, en comparación con la zona efímera, donde no se encuentra riqueza significativamente mayor en la zona núcleo, se decidió no considerarlo para ésta sección.

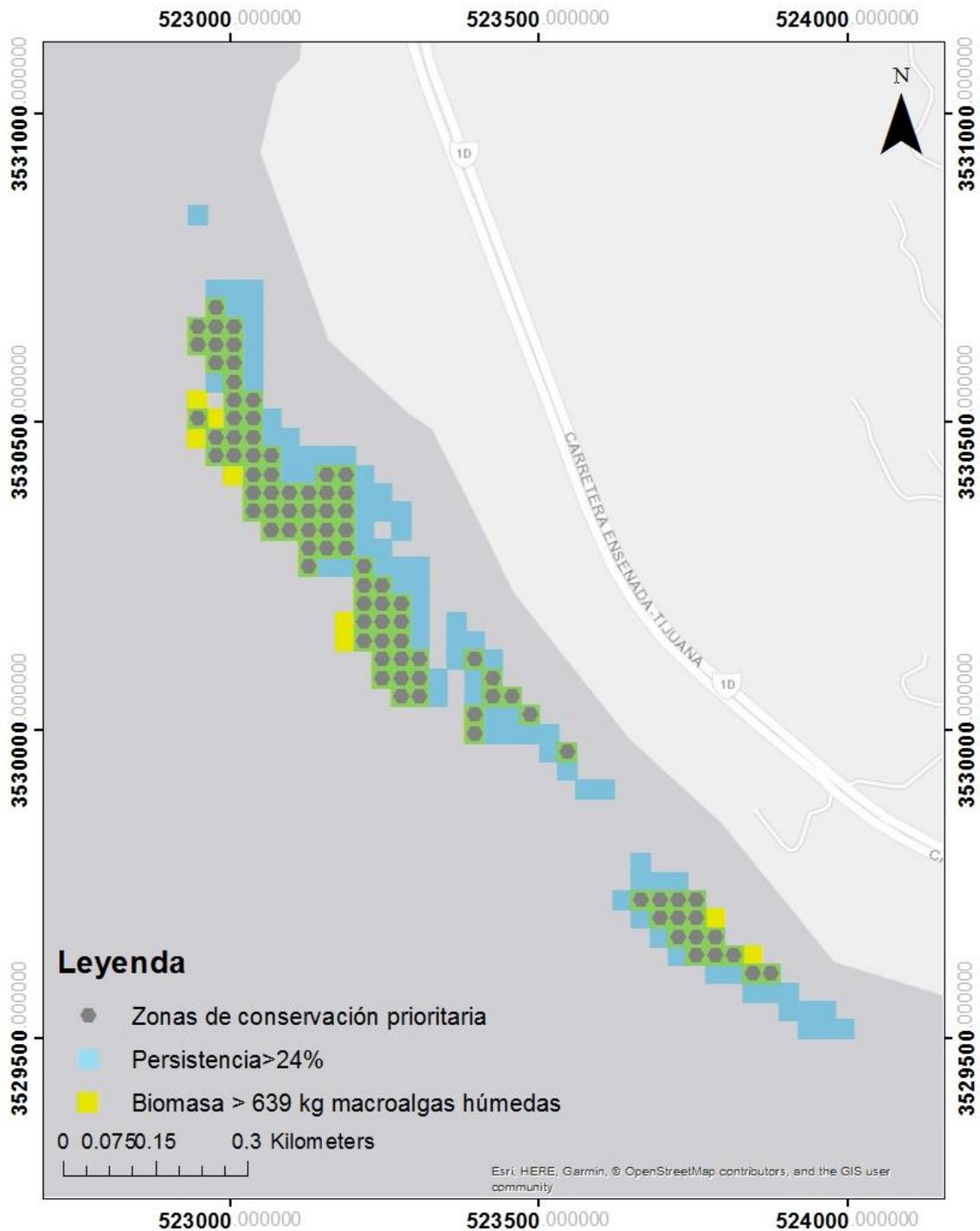


Figura 8. Sitios potenciales de conservación prioritaria con base en la persistencia de biomasa de *M. Pyrifera* en Punta San Miguel. Los sitios en gris indican píxeles de coincidencia de máximos de biomasa y persistencia.

