

Red de reservas marinas para la Región de las Grandes Islas, Golfo de California: protocolo del proyecto de planeación y reporte de los talleres del equipo de planeación

Jorge G. Álvarez-Romero, José Anadón, Maria Beger, Alejandro Castillo, Ana Luisa Figueroa-Carranza, Leah R. Gerber, Carlos Ramón Godínez, Georgina G. Gurney, Gustavo Hinojosa Arango, Melanie Kolb, Maria del Mar Mancha- Cisneros Marcia Moreno, Adrián Munguía-Vega, Hem Nalini Morzaira-Luna, David Petatán, Tad Pfister, Héctor Reyes Bonilla, Alvin N. Suárez-Castillo, Jorge Torre-Cosio

Compiladores y líderes de proyecto: Jorge G. Álvarez-Romero¹, Alvin N. Suárez-Castillo², Mar Mancha- Cisneros³, Jorge Torre-Cosio²

¹ ARC Centre of Excellence for Coral Reef Studies, James Cook University, Townsville, QLD, Australia

² Comunidad y Biodiversidad, A.C., Calle Isla del Peruano, Lomas de Miramar, Guaymas, SON, México

³ School of Life Sciences, Arizona State University, Tempe, AZ, USA

Contenido

Resumen del proyecto	1
Introducción.....	2
Antecedentes.....	2
Equipo de planeación	4
Área de Planeación.....	5
Proceso de planeación	5
Alcance	7
Actores	8
Objetivos	8
Metas de conservación	9
Recopilación de información	10
Implementación, mantenimiento y monitoreo	18
Selección de áreas para la conservación.....	18
Referencias	23

Resumen del proyecto

En el Plan de Manejo de la Región de las Grandes Islas (RGI) del Golfo de California, México, las organizaciones de la sociedad civil (Comunidad y Biodiversidad, A.C. y Pronatura, A.C.) y el gobierno (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), han identificado la necesidad de diseñar e implementar nuevas zonas de protección o reservas marinas completamente protegidas con el objetivo de conservar la biodiversidad y promover el uso sostenible de los recursos marinos en la región. Estas actividades se fundamentan y son facilitadas por el trabajo coordinado y colaborativo que dichos sectores han desarrollado en la región desde hace más de 4 años. Sin embargo, la extensa área de la RGI (~31,500 km²) y la compleja situación socioeconómica (i.e. múltiples usuarios, fuerte dependencia económica de comunidades pesqueras locales) son algunos de los principales retos que deben considerarse en el diseño e implementación de estas nuevas zonas de protección o reservas marinas.

Por tal motivo, estos sectores han optado por adoptar un enfoque sistemático (*sensu* Margules y Pressey, 2000) para el proceso de planeación de conservación en la RGI. Proceso que será facilitado por el uso de software de planeación para la conservación (Marxan; Ball et al., 2009) y, fundamentado en la mejor información científica y métodos/herramientas disponibles para la toma de decisiones sobre conservación marina.

Introducción

La Región de las Grandes Islas (RGI), localizada en el acuario del mundo, el Golfo de California, es reconocida a nivel mundial por su espectacular belleza, diversidad y productividad; en ocasiones se le ha denominada como “las Galápagos del Hemisferio Norte” (Figura 1). En sus 45 islas, incluyendo las dos más grandes de México, Tiburón e Isla Ángel de la Guarda, se han registrado más de 400 especies de plantas, anfibios, reptiles y mamíferos terrestres, algunas de ellas endémicas a una o varias de las islas. En algunas de estas islas, como Rasa y San Pedro Mártir, llegan a anidar cientos de miles de aves marinas. Alrededor de este gran archipiélago, se pueden observar hasta 23 especies de mamíferos marinos, incluyendo la súper agregación de cachalotes en la cuenca San Pedro Mártir. Así como también es un sitio usado por cinco especies de tortugas marinas para hibernar y alimentarse.

La RGI ha sido reconocida como un excelente sitio para la pesca tanto industrial (i.e. sardina) como ribereña o artesanal, capturando más de 70 especies diferentes en la región. Incluso, ha sido uno de los sitios preferidos a nivel mundial por los pescadores deportivos desde hace más de medio siglo. La mayor parte de la pesca ribereña y deportiva se desarrolla en los arrecifes rocosos costeros, los cuales abarcan gran parte de las costas de Baja California y Sonora y alrededor de las islas e islotes de la región. Existen contadas zonas de la costa que son playas o esteros, como es el Canal de Infiernillo, territorio de la comunidad indígena Seri (Comcáac).

Debido a su gran importancia biológica, la parte terrestre de las islas, al igual que todas las islas en el Golfo de California (ca. 920 islas), están decretadas como Área de Protección de Flora y Fauna. Además, existen tres áreas marinas protegidas en la RGI: las Reservas de la Biosfera Bahía de los Ángeles, Canales de Ballenas y Salsipuedes, y la Isla San Pedro Mártir, y el Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago de San Lorenzo. Esta región ha sido identificada como un área prioritaria para la conservación por parte de la CONABIO, y como Área de Importancia para la Conservación de las Aves. Adicionalmente, las islas Rasa y San Pedro Mártir, el Canal de Infiernillo (Sonora), y el corredor costero entre Punta La Asamblea y Punta San Francisquito (Baja California) han sido designados como sitios RAMSAR; mientras que todas las islas del Golfo de California están consideradas Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO.

Antecedentes

En el 2011 la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Comunidad y Biodiversidad, A.C. (COBI) y Pronatura Noroeste, A.C. (PNO) desarrollaron un Plan Estratégico de Conservación y Manejo Sustentable por cinco años para la RGI. La visión de este plan es lograr que *la biodiversidad, los ecosistemas y los recursos pesqueros característicos de la RGI presenten una condición saludable que permita el mantenimiento de sus procesos ecológicos y evolutivos a largo plazo, y que la participación activa de las comunidades pesqueras que dependen de esta región, sea la base del desarrollo sustentable*. En el plan se identificaron 10 objetos de conservación: 1) recursos pesqueros industriales, 2) recursos pesqueros ribereños y pesca deportiva, 3) megafauna migratoria, 4) procesos de reproducción de aves y lobos marinos, 5) especies microendémicas, 6) arrecifes, 7) procesos pelágicos, 8) hábitats dominados por plantas marinas, 9) playas arenosas, humedales costeros y bahías, y 10) sitios de importancia cultural; y las principales amenazas que los afectan: cambio climático y actividades de pesca y turismo no sustentables (Torre et al., 2012).

Para contrarrestar los efectos negativos de estas amenazas, se desarrollaron nueve estrategias¹. Una de ellas es el establecimiento de zonas de protección o reservas marinas completamente protegidas, refiriéndose a las áreas en donde está prohibida la extracción, ya sea en forma de zona núcleo dentro de un área natural protegida o una zona de refugio, competencia de la CONANP y CONAPESCA, respectivamente, o a través de acuerdos comunitarios. Esta estrategia tiene como fin la protección y restauración del capital natural dentro de la RGI en el largo plazo.

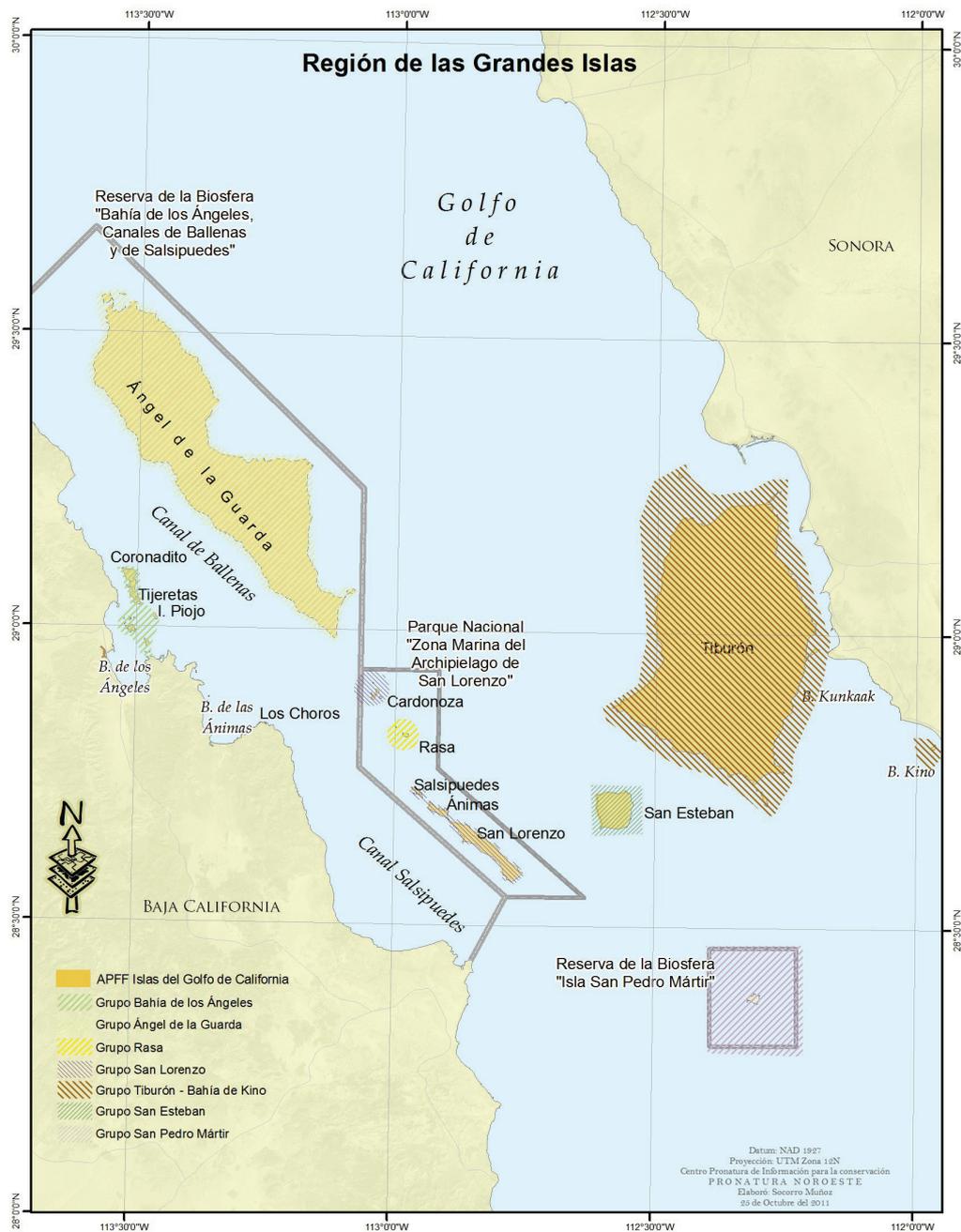


Figura 1. Región de las Grandes Islas, Golfo de California, México

¹ 1) prevención, control y monitoreo de especies invasoras, 2) fortalecimiento interinstitucional, 3) inspección y vigilancia, 4) seguimiento de la certificación de la pesquería de pelágicos menores, 5) educación para reducir las actividades no sustentables, 6) ordenamiento pesquero, 7) zonas de protección (zonas de refugio y/o núcleo), 8) alternativas económicas, y 9) educación y participación social.