Los pixeles que presentaron una persistencia mayor al 24% y una biomasa mayor a 639 kg de *M. pyrifera*, se utilizaron para la asignación de zonas prioritarias para la conservación (Figura 8). Con profundidades entre de 6 a 10 metros, el sustrato es dominado por canto rodado de hasta 1 metro de diámetro y algunas camas de roca. Se encontraron 168 pixeles dentro de las categorías evaluadas de persistencia, y 98 pixeles de biomasa. Con 90 pixeles de coincidencia, se define un polígono de conservación prioritaria de 81,000 m² equivalente a 16.42% de la superficie total, albergando un 32.75% de la biomasa del bosque de macroalgas de PSM.

5. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Los bosques de macroalgas de *Macrocystis pyrifera* son uno de los ecosistemas costeros más productivos y complejos. Sin embargo, esta productividad es altamente variable. (Bell *et al*, 2015). Es indispensable entender esta variabilidad para poder diseñar estrategias de manejo y conservación adecuadas en el contexto actual del cambio climático. En este trabajo, se utilizaron imágenes de satélite multiespectrales para estimar la variabilidad de biomasa de un bosque de macroalgas en Punta San Miguel (PSM) y con esto identificar sitios prioritarios para la conservación.

En este trabajo se pudo estimar exitosamente la variabilidad de biomasa y caracterizarla tanto espacial como temporalmente. Además, se pudo caracterizar a la comunidad asociada a este bosque de macroalgas. Sin embargo, los resultados de este esfuerzo no son suficientes para identificar correctamente zonas de conservación prioritaria. Se obtuvieron datos de biomasa de 548 pixeles de 30x30 metros que se utilizaron para estimar la variabilidad espacial dentro del bosque de macroalgas de PSM. Además, se pudo estimar la variabilidad de la biomasa de cada uno de los pixeles de los últimos 28 años (1989-2017). Desafortunadamente, las zonas prioritarias de conservación que se identificaron no pueden ser válidas para escalas espaciales de sólo un bosque de macroalgas. Se requiere incluir más bosques de macroalgas para realmente informar una red de zonas altamente productivas y resilientes.

Punta San Miguel se considera uno de los bosques de *M. pyrifera* más importantes de la región principalmente por los productos pesqueros que se extraen de ahí. La percepción de los usuarios de este sitio indica una relativa persistencia. En este trabajo, se generaron datos cuantitativos para caracterizar la variabilidad espacio-temporal de *M.*

pyrifera. Los resultados generales de este estudio indican que a pesar de los disturbios ambientales que actúan sobre este sitio, se observan pocos años con ausencia de cobertura de dosel del bosque, y aquellos, se atribuyen principalmente a anomalías de temperatura positiva intranuales (El Niño).

Se observó que PSM corresponde a un 18.7% del bosque de macroalgas de la región y su biomasa se encuentra por arriba de la media de la región. PSM presenta una persistencia media de 17%. Si se compara con los datos encontrados dentro de BTS, con una media de 15.9%, PSM se encuentra dentro de los sitios con mayor persistencia de la región.

Las características principales que se utilizaron para definir una zona núcleo incluyen: pixeles que presentaron una persistencia mayor al 24% y una biomasa mayor a 639 kg de macroalgas húmedas por pixel. El análisis histórico de persistencia sugiere que la estructura definida como núcleo si existe en PSM. También, sugiere que hay pixeles efímeros rodeando esta zona núcleo que posiblemente están sujetos a la exposición directa del oleaje y otros disturbios. Estos datos sugieren que las zonas núcleo puede ser utilizadas para identificar zonas prioritarias de conservación.

La persistencia es un atributo relevante que se puede utilizar para comparar la importancia ecológica entre sitios. La persistencia explicó gran parte de la variación en biomasa en el bosque de PSM. Es posible que zonas persistentes reflejen el mejor hábitat disponible en el arrecife como el tipo de roca o relieve. En este trabajo se estimó exitosamente la persistencia de *M. pyrifera* pero no se pudo asegurar cuales son las características del hábitat que la promueven. Se recomienda evaluar el sustrato, relieve y profundidad para entender que características promueven la persistencia.

La hipótesis de trabajo, en donde se esperaba mayor riqueza de especies asociada a zonas núcleo, no se comprobó en PSM con el tamaño de muestra y/o la escala espacial del estudio. Los resultados arrojan que la zona definida como núcleo, se asocia a una mayor persistencia y biomasa, más no a una mayor riqueza y abundancia de especies. Se atribuye la alta similitud de peces e invertebrados posiblemente debido a la movilidad de los organismos, a diferencia de las algas. Sin embargo, debido a la escala de este trabajo, se considera necesario aumentar las réplicas de muestro y la intensidad temporal de los monitoreos en diferentes épocas del año para evaluar adecuadamente la estructura de la biodiversidad dentro y fuera del núcleo en PSM. Esto con el objetivo de

monitorear los mismos sitios bajo diferentes condiciones ambientales y decidir si lo entendido como núcleo es decisivo en la estructura de la comunidad. Por otro lado, se considera que este estudio debe aumentar de magnitud, contrastando biomasa, persistencia y biodiversidad a nivel de bosque de macroalgas en su totalidad, tomando en cuenta el resto de la región.

No se pudo encontrar diferencias significativas de la diversidad dentro y fuera de zonas núcleo. Sin embargo, los datos sugieren aumentar la frecuencia e intensidad de la colecta de datos de comunidad, además de aumentar la escala espacial en la cual se puedan comparar a nivel de bosques de macroalgas. Especialmente, si se quiere identificar sitios de conservación prioritaria que reflejen alta biodiversidad, biomasa y persistencia. Es importante tomar en cuenta factores como distancia a la costa, recursos explotados, exposición al oleaje, etc., para una identificación adecuada e integral de zonas de conservación prioritaria.

De acuerdo a lo estipulado en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, se crearán subzonas de protección que acompañará al Plan de Manejo para la Reserva de la biósfera de las Islas del Pacífico de la Península de Baja California. Uno de los problemas que surge al declarar protegida una zona tan amplia, es la cantidad de trabajo necesario para realizar un Plan de Manejo de acuerdo a los atributos ambientales que esta región representa. Gracias a la información generada en este estudio, y a la facilidad de replicación, esta metodología puede ser utilizada como guía para la asignación de potenciales zonas de conservación prioritaria de arrecifes rocosos templados en la Península de Baja California.

Debe ser tomando en consideración que describir el comportamiento y tendencia del bosque de macroalgas de Punta San Miguel no se relaciona con la tendencia del resto de los mantos que se encuentran en la Península de Baja California, por lo que se recomienda llevar a cabo un análisis individual para cada bosque de macroalgas de interés considerando los atributos físico-químicos de cada región.

Independientemente, se propone PSM como un sitio de importancia ambiental, económica y social. Primero, por la capacidad de resiliencia comprobada ante estresores ambientales históricos. Segundo, debido a la potencial fuente metapoblacional que representa, por medio de producción larval. Tercero, por la necesidad de crear estrategias

de conservación para disminuir el impacto de los modificadores ambientales sobre los recursos de la región.

En resumen: se encontró una correlación positiva a partir de la asociación de la biomasa y persistencia del bosque de macroalgas de Punta San Miguel; se considera un ecosistema resiliente ante fenómenos climáticos pasados, por lo tanto, indicador de su capacidad futura; cuenta con la estructura de núcleo que se considera de conservación prioritaria; y las comunidades descritas dentro y fuera de la zona persistente se consideran significativamente similares.

Se recomienda realizar un análisis extensivo de los diferentes bosques de macroalgas de la región con en base a su biomasa y persistencia, aunando datos de diversidad y abundancia de especies asociadas, para localizar núcleos bosques de macroalgas como zonas de conservación prioritaria. Varios núcleos aledaños tienen la capacidad de generar una red regional de zonas de conservación prioritaria para arrecifes rocosos templados estructurados por *Macrocystis pyrifera*. Pese a que no se proponga proteger bosques en su totalidad, ésta aproximación de red de núcleos puede fomentar la conservación de porciones significativas de distintas comunidades, como peldaños ecológicos (del inglés *stepping stones*), sin sacrificar el aprovechamiento económico de los mismos.