Equipo de planeación

El equipo de planeación está conformado por científicos y/o manejadores adscritos a universidades o centros de investigación, organizaciones de la sociedad civil y agencias de gobierno (Tabla 1).

Tabla 1. Listado de los integrantes del equipo de planeación de la red de reservas marinas en la Región de las Grandes Islas Golfo de California

Nombre	Institución
Dr. Jorge G. Álvarez Romero	Investigador Postdoctoral, Centro de Excelencia para el estudio de arrecifes de coral, Universidad James Cook (Australia)
Dr. José Anadón	Investigador Postdoctoral, Universidad Estatal de Arizona (EUA); Asistente de Profesor, Colegio Queens, Universidad de la ciudad de Nueva York (EUA)
Dra. María Beger	Investigador Postdoctoral, Universidad Estatal de Arizona (EUA); Centro de Excelencia para las Decisiones Ambientales, Universidad de Queensland
M. en C. Alejandro Castillo	Coordinador de Proyectos del Programa de Conservación Marina y Pesca Sustentable, Pronatura Noroeste, A.C. (BC, México)
M. en C. Ana Luisa Figueroa Carranza	Directora de la Reserva de la Biósfera Isla San Pedro Mártir y del Área de Protección de Flora y Fauna Islas del Golfo de California, CONANP (Son., México)
Dra. Leah R. Gerber	Profesora, Universidad Estatal de Arizona (EUA)
M.V.Z. Carlos Ramón Godínez	Director de la Reserva de la Biósfera Bahía de Los Ángeles, Canales de Ballenas y Salsipuedes, CONANP (BC, México)
c.Dra. Georgina G. Gurney	Investigadora, Centro de Excelencia para el estudio de arrecifes de coral, Universidad James Cook (Australia)
Dr. Gustavo Hinojosa Arango	Coordinador Regional, Programa Marino Golfo de California, Instituto de Oceanografía SCRIPPS (BCS, México)
Dra. Melanie Kolb	Asesor de Información Espacial de Biodiversidad, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (México)
c.Dra. María del Mar Mancha Cisneros	Estudiante de Doctorado, Universidad Estatal de Arizona (EUA)
Dra. Marcia Moreno	Investigador Postdoctoral, Instituto de Oceanografía SCRIPPS, Universidad de California (EUA)
Dr. Adrián Munguía Vega	Investigador asociado Comunidad y Biodiversidad, A.C. (BCS, México), Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (BCS, México) y Universidad de Arizona (EUA)
Dra. Hem Nalini Morzaira Luna	Investigador asociado NOAA (EUA) y Centro Intercultural de Estudios de Desiertos y Océanos, A.C. (Son., México)
I.T.C. David Petatán	Estudiante de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California Sur (BCS, México)
Tad Pfister	Coordinador del Programa de Estudios Latinoamericanos, Universidad de Arizona (EUA)
Dr. Héctor Reyes Bonilla	Profesor-Investigador, Universidad Autónoma de Baja California Sur (BCS, México)

c.Dr. Alvin Noé Suárez Castillo

Jefe de Proyecto, Comunidad y Biodiversidad,
A.C. (Son., México)

Dr. Jorge Torre Cosío

Director Ejecutivo, Comunidad y Biodiversidad, A.C. (Son.,
Mexico)

La participación del equipo en el ejercicio de planeación incluye:

- La provisión de información, recolectada principalmente en estudios previos, relacionada con la distribución espacial y temporal de las zonas de pesca, de las diferentes artes de pesca que serán incluidas en el modelo de costos de oportunidad y para evaluar la distribución de costos a diferentes comunidades; y
- La participación en los análisis (e.g. modelación), así como en el diseño del protocolo y la evaluación y refinamiento de las alternativas de redes de reservas durante el proceso de implementación (siguientes fases del proyecto), que incluirá la consulta y negociación con comunidades de pescadores y otros actores.

Área de Planeación

El área de planeación estará delimitada de forma general por el *sitio marino prioritario* de las “Grandes Islas del Golfo de California” (Figura 2), definido en el ejercicio nacional de planeación marina (Álvarez-Romero et al. 2013; CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA, 2007). Las zonas profundas (mayores a 200 m) serán excluidas, y en la medida de lo posible se alinearan a los límites de las siguientes unidades de análisis:

1. Ecorregiones marinas del Golfo de California (Wilkinson et al., 2009) requeridas para asignar metas de conservación por ecoregión.
2. Unidades de manejo del Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California (SEMARNAT, 2006), necesario para que, en la medida de lo posible, las reservas se alineen a instrumentos legales de manejo regional.
3. Unidades de análisis de conectividad (Soria et al., 2012, 2014), utilizadas para incorporar aspectos de conectividad entre las reservas.
4. Unidades del modelo Atlantis (Morzaria-Luna et al., 2013), utilizado para estimar el costo económico a pescadores, que estará basado en estimaciones de abundancia, biomasa y valor de la pesca de especies selectas generada con dicho modelo.
5. Humedales costeros (varias fuentes de información) y ecosistemas/hábitats críticos para especies marinas incluidas en el ejercicio de planeación.

Proceso de planeación

El proceso de planeación se basará en el marco de referencia propuesto por Pressey y Bottrill (2008), quienes describen once etapas que cubren los principales factores ecológicos, sociales y económicos a considerar en un proceso de planeación para la conservación marina (Ban et al., 2013). Si bien, el proceso de planeación en la RGI no seguirá de forma estricta todas las etapas descritas en dicho estudio, el proyecto incluirá las más relevantes con base en los requerimientos, disponibilidad de información y contexto regional. Lo anterior con el fin de asegurar que el diseño de la red de reservas

sea robusto desde el punto de vista ecológico y viable socioeconómicamente. Así como también, pretenderá facilitar la implementación y el cumplimiento por parte de los usuarios (actores que realizan su actividad pesquera en el área de planeación), y promoverá la provisión de beneficios económicos (i.e. pesquerías locales).

El proyecto se divide en dos fases: (1) diseño de la red de reservas marinas y (2) dar a conocer la propuesta de red de reservas marinas a los usuarios (i.e. pescadores ribereños e industriales) y agencias de gobierno relacionadas con la conservación y la pesca, en los diferentes niveles (federal, estatal y municipal), para su aceptación e implementación. A continuación, se describen las actividades que dentro de cada etapa fueron realizadas y discutidas durante los talleres (10-12 julio 2013 Sonora, México y 11-12 noviembre 2013 Arizona, EUA) enfocados en la primera fase. Sin embargo, incluye consideraciones relevantes a la implementación a lo largo de todo el proceso.

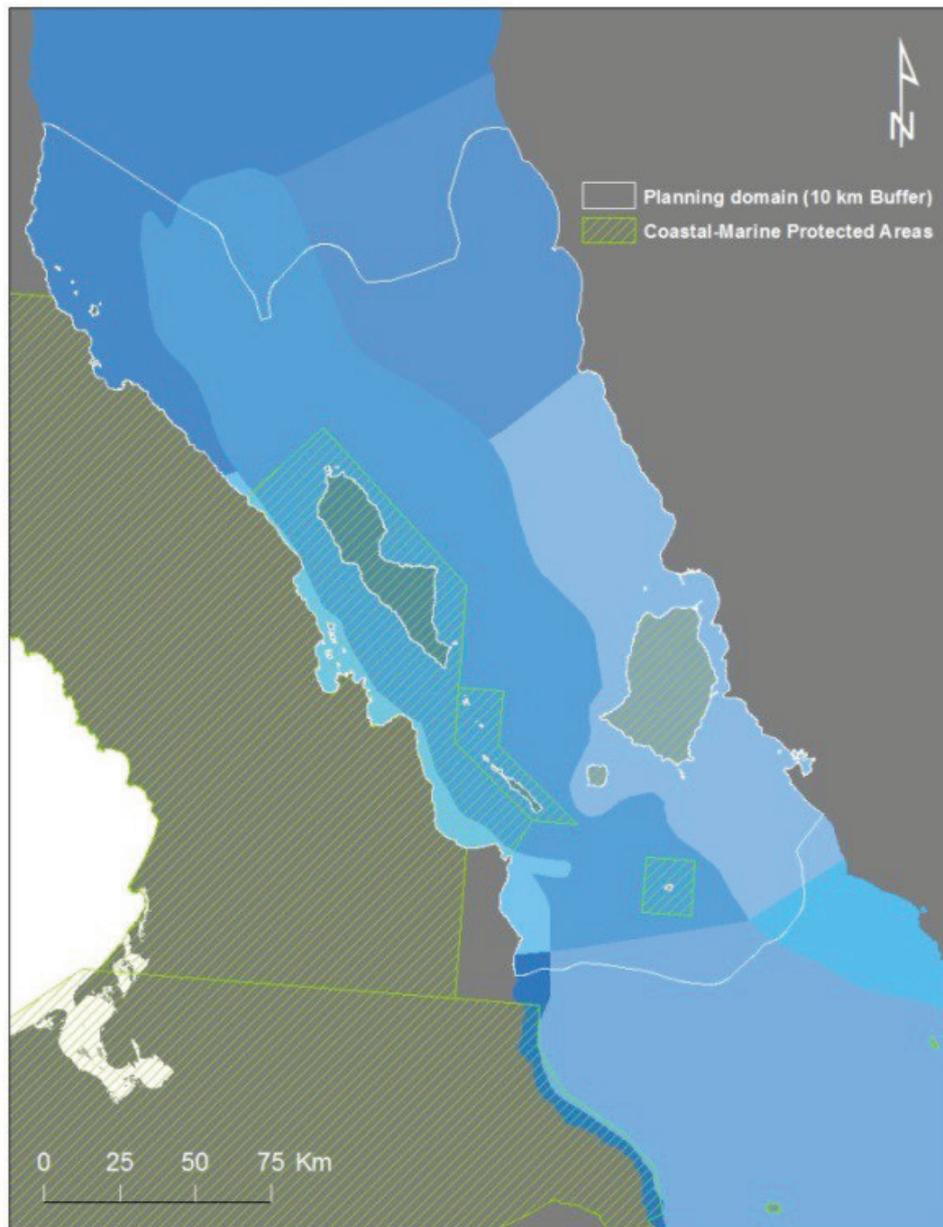


Figura 2. Área de planeación para el diseño de la red de reservas marinas en la Región de las Grandes Islas, Golfo de California

Alcance

A través del presente documento se explican detalladamente las diferentes etapas e insumos para diseñar una red de reservas marinas completamente protegidas (i.e. zonas de no pesca, o no extracción) que proteja a especies de invertebrados y peces asociados a los arrecifes rocosos costeros en la RGI, con especial atención a especies amenazadas y comerciales. Así como a hábitats importantes para estas especies (i.e. arrecifes rocosos, manglares y bosques de *Sargassum*). A través de esta red, se pretende restringir las actividades pesqueras (incluyendo la industrial, pequeña escala o artesanal, y deportiva) y de otros tipos de extracciones, dentro de áreas identificadas como prioritarias para la conservación marina. El objetivo de esta red de reservas es restaurar aquellos sitios que han sido mermados por las actividades pesqueras, así como aquellos sitios identificados con una alta diversidad y productividad pesquera para lograr beneficios en términos pesqueros en el largo plazo. Estos objetivos se cumplirán logrando un balance en el que no se perjudique significativamente la economía de la región.

El diseño de esta red de reservas contemplará el efecto del cambio climático sobre las funciones ecológicas. En particular, con relación a la conectividad ecológica entre las zonas de no pesca. Por ejemplo, se busca mantener el intercambio de larvas de especies prioritarias para lograr salvaguardar poblaciones viables desde el punto de vista ecológico y pesquero. Es importante puntualizar que esta red de reservas no estará diseñada para la protección y manejo de otras especies prioritarias y/o comerciales distribuidas en la región (i.e. peces pelágicos/migratorios, mamíferos, tortugas y aves marinas), para las que otras estrategias de protección o manejo más adecuadas son necesarias.

El ejercicio de planeación estará guiado con base en los siguientes criterios ecológicos y socioeconómicos para asegurar su efectividad y facilitar su implementación y negociación con los principales actores involucrados (i.e. pescadores de las diferentes comunidades costeras en la región y agencias de gobierno a cargo de la conservación, manejo e investigación de los recursos marinos):

1. *Restringir el establecimiento de las reservas a zonas someras/costeras.* En términos generales, el área de planeación excluirá zonas profundas (más allá de la isobata de los 200 m), debido a los siguientes criterios: a) la información científica sobre especies y hábitats de zonas profundas es fragmentada y poco confiable, b) la actividad de pesca artesanal es mínima, c) los arrecifes rocosos se encuentran principalmente en la zona costera, y d) facilitar las actividades de vigilancia.
2. *Limitar el número y dispersión de las reservas.* Entre más dispersas y mayor sea el número de zonas de no pesca, su implementación (negociación y vigilancia) y evaluación de efectividad (beneficios ecológicos y socioeconómicos) será más difícil.
3. *Minimizar el tamaño de las reservas.* La delimitación de zonas de no pesca relativamente pequeñas (entre 1 y 9 km²) incrementará la aceptabilidad socio- económica y el cumplimiento por parte de los usuarios (i.e. pescadores ribereños). No obstante, el tamaño mínimo estará restringido por los requisitos ecológicos de especies focales, en particular con respecto al área mínima requerida para mantener poblaciones viables de dichas especies.
4. *Ajustar el diseño a las condiciones regionales y locales.* Las características biofísicas y socioeconómicas de diferentes áreas requerirán ajustes a diseños preliminares de la red de reservas (tamaño, forma y configuración) a lo largo del proceso de diseño e implementación.

La implementación de los criterios ecológicos y socioeconómicos descritos anteriormente requiere del ajuste de las unidades de análisis/planeación. Lo cual se logrará ajustando el tamaño de las unidades, de modo que se cumplan los requerimientos ecológicos de tamaño poblacional mínimo de especies

selectas (i.e. la cabrilla sardinera, *Mycteroperca rosacea*, especie de depredador tope más abundante en los arrecifes rocosos de la RGI). Para ello se calculará el tamaño de reserva mínimo necesario para contener al menos 100 individuos de dicha especie, mismo que variará con los niveles de productividad primaria modelados para la región (Ayala- Bocos et al., 2011; Suárez-Moo et al., 2013; Reyes-Bonilla et al., en prensa; Saavedra- Sotelo et al., en prensa).

Actores

El principal actor contemplado en el ejercicio de planeación son los pescadores ribereños, cuyas actividades se circunscriben a los arrecifes rocosos costeros dentro del área de planeación de la RGI y ecosistemas asociados. El ejercicio de planeación buscará, en la medida de lo posible, y con los límites dictados por la información disponible, diseñar una red de reservas que distribuya de forma equitativa los costos socioeconómicos asociados con su implementación. Lo anterior, considerando la distribución del esfuerzo pesquero de las diferentes comunidades y, tomando en cuenta las diferencias en la capacidad de adaptación y vulnerabilidad económica de las mismas (i.e. la existencia de fuentes alternas de ingreso).

Existen otros actores importantes que también utilizan los arrecifes rocosos, como son: pescadores deportivos, buzos, turismo, y la pesca industrial de sardina, merluza y arrastre de escama (i.e. cochito, lenguado, otros). Otro actor que realiza sus actividades dentro del área de planeación son los camaroneros, pues pescan a profundidades de cinco brazas en adelante. Sin embargo, se espera un nivel bajo de conflicto con éste debido a que su distribución difiere en el tipo de ecosistema (zonas arenosas). Ninguno de estos actores, excepto los sardineros, serán contemplados en este ejercicio, ya que su actividad es mínima o extinta en las zonas de arrecife rocoso costero.

La pesca industrial de sardina será contemplada en este proyecto, debido a que la actividad de esta pesquería se realiza en algunas zonas rocosas no tan profundas. Además, existe información sobre la distribución espacial y el valor económico de esta actividad pesquera en la región que permite incluirla en el modelo de costos a desarrollarse.

Derivado de las diferencias en los costos en los dos tipos principales de actores en la región, se propone realizar dos ejercicios independientes en recursos y tiempo. El primero será incluyendo al sector de pesca industrial (sardina), mismo que se desarrollará a escala espacial gruesa utilizando la información derivada del modelo Atlantis (Ainsworth et al., 2011). Esto se hará para la primera “corrida” del programa Marxan en el 2013. El segundo ejercicio únicamente considerará a la pesca ribereña, pero desarrollándolo a una escala más fina basado en la información derivada del proyecto PANGAS (Moreno-Báez et al., 2010, 2012). Los resultados de ambos ejercicios (i.e. propuestas de redes de reservas) se compararán para identificar diferencias en la configuración de la red de reservas y determinar si existe conflicto entre estos dos actores.

Objetivos

El ejercicio de planeación estará enfocado en cuatro objetivos principales, que fueron simplificados con base en la propuesta discutida durante el taller (julio 10-12, 2013) con el grupo de expertos del proyecto (Tabla 1). Estos objetivos podrán revisarse y ajustarse dependiendo de la información que logre compilarse para formular metas cuantitativas y, si fuese necesario, delimitar el alcance del proyecto en sus diferentes etapas. Así como también, deberán ser traducidos en metas, preferiblemente cuantitativas y con un componente temporal, relativas a cada uno de ellos y considerando los requerimientos ecológicos y socioeconómicos de los actores principales.

1. *Representación de la biodiversidad marina.* La red de reservas deberá ser representativa de la

biodiversidad marina de la RGI. En particular de las especies de invertebrados y peces asociados con arrecifes rocosos, y de los hábitats asociados críticos para el desarrollo de estas especies (i.e. arrecifes rocosos, manglares, bosques de *Sargassum* y humedales costeros).

2. *Conectividad ecológica*. La red deberá permitir que se mantenga la viabilidad poblacional de especies selectas de invertebrados y peces (i.e. especies de importancia comercial y ecológica para la conservación) al asegurar un número mínimo de larvas reclutadas localmente y entre las zonas de no pesca.
3. *Beneficio económico*. El establecimiento de la red deberá contribuir a mantener la sustentabilidad económica de la pesca ribereña asociada con arrecifes rocosos, al proteger áreas de reproducción y desarrollo de especies de invertebrados y peces de importancia comercial, de modo que se asegure un nivel mínimo de exportación/reclutamiento en zonas de pesca.
4. *Cambio climático*. El diseño de la red de reservas deberá ser adecuado para mantener sus beneficios en el mediano y largo plazo, considerando las perturbaciones asociadas al cambio climático. En particular, aquellas relacionadas con cambios en los patrones de conectividad asociados con la modificación del tiempo de vida larvario de especies comerciales.

Metas de conservación

Para que los objetivos puedan ser incorporados en Marxan y guíen el diseño de la red de reservas, los objetivos se traducirán en metas cuantitativas, las cuales se referirán a la representación de las especies seleccionadas (Anexo 1) y los hábitats descritos anteriormente. Así como al mantenimiento de determinados niveles de conectividad entre las zonas de no pesca (i.e. conectividad ecológica) y entre éstas y las áreas de pesca (i.e. beneficio socioeconómico).

Especies

Las metas para especies estarán definidas con base en la asignación de un porcentaje del área de distribución de las mismas, definido a partir de una serie de criterios (i.e. estado de conservación, condición del hábitat, entre otros), de modo que se asegure un nivel de protección mínimo de 10%, ajustado con base en las características y estado de conservación de la especie. Todos los criterios tendrán el mismo peso y serán estandarizados a valores de 0 a 1. El cálculo de las metas se realizará con la siguiente fórmula, basado en la evaluación de los criterios descritos adelante:

$$\text{Meta} = 10\% + (10\% \times A) + (10\% \times B) + (10\% \times C) + (10\% \times D)$$

- A. *Estado de conservación*. Se asignarán metas más altas a especies más amenazadas, evaluado con base en la categoría asignada a cada especie en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés; IUCN, 2012) y la Norma Oficial Mexicana-059 (NOM-059, 2010);
- B. *Heterogeneidad*. Se asignarán metas más altas a especies cuya distribución sea más discontinua, evaluado con base en el tamaño de parches continuos.
- C. *Rareza*. Se asignarán metas más altas a especies raras con base en una evaluación de su distribución en la región; para invertebrados se estimarán los valores y para peces se consultará Fishbase (Froese y Pauly, 2012);
- D. *Vulnerabilidad*. Se asignarán metas más altas a especies con una vulnerabilidad intrínseca mayor; para las especies de invertebrados se estimarán los valores y para las especies de peces se utilizarán

los valores estimados en FishBase (Froese y Pauly, 2012).