6. REFERENCIAS

- Arafeh-Dalmau, N. & Torres-Moye, G. Marine spatial planning in a transboundary context: Linking Baja California with California's network of Marine Protected Areas. *Frontiers in Marine ...* (2017). doi:10.3389/fmars.2017.00150.
- Assis, J., Bercibar, E., Claro, B., Alberto, F., Reed, D., Raimondi, P., & Serrão, E. A. (2017). Major shifts at the range edge of marine forests: the combined effects of climate changes and limited dispersal. *Scientific Reports*, *7*, 44348.
- Beas-Luna, R., A. Black, M. Novak, M. Carr, J. Caselle, J. Estes, P. Levin, T. Tinker. (2014) An online database of species interactions for informing ecosystem models <http://kelpforest.ucsc.edu>. PlosOne PONE-D-14-18906R1.
- Bell, T. W., Cavanaugh, K. C., Reed, D. C., Siegel, D. A. (2015) Geographical variability in the control of giant kelp biomass dynamics. *Journal of Biogeography* **42**, 2010-2021.
- Bell, T. W., Cavanaugh, K. C., & Siegel, D. A. (2015). Remote monitoring of giant kelp biomass and physiological condition: An evaluation of the potential for the Hyperspectral Infrared Imager (HypSIrI) mission. *Remote Sensing of Environment*, *167*, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.05.003>
- Byrnes, J. E., Reed, D. C., Cardinale, B. J., Cavanaugh, K. C., Holbrook, S. J., and Schmitt, R. J. (2011). Climate-driven increases in storm frequency simplify kelp forest food webs. *Global Change Biology* **17**, 2513–2524.
- Carr, M. H., y Reed, D. C. (2015). Shallow rocky reefs and kelp forests. *Ecosystems of California*. University of California Press, Berkeley, California, EUA, 311-336. doi:10.1016/j.jmarsys.2003.05.003
- Cavanaugh, K. C., Siegel, D. A., Kinlan, B. P., & Reed, D. C. (2010). Scaling giant kelp field measurements to regional scales using satellite observations. *Marine Ecology Progress Series*, *403*, 13–27. <https://doi.org/10.3354/meps08467>
- Cavole, L. M., Demko, A. M., Diner, R. E., Giddings, A., Koester, I., Pagniello, C. M., ... & Zill, M. E. (2016). Biological impacts of the 2013–2015 warm-water anomaly in the Northeast Pacific: Winners, losers, and the future. *Oceanography*, *29*(2), 273-285.
- Cavanaugh, K. C. (2011). Variability of Giant Kelp Forests in Southern California: Remote Assessment of Kelp Biomass and the Drivers of Kelp Forest Dynamics. University of California, Santa Barbara.
- Cavanaugh, K. C., Kendall, B. E., Siegel, D. A., Reed, D. C., Alberto, F., and Assis, J. (2013). Synchrony in dynamics of giant kelp forests is driven by both local recruitment and regional environmental controls. *Ecology* **94**, 499–509.
- Cavanaugh, K. C., Siegel, D. A., Raimondi, P. T., & Alberto, F. (2014). Patch definition in metapopulation analysis: a graph theory approach to solve the mega-patch problem. *Ecology*, *95*(2), 316-328.
- Connell, J. H. (1978). Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science* *199*:1302-1310.
- Davis, C. (1991) *California Reefs*. San Francisco, California: Chronicle Books.
- Diario Oficial de la Federación (2010) Carta Nacional Pesquera. 01 diciembre, SAGARPA. México, D.F.
- Diario Oficial de la Federación (2012) Plan de Manejo para la Pesquería de Macroalgas en Baja California, México. Recuperdo de <http://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/Planes-de-Manejo-Pesquero/Pacifico/Plan-de-Manejo-para-la-Pesqueria-de-Macroalgas.pdf>, el 8 de abril de 2018.

Diario Oficial de la Federación (2013) Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5299465&fecha=20/05/2013 el 5 de febrero de 2018.

Diario Oficial de la Federación (2014) Norma Oficial Mexicana NOM-049-SAG/PESC-2014, que determina el procedimiento para establecer zonas de refugio para recursos pesqueros en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5340568&fecha=14/04/2014 el 5 de febrero de 2018.

Edwards, M. S. (2004). Estimating scale-dependency in disturbance impacts: El Niño and giant kelp forests in the northeast Pacific. *Oecologia*, 138(3), 436-447.