Hábitats

Las metas para los hábitats se establecerán de forma similar con base en la distribución en la región y estado de conservación de los mismos, asignando metas más altas a hábitats con distribución más restringida y que se encuentren más amenazados, por ejemplo por contaminación asociada al desarrollo costero (Álvarez-Romero et al. 2011).

Otras consideraciones

La replicación es un factor adicional que se consideró importante incluir tanto para especies, como para hábitats. Esto con el fin de asegurar la representación de diferencias en la composición de comunidades en diferentes biorregiones, debido a un conocimiento limitado de algunas áreas en la RGI. Así como también para asegurar la réplica en caso de eventos catastróficos. Este factor podría incorporarse asignando metas bajas a las ecorregiones marinas o asignando metas individuales a cada especie y hábitat por ecorregión.

El valor final podría ponderarse para asignar metas mayores a especies que habitan los arrecifes rocosos y menores a aquellas especies que sólo se asocian con este tipo de ecosistemas.

Recopilación de información

La información que se describe a continuación representa una compilación extraordinaria de datos producto de esfuerzos de múltiples instituciones, y que asegura la utilización de la mejor información disponible para el proyecto.

Datos de biodiversidad

El desempeño de la herramienta de optimización dependerá de la calidad de información utilizada para representar los objetos de conservación (i.e. especies y hábitats). Para asegurar la mejor calidad posible, se ha compilado una base de datos espacial de registros de especies y áreas de distribución de hábitats. Los registros de especies se está utilizando en un ejercicio de modelación del nicho ecológico (MaxEnt, Elith et al., 2011), el cual es descrito más adelante.

1. *Estrategias de manejo espaciales*. Con relación a las estrategias de manejo espaciales existentes en la RGI, se cuenta con información de las áreas marinas protegidas, que incluyen una zonificación (amortiguamiento y núcleo) y de los sitios Ramsar. Las cuales se considerarán en las corridas de Marxan, ya sea para modificar los costos o para forzar la selección de algunas de estas áreas (i.e. zonas núcleo ya decretadas) como parte de la red de reservas.
2. *Hábitats*. Los objetivos se han enfocado en los hábitats que son más relevantes para las especies de interés para la conservación (asociados al arrecife rocoso) y para aquellos en los que se tienen datos espaciales:
 - *Manglares*. Mapas de distribución basados en imágenes de satélite SPOT del 2010 (CONABIO, 2013).
 - *Pastos marinos*. Registros puntuales proporcionados por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP, por sus siglas en inglés) y mapas de distribución para el Canal del Infiernillo (Torre, 2002; López-Calderón et al., 2010; López-Calderón, 2012; Riosmena-Rodríguez et al., 2012).
 - *Bosques de Sargassum*. Compilados de diversas fuentes ya publicadas (Pacheco-Ruiz et al., 1998) o datos no publicados de alguno de los expertos que asistieron al taller.

- *Arrecife rocoso*. Mapa del tipo de costa (Ulloa et al., 2006), el cual es utilizado para crear las variables de predicción de los modelos de abundancia/biomasa y los modelos de distribución de especies.

Los mapas de distribución de estos hábitats serán complementados con información generada o compilada por alguno (s) de los expertos que asistieron al taller. Así como también a través de la consulta de información publicada (i.e. pastos marinos, manglares). Además, se consideró necesario incluir otros hábitats (i.e. humedales costeros/marismas, mantos de rodolitos) que son de importancia ecológica para las especies de interés y que no habían sido considerados en el proyecto desde un principio. La información será complementada por una o ambas de las fuentes mencionadas anteriormente. Para alguno de los hábitats (i.e. mantos de rodolitos) se sugirió no crear buffer, debido a que su tamaño es muy variable y no se sabe con exactitud su extensión.

3. *Censos submarinos*. Se cuenta con información de censos de invertebrados y peces derivados de proyectos de investigación realizados por diferentes instituciones de la región (CBMC, COBI, PANGAS, PNO y UABCS). Esta información será utilizada para generar los modelos de distribución de especies, y para la evaluación de la relación entre nicho ecológico modelado (MaxEnt; Elith et al., 2011) y abundancia. Así mismo, la información será utilizada para generar los modelos de abundancia y biomasa requeridos para el modelo de costo de oportunidad a escala espacial fina (segunda fase).
4. *Especies seleccionadas*. Debido a la escasez de registros en algunas áreas y a la naturaleza sesgada del registro de ocurrencias, y con base en la información recopilada de registros de especies (i.e. censos submarinos más información de GBIF, SNIB-CONABIO, y Ulloa et al., 2006), se decidió utilizar el algoritmo MaxEnt (Elith et al., 2011) para generar modelos de distribución de especies (i.e. nicho ecológico ambiental) a dos resoluciones: 1 y 9 km². Ambos modelos serán comparados para definir su potencial uso en el ejercicio. Dos de los expertos, adscritos a diferentes instituciones (JCU y UABCS), que participaron en el taller serán los encargados de coordinar la realización de los modelos y la comparación, actualizando los modelos con base a información compilada. En principio, se espera que los modelos a 9 km² de resolución provean información más robusta, debido a que las capas ambientales empleadas como variables predictivas (Tabla 2) en MaxEnt, se interpolaron a una resolución espacial más adecuada a la información original (Figura 3).

Tabla 2. Variables predictivas consideradas en los modelos de distribución de especies generados con MaxEnt

Variable	Descripción
Bati	Batimetría
Clo	Promedio, máximo, mínimo y rango de concentración de clorofila <i>a</i> (climatología); MODIS Aqua resolución 1 km (SATMO-CONABIO)
Nubosidad	Promedio, máximo, mínimo y rango de fracción de nubes (%); 2005-2010, MODIS Terra
Cad	Promedio, máximo, mínimo y rango del coeficiente de atenuación difuso a 490 nm (m ⁻¹); 2002-2009, MODIS Aqua ~10 km (BioRacle)
Rfd	Promedio, máximo, mínimo y rango de la radiación disponible fotosintéticamente (Einstein/m ⁻² /día); 1997-2009, SeaWiFS ~10 km (BioRacle)
TSM	Promedio, máximo, mínimo y rango de la temperatura superficial del mar (climatología); MODIS Aqua resolución 1 km (SATMO-CONABIO)
pH	pH (sin unidades); 1910-2007, World Ocean Database 2009 (BioRacle)

Nitrato	Nitrato inorgánico disuelto y nitrato o nitrito (ml/l): 1898-2009, World Ocean Database 2009 (BioRacle)
Fosfato	Concentración de orto-fosfato reactivo ($\mu\text{mol/l}$); 1992-1986, World Ocean Database 2009 (BioRacle)
Silicato	Concentración de silicato o ácido orto-silícico ($\mu\text{mol/l}$); 1930-2008, World Ocean Database 2009 (BioRacle)
Salinidad	Concentración de oxígeno disuelto ($\mu\text{mol/l}$); 1928-2008, World Ocean Database 2009 (BioRacle)
Calcita	Concentración promedio de calcita ($\mu\text{mol/l}$); 2002-2009, MODIS Aqua ~ 10 km (BioRacle)

A continuación, se presentan ejemplos de modelos de distribución de especies:

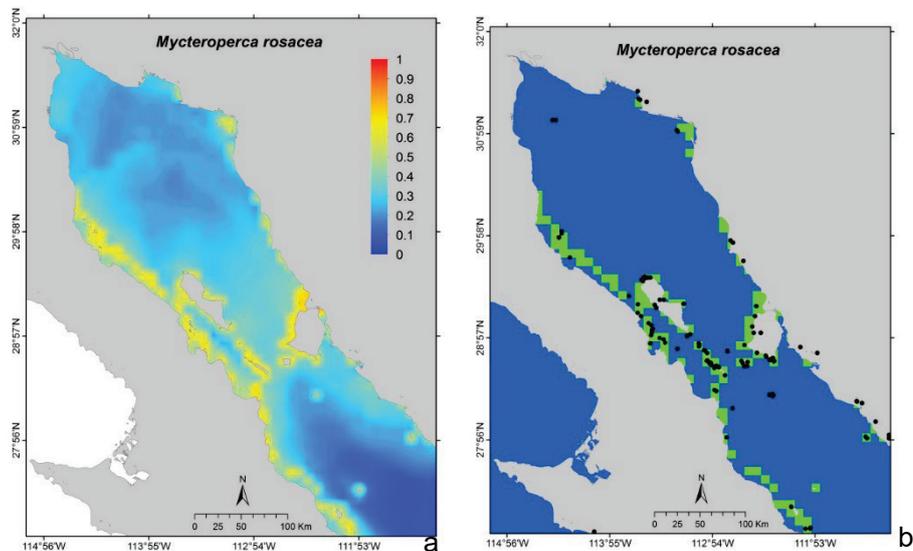


Figura 3. Ejemplo de los mapas de probabilidad de distribución (a) y de presencia/ausencia (b) producidos con MaxEnt para la cabrilla sardinera (*Mycteroperca rosacea*).

5. *Sitios de reproducción/desove.* Una información necesaria para incluir como objetos de conservación y utilizados en el modelo de conectividad larvaria es la ubicación de las zonas de reproducción y desove de la cabrilla sardinera, especie característica de los arrecifes rocosos costeros en la RGI, de la que se tiene mas información y que es de importancia comercial. La información se obtendrá del artículo en preparación de Munguía-Vega et al. (b) (Figura 4).

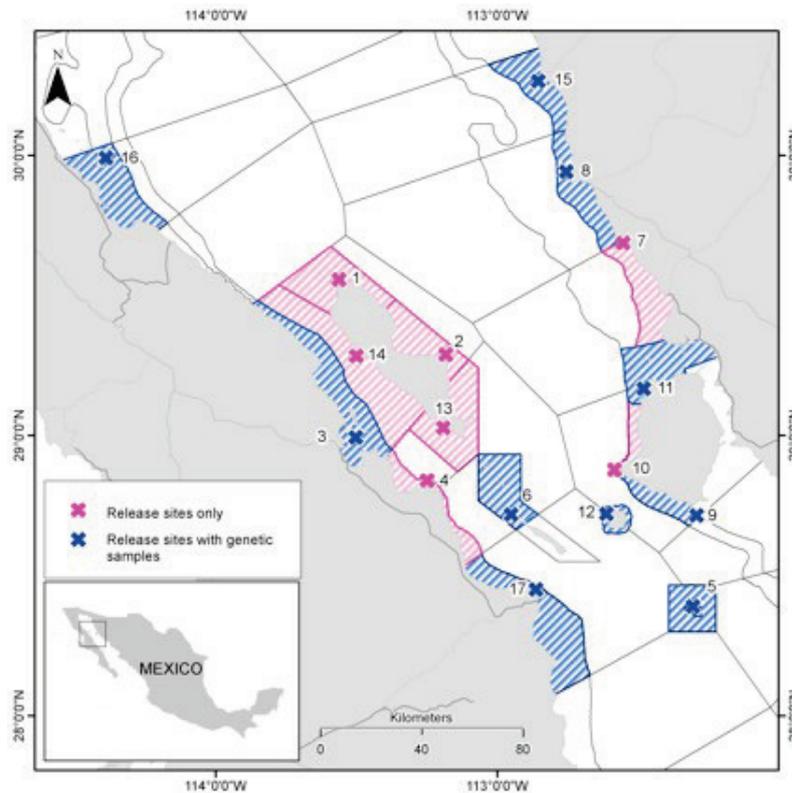


Figura 4. Sitios identificados de reproducción/desove de la cabrilla sardinera para la RGI; y los polígonos de conectividad que se usaran en el análisis Marxan.

A. Datos procesos ecológicos

Conectividad

La conectividad debe de considerarse en el diseño de la red de reservas marinas, para proponer la conservación de sitios exportadores, importadores y sumidero (“retenedores”) como fuentes potenciales de diversidad.

Información científica sobre conectividad para la región es la generada por Soria et al. (2012, 2014) para el callo escarlopa (*Spondylus limbatus*) y la Reserva de la Biosfera Isla San Pedro Mártir, respectivamente, y por Munguía-Vega et al. (a y b) para el callo escarlopa, la jaiba (*Callinectes bellicosus*) y la cabrilla sardinera. En estos estudios se usan modelos oceanográficos de transporte larvario y corroboración de los mismos con información de genética poblacional. A partir de estos trabajos, se resaltó la conservación de sitios autosuficientes, entendido esto como sitios que retienen al menos el 10% de las larvas que en ellos se producen. Así como también, que no existe la necesidad de expandir la zona de estudio para incorporar la conectividad, pero si la necesidad de fijar metas de conectividad en términos de que sitios están reteniendo y exportando más larvas, lo que a su vez permitirá no tomar importancia si se prioriza o no más allá de la zona de estudio.

Un punto importante es el de darle un valor de importancia a los sitios que se han identificado como sitios exportadores, importadores y sumideros de larvas, con el fin de establecerse como objetos de conservación en Marxan. Para esto existen dos opciones: 1) valor para la pesca y 2) valor ecológico. Esto evitará la ruptura de la red de conectividad, la incorporación de la importancia de sitios en términos pesqueros o de conservación y cambio climático.

Mediante el uso de los modelos de conectividad genética y oceanográfica de especies (transporte de larvas) en la región (Soria et al., 2012, 2014; Munguía et al., a, b) se pretenden configurar y parametrizar objetivos en materia de conectividad, que involucren tanto objetivos para la conservación de la biodiversidad como pesqueros. A continuación se describe la planeación de la conectividad desde un enfoque pesquero:

1. Las unidades contribuyen diferencialmente al reclutamiento en zonas de pesca en función de varios factores:

- a) *Abundancia*. El número de individuos en cada unidad de planeación (UP) influirá en la cantidad de larvas que potencialmente pueden ser exportadas; las áreas de mayor biomasa deberán exportar más larvas. Esto puede ser modelado con base en los datos de censos submarinos de invertebrados y peces que se han realizado en la región.
- b) *Proporción de adultos reproductivos*. La proporción estimada de individuos reproductivos en la población. Esto puede ser estimado/modelado con base en los datos de censos submarinos de invertebrados y peces que se han realizado en la región.
- c) *Existencia de agregaciones reproductivas/desove*. Caracterizar las unidades de planeación en términos de su potencial importancia como fuente de larvas (i.e. estimar la probabilidad de que cualquier unidad de planeación es un sitio de reproducción/desove). Las alternativas para esto son:
 - i) Ubicación y extensión de influencia de las agregaciones de desove a través del conocimiento local o expertos que han trabajado en la región; la distancia de influencia puede ser proporcional a la información documentada (en caso de existir) sobre la magnitud/tamaño de la agregación; múltiples áreas de influencia pueden representar una reducción secuencial en la probabilidad de que las unidades de planeación sean un área de desove.
 - ii) Calcular la distancia inversa de las agregaciones de desove. Este cálculo se puede hacer usando la función distancia-costo, donde el costo puede ser uniforme (i.e. 1) o definida con base a factores oceanográficos ecológicamente relevantes (i.e. batimetría; anomalías en la temperatura superficial del mar; y hábitats, como manglares, pastos marinos, entre otros).
 - iii) Modelos basados en características oceanográficas y ecológicas, por ejemplo, identificar las características ambientales que hacen a un área una buena fuente de larvas. Para esto es necesario contar con información documentada sobre ubicación y magnitud/tamaño de la agregación.
- d) *Potencial recuperación de la pesca (Pesca \sim CPUE)*. Se puede asumir que cada unidad de planeación tiene el potencial para exportar un número adicional de larvas proporcional a la reducción en el esfuerzo pesquero y que este potencial puede ser restaurado si se cierra a la pesca. Para esto es necesario asumir que el potencial es uniforme en todo el paisaje marino, pero la tasa/tiempo de recuperación para alcanzar el nivel "prístino" dependerá del estado de la pesca en ese momento, por ejemplo, la recuperación puede ser expresada como una función no lineal de la reducción del esfuerzo pesquero.

Una vez que cada unidad de planeación ha sido caracterizada en términos de su potencial para exportar larvas, el siguiente paso es la unión de cada unidad de planeación a: a) áreas prioritarias para la conservación (por especie o grupo de especies), y b) áreas de pesca. Para esto, la información que se menciona arriba puede ser usada para parametrizar (i.e. en términos del número de larvas/partículas para ser liberadas) el modelo de dispersión larval. Una vez que el

modelo se corre, se puede calcular una matriz indicando el número de larvas que espera recibir cada unidad de planeación de cada una de las otras unidades; este número puede representar el número máximo teórico que puede recibir cada unidad de planeación asumiendo un cierre total a la pesca (cumplimiento y recuperación total).

Dos matrices se pueden calcular, una con base a la exportación actual de larvas y otra con base al máximo. Por lo tanto, el objetivo se puede establecer como el porcentaje deseado de recuperación/incremento en el número de larvas recibidas por un área de pesca definida, debido a que estas pueden no ser binarias. Esto más bien representará niveles de pesca a los que se le pueden asignar pesos, un valor de 1 para áreas con altos niveles de pesca y su reducción proporcional conforme la intensidad en el área de pesca disminuye. Para cada área de pesca se sabrá que unidad de planeación contribuye al reclutamiento y que tanto es esta contribución, es decir, se centrará en las unidades de planeación basadas en su potencial contribución a las áreas de pesca y, las áreas de pesca pueden ser agrupadas por familia y dirigirse a cada área de pesca como capa individual.

Un enfoque similar puede ser utilizado para las áreas prioritarias para la conservación, las cuales primero pueden ser identificadas corriendo Marxan solo con fines de representación y conociendo después que unidad de planeación contribuye más al reclutamiento o en otras palabras el número de larvas que recibe de cada unidad de planeación. Con esto, Marxan seleccionará aquellas unidades que más contribuyen a la unidad o grupo de unidades para minimizar el costo y no necesariamente seleccionará unidades adyacentes (idealmente) debido a que el modelo de dispersión larval estimará un bajo reclutamiento de los sitios más adyacentes, más de los intermedios y otra vez menor de los más lejanos.

- e) *Ubicación de cada unidad de planeación en relación al área de pesca.* Algunas zonas de reproducción/desove contribuirán más o menos al reclutamiento en las áreas de pesca si estas se ubican en el lugar correcto; esto en términos de distancia/tiempo y corrientes, así como de la "capacidad" de las áreas de pesca para recibir nuevos reclutas dependiendo de la calidad del hábitat u otras características.

Basado en los supuestos mencionados anteriormente, la potencial exportación larval (PEL) de cada unidad de planeación puede ser calculada como:

$$PE = [(A \cdot P) + (A \cdot F^{-1})] \cdot S$$

Por lo tanto, a cada unidad de planeación se le asignará un valor en función del modelo potencial de exportación larvaria (basado en las biomásas actuales estimadas) al multiplicarlo por 1 si se exportan más larvas de especies que son capturadas (especies comerciales).

2. Las áreas de pesca deben de recibir un número mínimo de reclutas de las reservas marinas (zonas de no pesca) para mantener números poblacionales buenos.

Cambio climático

En el Golfo de California, The Nature Conservancy (TNC) y World Wildlife Fund (WWF) han calificado la amenaza del cambio climático como alta para bajos costeros y sustratos suaves, estuarios/esteros, marismas, y especies migratorias; y medio para especies insulares, arrecifes rocosos y fondos rocosos, montañas submarinas y línea costera. Su impacto se verá reflejado en los cambios en tiempo de monzones o altas temperaturas y menos precipitación durante la estación seca; los episodios de El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) se espera incremente en frecuencia e intensidad, causando a su vez un potencial impacto en las poblaciones marinas (i.e. cambios en la composición de

especies debido a la migración de especies no pertenecientes al Golfo a la región, cambios en la agregaciones de desove, entre otros).

La incorporación del cambio climático a la conectividad puede realizarse a través del modelo Atlantis (Ainsworth et al., 2011) con dos posibles opciones: 1) realizar una colaboración con expertos de otras instituciones de investigación (CICESE) para la alteración de los modelos ROMS (Regional Ocean Model System) de acuerdo a los diferentes escenarios del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), para luego incorporar los cambios de corriente y temperatura al modelo, e 2) incorporación directa del cambio en el tiempo de vida larvaria (PLD, por sus siglas en inglés) asociado con cambios de temperatura. La desventaja del primero es que se requiere de un año para obtener estos resultados y del segundo que el impacto del cambio climático se verá reflejado en los patrones de conectividad (intercambio larval y dinámica de sitios fuente-sumidero) a causa de un solo factor, temperatura, dejando fuera el efecto de otras variables (i.e. salinidad, nutrientes, hidrodinámica).