Foster, M. S., y Schiel, D. R. (1985) The ecology of giant kelp forests in California: a community profile. U.S. Fish Wildl. Serv. Biol. Rep. 85-7.2

García-Pámanes, L., y Chee-Barragán, G. (1976) Ecología de la zona entremareas de la Bahía de Todos Santos. *Ciencias Marinas* 3(1): 10-29.

Global Land Cover Facility (2016) Landsat Imagery. College Park, Maryland. Recuperado de: <http://glcf.umd.edu/data/landsat/>. Consultado el día 17 de mayo de 2017.

Gobierno de Baja California (2015) Nuestro estado. Ubicación geográfica de cabeceras municipales. Archivo histórico de Baja California. Recuperado de http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/ubica_geografica.jsp. Consultado el 22 de octubre de 2017.

Graham, M.H., Vázquez, J.A., Buschmann, A.H. (2007) Global ecology of the giant kelp *Macrocystis*: from ecotypes to ecosystems. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 45, 39–88.

Harley, C., Anderson, K. M., Demes, K. W. (2012). Effects of climate change on global seaweed communities. *Journal of Phycology* 48, 1064–1078

Intergovernmental Panel on Climate Change (2013) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kroeker, K. J. Kordas, R. L., Crim, R., Hendriks, I. E., Ramajo, L., Singh, G. S., Duarte, C. M. and Gattuso, J.-P. (2013) Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. *Global Change Biology* 19, 1884–1896.

Ling, S. D., Johnson, C. R., Frusher, S. D., Ridgway, K. R. (2009) Overfishing reduces resilience of kelp beds to climate-driven catastrophic phase shift. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 106, 52.

Marks, L. M., Salinas-Ruiz, P., Reed, D. C., Holbrook, S. J., Culver, J. M., Engle, D., Kushner, J., Casselle, J. E., Freiwald, J., Williams, J. P., Smith, J. R., Aguilar-Rosas, L. E., Kaplanis, N. J. (2015) Range expansion of a non-native, invasive macroalgae *Sargassum horneri* (Turner) C. Agardh, 1820 in the eastern Pacific. *BIR* 4, 243–248 (2015).

McCay, B. Territorial use rights in fisheries of the northern Pacific coast of Mexico. *bms* 93, 69–81 (2017).

Micheli, F. Saenz-Arroyo, A., Greenley, A., Vazquez, L., Espinoza-Montes J. A., Rossetto, M. (2012) Evidence That Marine Reserves Enhance Resilience to Climatic Impacts. *PLoS ONE* 7, e40832–8.

Morales, Z. C. 1977. Variaciones estacionales de la temperatura en la bahía de Todos los Santos, B. C. *Ciencias Marinas* 4:22–33.

Ojeda Ruiz de la Peña, M. A., & Ramírez Rodríguez, M. (2012). Interacciones de pesquerías ribereñas en Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur. *Región y sociedad*, 24(53), 189-204.

Partnership for Interdisciplinary Studies of Coastal Oceans (2009) Marine Protected Areas. PISCO Web. Recuperado de: <http://www.piscoweb.org/topics/marine-protected-areas>. Consultado el día 17 de mayo de 2017.

Reed, D. C., Rassweiler, A. R., Miller, R. J., Page, H.M., Holbrook, S (2016) The value of a broad temporal and spatial perspective in understanding dynamics of kelp forest ecosystems. *Marine and Freshwater Research*, 67, 14-24.

Saarman, E., Gleason, M., & Ugoretz, J. (2013). The role of science in supporting marine protected area network planning and design in California. *Ocean & Coastal Management*, 74. Retrieved from

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569112002384>

Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P. M. (Eds) (2013). Summary for policymakers. In 'Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change'. pp. 1–27. (Cambridge University Press: Cambridge, UK, and New York.).

7. ANEXOS

7.1. Anexo I. Script

```
### Script to process kelp biomass data from kyle and tom#####  
#created on feb 2nd, 2018 by Rodrigo Beas and Andrea Paz #####  
#test #  
# clean all erase all #####  
rm(list=ls())  
## load packages #####  
## Load libraries ##  
library(zoo)  
library(dplyr)  
library(proto)  
library(gsubfn)  
library(ggplot2)  
library(tidyverse)  
library(splitstackshape)  
library(plotly)  
# install.packages("package_name") # of you dont have the package install in your computer  
### Load data #####  
sm<-read.csv("data_raw/Kelpbiomass_PuntaSanMiguel.csv", as.is = TRUE)  
head(sm) ## view the first 5 lines of the table  
View(sm) # another sophisticated way to see the data  
sm[1:5, 1:5] # vie the first 5 rows and first 5 columns of the dataframe  
str(sm) # view the srtructure of the dataframe  
## plot to see the points  
plot(sm$X, sm$Y, main = "Pixels at Punta San Miguel")  
##### Get rid of the X before the colnames #####  
names(sm) <- sub("X", "", names(sm))  
colnames(sm)[1]<-"Y" ### correct the first column called "X"  
colnames(sm)[2]<-"X" ## we need to change the x & y becuase Kyle fuck it up.
```

```

sm[1:5,1:10] ## view the first couple of rows and columns of the table

## Reshape the wide to long table
long<- sm %>% gather (Time, Biomass, -c(X, Y))

head(long) # view the first couple of rows of the new long table

#### fix the column name dates ####

dates <- long$Time # rename the vector

dates<-as.numeric(dates) # make the column numeric mode

betterDates <- as.Date(dates, origin = "1899-12-30") # change the format - this comes from a
windows computer date format i found on the internet

longDates<-cbind(long, betterDates) # combine the long tables with the new dates vector

#### text to columns to separate the time in three columns

library(splitstackshape) #call the package

new<-cSplit(longDates, splitCols = "betterDates", sep="-") # split the text using "-" as the separator

colnames(new)<-c("Y", "X", "Time", "Biomass", "Year", "Month", "Day") # rename the columns

head(new) # look at the first part of the table

#### Add season column ####

new$Season<-ifelse(new$Month %in% c(1, 2, 12), "Winter",
                  ifelse(new$Month %in% c(3,4,5), "Spring",
                        ifelse(new$Month %in% c(6,7,8), "Summer",
                              ifelse(new$Month %in% c( 9,10,11), "Fall",
                                    "04 ebrates"))))

#### Estimate the mean by Year ####

library(dplyr)

# View(NDatos)

MeanYear <- new %>%

ungroup() %>%

group_by(Year) %>%

summarise(Mean = mean(Biomass, na.rm = T),
          SD = sd(Biomass,na.rm = T),
          CV=(SD/Mean) ,
          SE=sqrt(CV/length(Biomass)),

```

```

      N=length(Biomass))
head(MeanYear)
# View(MeanYear)
#### Plot the mean biomass per year
#### Plot ####
limits <- aes(ymax = Mean+ SD, ymin=Mean-SD) # Set limits for error bar
p<- ggplot(MeanYear, aes(x=Year, y=Mean)) +
  geom_line(size=.75)+
  #scale_area()
  geom_point(size = 0.2)+
  geom_errorbar(limits, width=0.1) +
  ylab(expression(paste("Kelp biomass (kg wet kelp per pixel)")))+
  theme(strip.text.x = element_text(size = 15))+
  theme(strip.text.y = element_text(size = 15))+
  theme(axis.title.x = element_text(size = 15))+
  theme(axis.title.y = element_text(size = 15))+
  theme(axis.text.y = element_text(size = 15))+
  theme(axis.text.x = element_text(size = 15))+
  ggtitle("Punta San Miguel")+
  theme(legend.background = element_rect()+
  theme(legend.text = element_text(face = "italic"))+
  theme(panel.background = element_rect(fill = "transparent",colour = NA))+
  theme(panel.border=element_blank(), axis.line=element_line())
p2<- p+scale_x_continuous(breaks=c(1989, 1993, 1997, 2001, 2005, 2009, 2013, 2017))
p3<- p2+scale_y_continuous(breaks=c(0, 400, 800, 1200))
tiff("figures/plot_mean_biomass_per_year2.tiff", width = 10, height = 4, units = 'in', res = 300)
p3
dev.off()
#### Plot the mean biomass per MONTH per YEAR ####
MeanMonth<- new %>%