B. Datos socioeconómicos

Una parte fundamental del proceso de planeación es la inclusión de información socioeconómica con el objetivo de minimizar el impacto económico asociado con la implementación de medidas de manejo (i.e. restricción de actividades pesqueras). Para ello, es necesario entender la distribución espacial de las actividades de los actores principales (pesca ribereña e industrial de sardina) y el valor económico/comercial de las mismas para que esta información se incorpore en el ejercicio de planeación.

Escenario de costos

1. *Esfuerzo pesquero*. Se considera construir una aproximación del esfuerzo pesquero (costo por unidad de esfuerzo, CPUE) con base al Sistema de Información Geográfica (SIG) generado en PANGAS, que describe la distribución espacial de la pesca ribereña en la región. En la figura 5a se muestra una versión simplificada de la base de datos en el que se representa el número de veces que una zona de pesca, independientemente de la comunidad y de la especie, se superpone con otras zonas de pesca.
2. *Costos regionales multisectoriales*. Una manera simple de representar el costo de oportunidad en una escala relativa sería el de explorar las diferencias en la distribución espacial de las zonas de no pesca utilizando datos de costo de escala gruesa, como los generados en la planeación ecoregional del Golfo de California (Ulloa et al., 2006). Este conjunto de datos representa el área total utilizada por las diferentes pesquerías (i.e. peces, tiburones, moluscos) y asigna un costo diferencial en función del valor de las pesquerías (Figura 5b).
3. *Costo de oportunidad para pesca ribereña*. Generación de modelos de costos de oportunidad utilizando el método propuesto por Adams et al. (2011), el cual calcula este costo para los pescadores con base a su desplazamiento al establecerse áreas marinas protegidas. Modelo que básicamente es la suma de los costos para diferentes artes de pesca utilizando las abundancias y biomásas modeladas, el porcentaje de pesca por especie/arte y el valor económico para cada una. Para ello se generarán dos modelos a diferentes escalas espaciales:
 - a) *Escala gruesa*. El modelo se generará utilizando la información disponible sobre: distribución de especies (modelos de nicho ecológico generados durante el proyecto); abundancia y biomasa (modelos generados en el modelo Atlantis utilizando los modelos de nicho ecológico); y valor económico de la captura (también generados en Atlantis), basado en datos de pesquerías de investigaciones e información compilada, proporcionada por pescadores y permisionarios y, por algún (os) experto (s) o personal de las instituciones participantes en el taller.

- b) *Escala fina*. Siguiendo el mismo método, pero basado en información a escala más fina para abundancia y biomasa (modelos generados con información de censos submarinos) y de distribución espacial de la pesquería (derivada del proyecto PANGAS). El costo de oportunidad c_j para cada tipo de arte de pesca j puede ser calculado siguiendo la siguiente fórmula:

$$c_j = \sum_{i=1}^n p_{ji} a_i b_i m_i$$

n = número de especies para cada tipo de arte de pesca

p_{ji} = porcentaje de captura para cada tipo de arte de pesca j de especies i a_i = abundancia estimada de especies i

m_i = valor de mercado de especies i

Entonces el costo de oportunidad total, c , para cada celda de la cuadrícula 1 km se puede calcular como la suma de los costos de oportunidad de todos los tipos de artes de pesca ponderados por la proporción actual, w_j , del número total de pescadores que representa cada tipo de arte de pesca (obtenido de la base de datos de PANGAS, suponiendo que esto es una muestra representativa de la proporción de pescadores que utilizan cada arte de pesca):

$$c = \sum_{j=1}^J w_j c_j$$

w_j puede ser calculada como el número de pescadores que utilizan cada arte de pesca, j , dividido por el número total de pescadores. Este enfoque refleja la distribución actual de los tipos de artes de pesca en las flotas pesqueras, reconociendo que un sitio de pesca no está disponible exclusivamente para la pesca con cualquier tipo de arte de pesca.

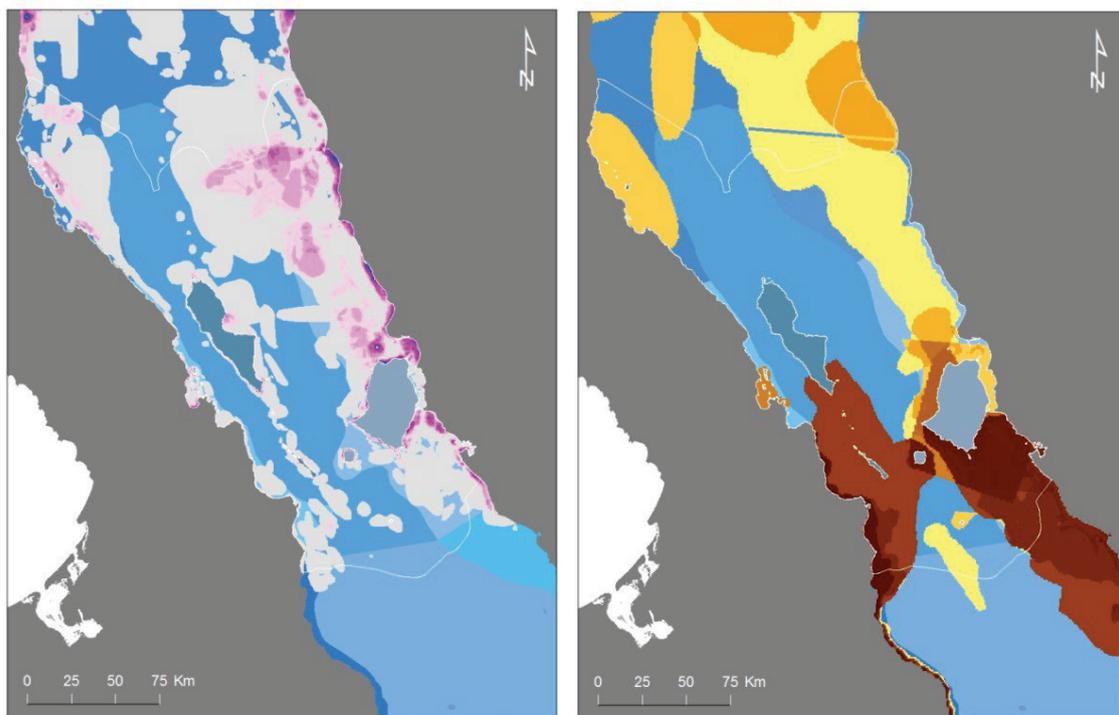


Figura 5. (a) zonas de pesca superpuestas (PANGAS) y (b) costo para múltiples tipos de pesca (Ulloa et al., 2006).

A continuación se detallan algunos de los factores para el cálculo del costo de oportunidad, mientras que otros (modelos de abundancia y biomasa) no se mencionan debido a que son generados en el modelo Atlantis:

Valor de mercado

El valor de mercado de las especies se obtiene de dos fuentes principales: 1) Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, 2011), el cual se refiere a los precios de mayoreo y menudeo de productos comercializados en la ciudad de México; y 2) precio de venta en playa (precio pagado directamente al pescador por un permisionario o cooperativa pesquera) para aquellas especies en las que no se tiene información, el cual es obtenido a través del conocimiento local de pescadores entre los años 2006 y 2013.

Modelos de porcentaje de captura por arte de pesca

Para cada tipo de arte de pesca, Adams et al. (2011) sugiere comparar la abundancia estimada de las especies de peces comerciales (alimento) con el número de peces capturados en los reportes de CPUE y expresarlo como porcentaje de captura (captura/abundancia). El porcentaje de captura puede ser modelado espacialmente para cada tipo de arte de pesca a través de toda el área de planeación mediante el uso de análisis de regresión múltiple. Las variables de predicción de éste modelo pueden incluir algunas de las listadas en la tabla 3.

Tabla 3. Ejemplo de variables de predicción para ser consideradas en los modelos de porcentaje de captura.

Variables	Descripción
Tiempo	Cantidad de tiempo invertida pescando por pescador, determinado de los datos de CPUE
Tiempo ²	Cantidad de tiempo invertida pescando por pescador elevado al cuadrado
Pescadores	Número de pescadores pescando juntos, determinado de los datos de CPUE
Área	Área en km ²
Ao	Abundancia observada de especies focales
Ao/km ²	Abundancia observada de especies focales por km ²

Implementación, mantenimiento y monitoreo

La implementación de una red de reservas marinas completamente protegidas (zona de no extracción) en un área extensa como lo es la RGI, en la que se incluya la conectividad entre las reservas y con una compleja situación económica no es un objetivo fácil de alcanzar en el corto plazo (1 ó 2 años). Debido a estos factores, así como por la disposición de los usuarios a apoyarla y a la voluntad o los tiempos (i.e. elecciones) políticos, este es un objetivo que se vislumbra en el mediano plazo (5 ó 6 años). Sin embargo, en el diseño de la red de reservas marinas se han incluido una serie de consideraciones relevantes para su aceptación y factibilidad de implementación (i.e. restringir su establecimiento a zonas costeras someras, limitar el número y dispersión de reservas, diferencias en el costo de los actores involucrados).

Además, a través de un proceso colaborativo entre usuarios (i.e. pescadores ribereños) y agencias de gobierno encargadas de la conservación y pesca, en los tres niveles (federal, estatal y municipal), con el apoyo de las organizaciones de la sociedad civil, se dará a conocer la propuesta de red de reservas marinas con el fin de diseñar e identificar las herramientas legales que permitan potencializar su éxito.

Selección de áreas para la conservación

A continuación se presentan y describen algunos de los productos que se espera generar a partir de este proyecto. Siendo importante señalar que estos son una prueba piloto, debido a que no consideran las necesidades identificadas y discutidas durante el taller para el diseño de la red de reservas marinas en la RGI.