```

```

ungroup() %>%
group_by(Year, Month) %>%
summarise(Mean = mean(Biomass, na.rm = T),
          SD = sd(Biomass,na.rm = T),
          CV=(SD/Mean) ,
          SE=sqrt(CV/length(Biomass)),
          N=length(Biomass))
head(MeanMonth)
limits <- aes(ymax = Mean+ SD, ymin=Mean-SD) # Set limits for error bar
p<- ggplot(MeanMonth, aes(x=Year, y=Mean)) +
  geom_line(size=.75)+
  #scale_area()
  geom_point(size = 0.2)+
  geom_errorbar(limits, width=1) +
  ylab(expression(paste("Mean Kelp Biomass")))+
  theme(strip.text.x = element_text(size = 15))+
  theme(strip.text.y = element_text(size = 15))+
  theme(axis.title.x = element_text(size = 15))+
  theme(axis.title.y = element_text(size = 15))+
  ggtitle("Isla Todos Santos")+
  theme(axis.text.y = element_text(size = 15))+
  theme(axis.text.x = element_text(size = 15))+
  theme(legend.background = element_rect()+
  theme(legend.text = element_text(face = "italic"))+
  theme(panel.background = element_rect(fill = "transparent",colour = NA))+
  theme(panel.border=element_blank(), axis.line=element_line())
p2<-p+ facet_grid(Month ~ .) # you can also use facet_wrap or facet grid
ggplotly()
p3<- p2+scale_x_continuous(breaks=c(1989, 1993, 1997, 2001, 2005, 2009, 2013, 2017))
p3

```

```

#### Plot the mean biomass per year (reshape)
MeanMonth<- new %>%
  ungroup() %>%
  group_by(Year, Month) %>%
  summarise(Mean = mean(Biomass, na.rm = T),
            SD = sd(Biomass,na.rm = T),
            CV=(SD/Mean) ,
            SE=sqrt(CV/length(Biomass)),
            N=length(Biomass))
head(MeanMonth)
library(plotly)
limits <- aes(ymax = Mean+ SD, ymin=Mean-SD) # Set limits for error bar
p<- ggplot(MeanMonth, aes(x=Month, y=Mean)) +
  geom_line(size=.75)+
  #scale_area()
  geom_point(size = 0.2)+
  geom_errorbar(limits, width=1) +
  ylab(expression(paste("Mean Kelp Biomass")))+
  theme(strip.text.x = element_text(size = 15))+
  theme(strip.text.y = element_text(size = 15))+
  theme(axis.title.x = element_text(size = 15))+
  theme(axis.title.y = element_text(size = 15))+
  ggtitle("Punta San Miguel")+
  theme(axis.text.y = element_text(size = 15))+
  theme(axis.text.x = element_text(size = 15))+
  theme(legend.background = element_rect()+
  theme(legend.text = element_text(face = "italic"))+
  theme(panel.background = element_rect(fill = "transparent",colour = NA))+
  theme(panel.border=element_blank(), axis.line=element_line())

```

p

```

p2<-p+ facet_grid(Year ~ .) # you can also use facet_wrap or facet grid
ggplotly()
p2
p3<- p2+scale_x_continuous(breaks=c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12))
p3
tiff("figures/plot_mean_biomass_per_month.tiff", width = 10, height = 30, units = 'in', res = 72)
p3
dev.off()
#### Plot the mean biomass per season
MeanSeason<- new %>%
  ungroup() %>%
  group_by(Year, Season) %>%
  summarise(Mean = mean(Biomass, na.rm = T),
            SD = sd(Biomass,na.rm = T),
            CV=(SD/Mean) ,
            SE=sqrt(CV/length(Biomass)),
            N=length(Biomass))
head(MeanSeason)
limits <- aes(ymax = Mean+ SD, ymin=Mean-SD) # Set limits for error bar
p<- ggplot(MeanSeason, aes(x=Year, y=Mean)) +
  geom_line(size=.75)+
  #scale_area()
  geom_point(size = 2)+
  geom_errorbar(limits, width=0.2) +
  ylab(expression(paste("Mean Kelp Biomass")))+
  theme(strip.text.x = element_text(size = 15))+
  theme(strip.text.y = element_text(size = 15))+
  theme(axis.title.x = element_text(size = 15))+
  theme(axis.title.y = element_text(size = 15))+
  ggtitle("Punta San Miguel")+