1. Unidades de planeación a utilizarse como base para los análisis con Marxan. La figura 6 muestra una propuesta preliminar de unidades de análisis que varía en tamaño acorde con los niveles de productividad primaria. La grátícula presentada incluye el área central (profunda) de la RGI. El tamaño estará definido con base al número de individuos de especies focales objeto de conservación (i.e. *Mycteroperca rosacea*) que pueden mantenerse, estimado con base a los requerimientos energéticos de la especie.
2. Solución preliminar de una red de reservas generada con Marxan. La figura 7 muestra una corrida preliminar piloto que incluye el resultado óptimo (*best solution*) basado en los siguientes insumos preliminares que están sujetos a revisión: metas – se fijaron como 10% del área de distribución de las especies de invertebrados y peces, y 30% de los hábitats (manglares, bosques de *Sargassum*); costos (coincidencia de áreas de pesca ribereña); y distribución de especies modeladas con MaxEnt a 1 Km² de resolución. Las metas serán redefinidas como se describe en la selección de metas; los costos serán sustituidos por un modelo de oportunidad de costo utilizando información del modelo Atlantis; y los modelos de distribución (nicho ecológico) se están afinando con base en información actualizada.
3. Frecuencia de selección generada con Marxan. En la figura 8 se muestra el número de veces que cada unidad de análisis fue seleccionada durante 100 corridas del algoritmo (*selection frequency*) y provee una medida de la irremplazabilidad de las unidades para alcanzar las metas establecidas. Valores más altos (áreas en rojo) son indicativos de áreas irremplazables, mientras que las zonas en azul indican unidades de menor importancia. Las metas, costos e información de distribución de especies y hábitats son las mismas que se utilizaron para generar la solución preliminar de red de reservas (*best solution*) descrito anteriormente. Este tipo de mapa es útil para identificar áreas generales prioritarias de conservación y podrá utilizarse en el proceso de negociación para la delimitación de las reservas marinas.

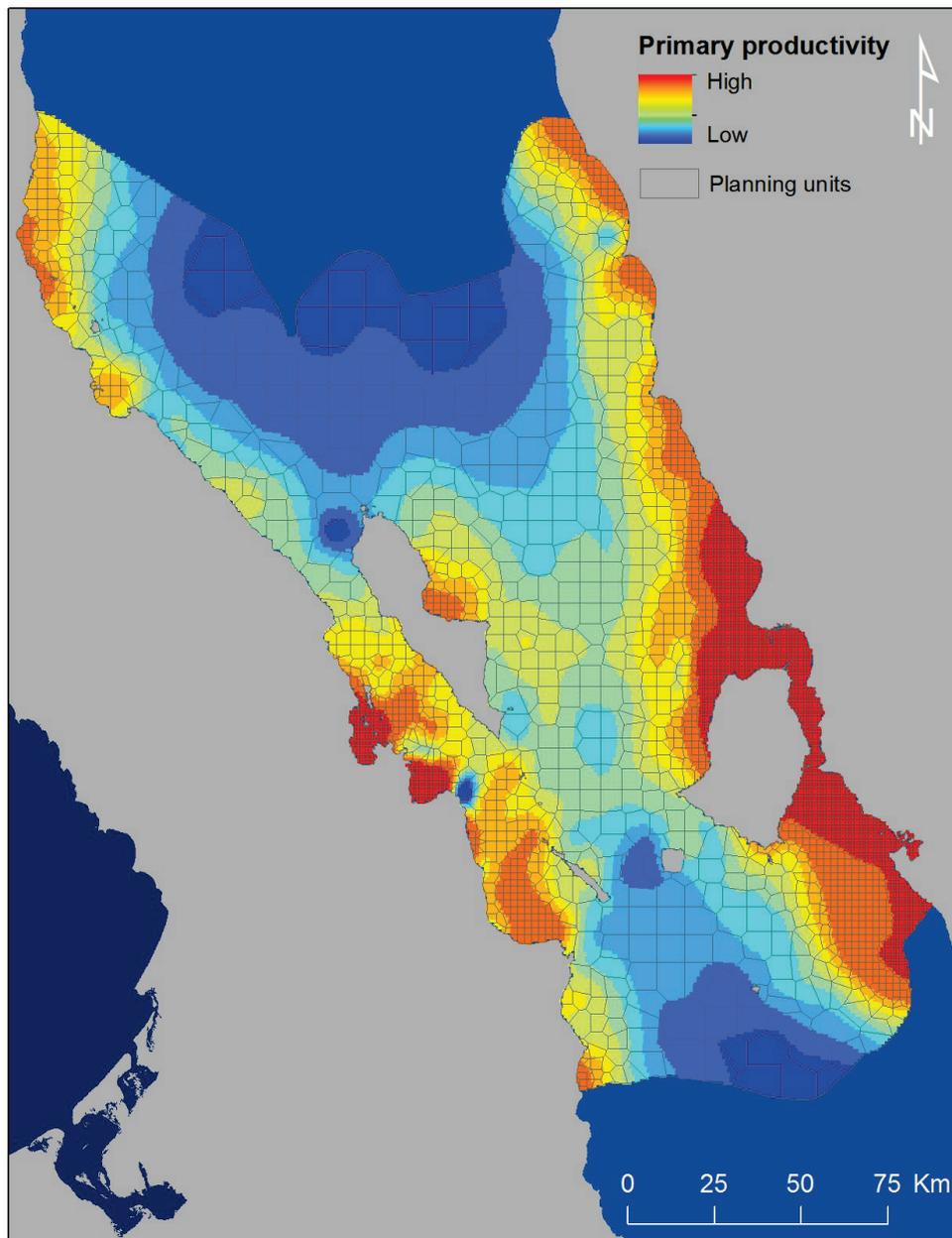


Figura 6. Ejemplo de unidades de planeación a utilizarse como base para los análisis con Marxan.

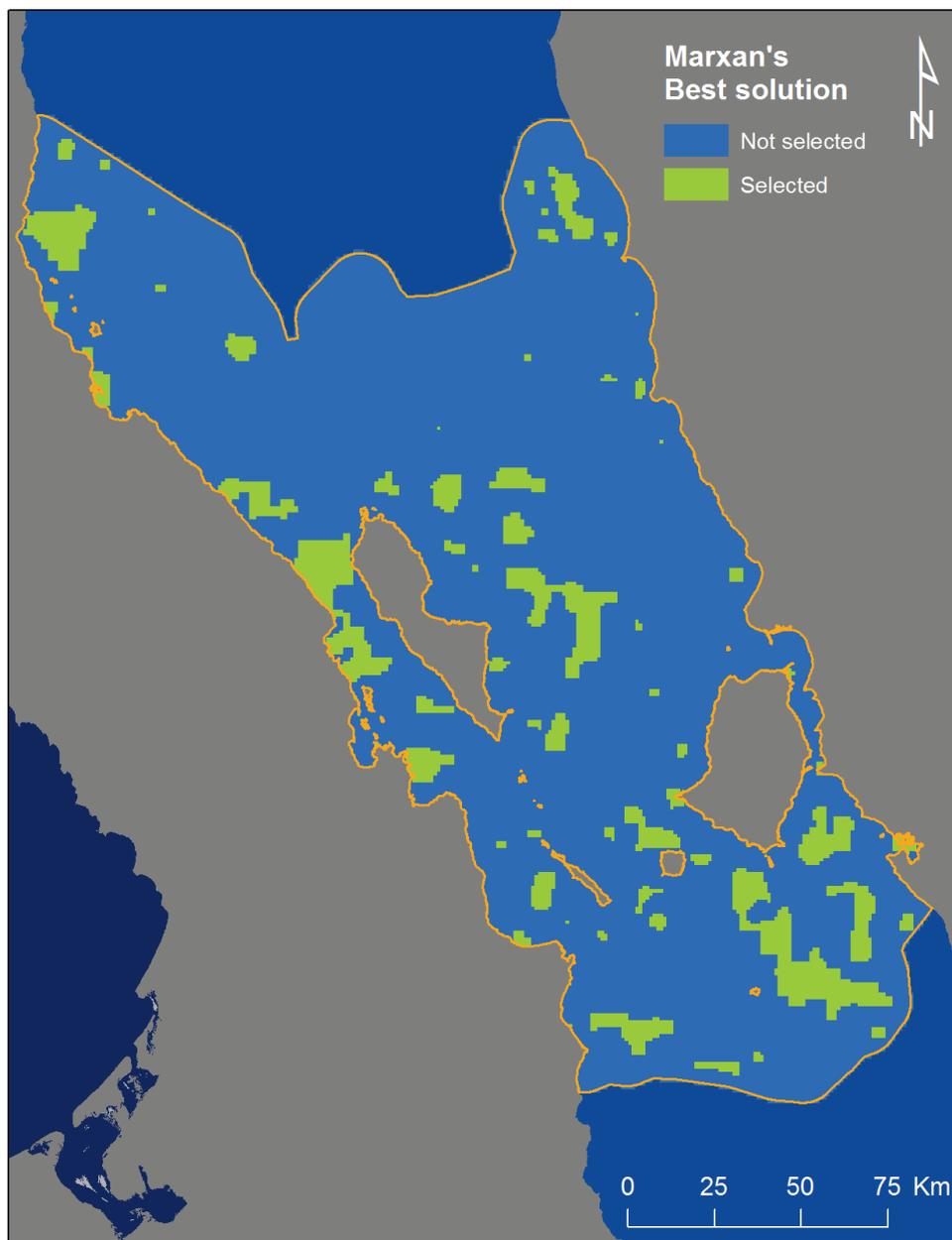


Figura 7. Solución preliminar de una red de reservas generada con Marxa.

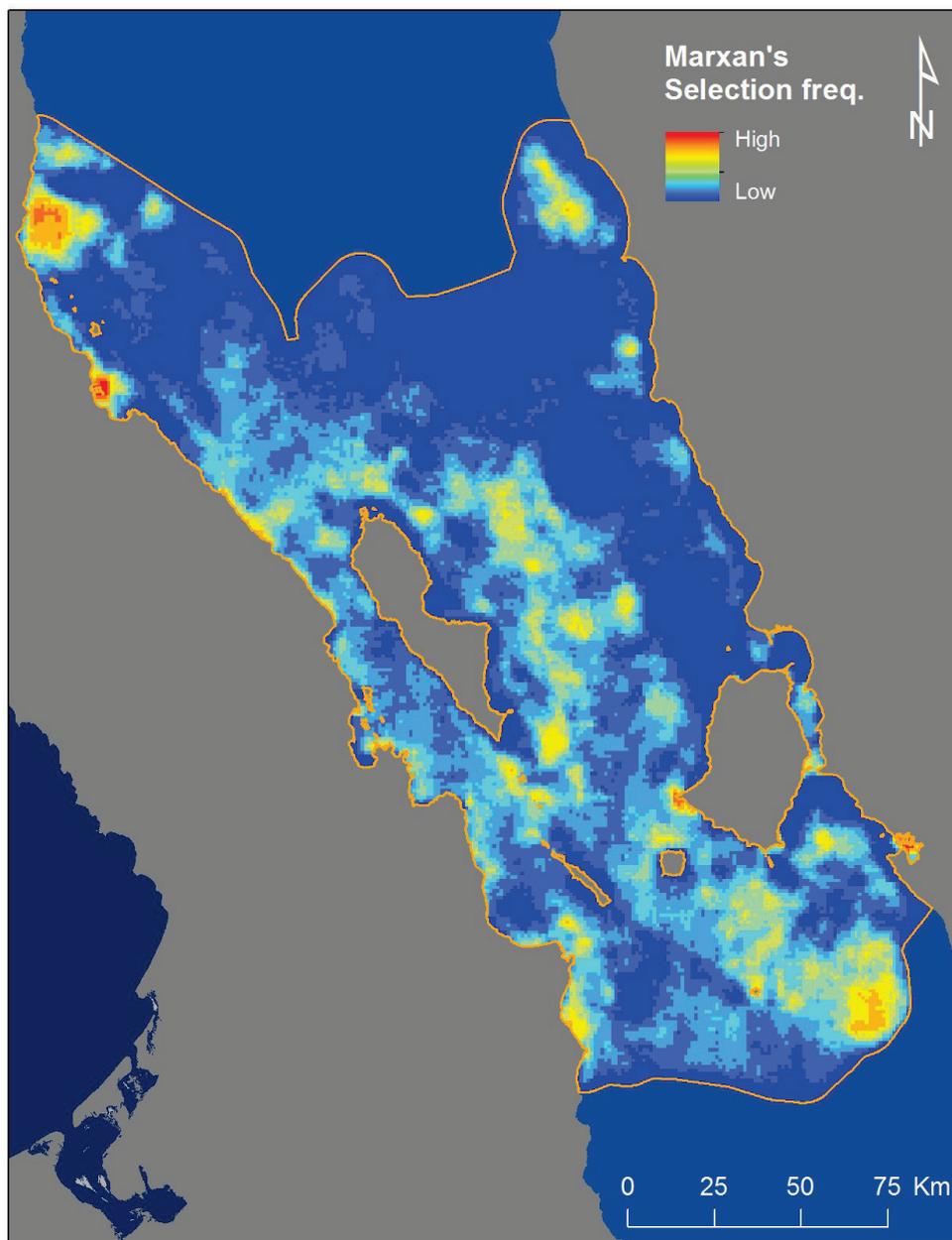


Figura 8. Frecuencia de selección generada con Marxan.

Referencias

- Adams V., Mills M., Jupiter S.D., Pressey B. 2011. Improving social acceptability of marine protected area networks: a method for estimating opportunity costs to multiple gear types in both fished and currently unfished areas. *Biological Conservation* 144: 350-361.
- Ainsworth, C.H., Kaplan, I.C., Levin P.S., Cudney-Bueno R., Fulton E.A., Mangel M., Turk-Boyer P., Torre J., Pares-Sierra A., Morzaria-Luna H.N. 2011. Atlantis model development for the northern Gulf of California. U.S. Dept. Commer. NOAA Tech. Memo. NMFS-NWFSC-110, 293 pp.
- Álvarez-Romero, J.G., Pressey, R.L., Ban, N.C., Vance-Borland, K., Willer, C., Klein, C.J., Gaines, S.D., 2011. Integrated land-sea conservation planning: the missing links. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 42, 381-409. doi:10.1146/annurev-ecolsys-102209-144702
- Álvarez-Romero, J.G., Pressey, R.L., Ban, N.C., Torre-Cosío, J., Aburto-Oropeza, O., 2013. Marine conservation planning in practice: lessons learned from the Gulf of California. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 23, 483-505. doi:10.1002/aqc.2334
- Ayala-Bocos A., Reyes-Bonilla H., Herrero-Pérezrul M.D., Walther-Mendoza M., Castañeda-Fernández de Lara V. 2011. New records and range extensions of *Astrodictyum panamense* Verrill, 1867, (Ophiuroidea: Gorgonocephalidae) in the eastern Pacific Ocean. *Marine Biodiversity Records* 3: doi:10.1017/S1755267211000327; Vol. 4; e46.
- Ban, N.C., Januchowski-Hartley, S.R., Álvarez-Romero, J.G., Mills, M., Pressey, R.L., Linke, S., De Freitas, D.M., 2013. Marine and freshwater conservation planning: from representation to persistence, In *Conservation Planning: Shaping the Future*. eds L. Craighead, C. Convis, pp. 175-217. Esri Press, Redlands, CA.
- Ball I.R., Possingham H.P., Watts M.E. 2009. Marxan and relatives: software for spatial conservation prioritization. In: Moilanen A., Wilson K.A., Possingham H.P. (Eds). *Spatial conservation prioritization: Quantitative methods and computational tools*. Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 185-195.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 2011. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, México.
- CONABIO. 2013. Distribución de los manglares en México en 2010. 1:50 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA. 2007. *Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México, Pronatura, A.C., México, D.F.
- Elith J., Phillips S.J., Hastie T., Dudík M., Chee Y.E., Yates C.J. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17: 43-57.
- Froese R., Pauly D. 2012. Fishbase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org. Versión (10/2012) Última visita 10 octubre 2012.

- IUCN. 2012. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. <http://www.iucnredlist.org>
Última visita 10 octubre 2012.
- López-Calderón J.M. 2012. Áreas críticas para la conservación de *Zostera marina* en lagunas costeras del Noroeste de México. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México.
- López-Calderón J., Riosmena-Rodríguez R., Rodríguez-Barón J.M., Carrión-Cortez J., Torre J., Meling-López A., Hinojosa-Arango G., Hernández-Carmona G., García-Hernández J. 2010. Outstanding appearance of *Rupia maritima* along Baja California Sur, México and its influence in trophic networks. *Marine Biodiversity* 40: 293-300.
- Margules C.R., Pressey R.L. 2000. Systematic conservation planning. *Nature* 405: 243-253.
- Moreno-Báez, M., Cudney-Bueno R., Torre J., Loaiza R., Rojo M., Shaw W.W., Orr J. 2012. Integrating spatial and temporal dimensions of small-scale fisheries for Management in the Northern Gulf of California, México. *Ocean and Coastal Management* 55: 111-127.
- Moreno-Báez M., Orr B.J., Cudney-Bueno R., Shaw W.W. 2010. Using fishers' local knowledge to aid management at regional scales: spatial distribution of small-scale fisheries in the northern Gulf of California, Mexico. *Bulletin of Marine Science* 86: 339-353.
- Morzaria-Luna H.N., Ainsworth C.H., Kaplan I.C., Levin P.S., Fulton E.A. 2013. Indirect effects of conservation policies on the coupled human-natural ecosystem of the upper Gulf of California. *PLoS ONE* 8 (5), e64085.
- Munguía-Vega A., Soria G., Marinone S.G., Torre-Cosío J., Pfister T., Hurtado L.A. Sagarin R., Cudney-Bueno R., Turk-Boyer P., Castillo-Lopez A., Shaw W.W. Artículo sometido (a). Ocean flow asymmetry shape larval dispersal in two contrasting marine invertebrates. *Molecular Ecology*.
- Munguía-Vega y colaboradores. Artículo en preparación (b). Marine connectivity of spawning aggregations of a vulnerable fish elucidated using a multidisciplinary approach.
- NOM-059. 2010. Secretaría de agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca. Diario Oficial de la Federación, Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, México.
- Pressey R.L., Bottrill M.C. 2008. Opportunism, threats, and the evolution of systematic conservation planning. *Conservation Biology* 22 (5), 1340-1345.
- Pacheco-Ruíz I., Zertuche-González J..A., Che-Barragán A., Blanco-Betancourt R. 1998. Distribution and quantification of *Sargassum* beds along the west coast of the Gulf of California, México. *Botanica Marina* 41: 203-208.
- Reyes-Bonilla H., Petatán-Ramírez D., Melo-Merino S.M., Pérez-España H. En prensa. Análisis del nicho ecológico y la distribución geográfica del pez león *Pterois volitans*, en el Atlántico occidental. En: A. Low Pfeng y P.A. Quijón (eds.). Especies invasoras acuáticas en México. Instituto Nacional de Ecología, México.
- Riosmena-Rodríguez, R., Muñiz-Salazar R., López-Calderón J., Torre-Cosío J., Meling A., Talbo S.T., Sage G.K., Ward D.H., Cabello-Pasini A. 2013. Conservation status of *Zostera marina* populations at Mexican Pacific. In: Daniels J.A. (eds). Advances in Environmental Research.

Nova Science Publishers, Inc. New York, USA. 35-64 pp.

Saavedra-Sotelo N., Calderón-Aguilera L.E., Reyes-Bonilla H., Paz-García D.A., López-Pérez R.A., Cupul-Magaña A.L., Cruz-Barraza J.A., Rocha-Olivares A. En prensa. Testing the genetic predictions of a biogeographical model in a dominant eastern Pacific coral (*Porites panamensis*) using a seascape approach. Ecology and Evolution 3:

SEMARNAT. 2006. *Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Mexico, D.F.

Soria G., Munguía-Vega A., Marinone S.G., Moreno-Báez M., Martínez-Tovar I., Cudney-Bueno R. 2012. Linking bio-oceanography and population genetics to assess larval connectivity. *Marine Ecology Progress Series*. 463:159-175.

Soria G., Torre-Cosío J., Munguía-Vega A., Marinone S.G., Lavín M.F., Cinti A., Moreno-Báez M. 2014. Dynamic connectivity patterns from an insular marine protected area in the Gulf of California. *Journal of Marine Systems*. 129:248- 258.

Suárez-Moo P.J., Calderón-Aguilera L.E., Reyes-Bonilla H., Díaz-Erales G., Castañeda-Fernández de Lara V., Aragón-Noriega E.A., Rocha-Olivares A. 2013. Integrating genetic, phenotypic and ecological analyses to assess the variation and clarify the distribution of the Cortes Geoduck (*Panopea globosa*). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 93: 809-816.

Torre-Cosío J. 2002. Inventory, monitoring and impact assesment of marine biodiversity in the Seri Indian territory, Gulf of California, Mexico. PhD. Thesis. The University of Arizona. Tucson, USA.

Ulloa R., Torre J., Bourillón L., Gondor A., Alcantar N. 2006. Planeación ecorregional para la conservación marina: Golfo de California y costa occidental de Baja California Sur. Informe final a The Nature Conservancy. Comunidad y Biodiversidad, A.C. Guaymas, México.

Wilkinson T., Wiken E., Bezaury-Creel J., Hourigan T., Agardy T., Herrmann H., Janishevski L., Madden C., Morgan L., Padilla M. 2009. *Marine Ecoregions of North America*. Commission for Environmental Cooperation, Montreal, Canada, 200 pp.