```

```

theme(axis.text.y = element_text(size = 15))+
theme(axis.text.x = element_text(size = 15))+
theme(legend.background = element_rect()+
theme(legend.text = element_text(face = "italic"))+
theme(panel.background = element_rect(fill = "transparent",colour = NA))+
theme(panel.border=element_blank(), axis.line=element_line())
p2<-p+ facet_grid(Seasson ~ .) # you can also use facet_wrap or facet grid
p3<- p2+scale_x_continuous(breaks=c(1989, 1993, 1997, 2001, 2005, 2009, 2013, 2017))
p4 <-p3+ggtitle("Punta San Miguel")
p4
tiff("figures/plot_mean_biomass_per_season.tiff", width = 10, height = 15, units = 'in', res = 72)
p4
dev.off()
####plot density per pixel####
PixelMean<- new %>%
  ungroup() %>%
  group_by(X,Y,Year) %>%
  summarise(Mean = mean(Biomass, na.rm = T),
            SD = sd(Biomass,na.rm = T),
            CV=(SD/Mean) ,
            SE=sqrt(CV/length(Biomass)),
            N=length(Biomass))
head(PixelMean)
sp <- ggplot(PixelMean, aes(x=X, y=Y, color=Mean))+ geom_point()+
  geom_jitter(width = 5, height = 5) +
  ggtitle("Punta San Miguel")
spp<-sp + facet_wrap(~ Year, ncol=4)
spp
#### Plot Coefficient of variation #####
head(new)

```

```
library(calibrate) # to label the point in the graph
plot(PixelMean$CV, PixelMean$Mean)
textxy(PixelMean$CV, PixelMean$Mean, labs = c(PixelMean$X, PixelMean$Y))
## same plot but with names
pm<-unite(PixelMean, dos, X:Y, sep="," )
head(pm)
nbaplot <- ggplot(pm, aes(x= Mean, y= CV))+
  geom_point()+
  geom_text(aes(label=dos,hjust=0, vjust=0))
nbaplot
```

7.2. Anexo II. Listado de especies asociadas a Punta San Miguel

Invertebrados	Peces	Algas
<i>Anthopleura sp</i>	<i>Alloclinus holderi</i>	<i>Macrocystis pyrifera</i>
<i>Centrostephanus coronatus</i>	<i>Anisotremus davidsonii</i>	<i>Laminaria</i>
<i>Craniella spp</i>	<i>Caulolatilus princeps</i>	<i>Egregia menziesii</i>
<i>Haliotis spp</i>	<i>Chromis punctipinnis</i>	<i>Sthephanocystis osmundacea</i>
<i>Kelletia kelletii</i>	<i>Cymatogaster aggregata</i>	<i>Desmarestia spp</i>
<i>Mediaster</i>	<i>Damalichthys vacca</i>	<i>Juvenile laminariale</i>
<i>Megastrea undosa</i>	<i>Embiotoca jacksoni</i>	<i>Undaria pinnatifida</i>
<i>Megathura crenulata</i>	<i>Embiotoca lateralis</i>	<i>Cystoseira osmundasea</i>
<i>Mesosentrotus franciscanus</i>	<i>Girella nigricans</i>	<i>Dictyoneurum californicum</i>
<i>Muricea californica</i>	<i>Halichoeres semicinctus</i>	
<i>Norrisia norrisi</i>	<i>Hypsipops rubicundus</i>	
<i>Orthasterias</i>	<i>Hypsurus caryi</i>	
<i>Pachyceriatius fimbriatus</i>	<i>hypsypops rubicundus</i>	
<i>Panulirus interruptus</i>	<i>Medialuna californiensis</i>	
<i>Parastichopus parvimensis</i>	<i>Oxijulius californica</i>	
<i>Patiria miniata</i>	<i>Paralabrax clathratus</i>	
<i>Pisaster giganteus</i>	<i>Paralabrax nebulifer</i>	
<i>Serpulorbis / Petalochonchcus</i>	<i>Sebastes atrovirens</i>	
<i>Sphecoespongia confederata</i>	<i>Sebastes caurinus</i>	
<i>Strongylocentrotus purpuratus</i>	<i>Semicossyphus pulcher</i>	
<i>Styela montereyensis</i>		
<i>Tethya aurantia</i>		
<i>Urticina picivora</i>		