

**Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada, Baja California**



---

**Maestría en Ciencias  
en Ecología Marina**

---

**Identificación de regiones estratégicas para la conservación de  
tiburones y el manejo de sus pesquerías en el golfo de  
California**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos para obtener el grado de

**Maestro en Ciencias**

Presenta:

**Christian Daniel Morales Portillo**

Ensenada, Baja California, México

2020

Tesis defendida por

**Christian Daniel Morales Portillo**

y aprobada por el siguiente Comité

---

**Dr. Oscar Sosa Nishizaki**

Director de tesis

**Dra. María Clara Arteaga Uribe**

**Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera**

**Dr. Gustavo Daniel Danemann**

**M. en C. Alejandro Castillo López**



---

**Dr. Jorge Adrián Rosales Casián**

Coordinador del Posgrado en Ecología Marina

---

**Dra. Rufina Hernández Martínez**

Directora de Estudios de Posgrado

*Christian Daniel Morales Portillo © 2020*

*Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor y director de la tesis*

Resumen de la tesis que presenta **Christian Daniel Morales Portillo** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

## **Identificación de regiones estratégicas para la conservación de tiburones y el manejo de sus pesquerías en el golfo de California**

Resumen aprobado por:

---

**Dr. Oscar Sosa Nishizaki**  
Director de tesis

Los tiburones son un grupo de especies vulnerables a la sobrepesca, ya que en general tienen un crecimiento relativamente lento, maduran en edades avanzadas, tienen un número bajo de crías por camada y una mortalidad natural baja. La explotación sistemática de los tiburones en el golfo de California (GC) tiene una historia de 100 años. Así como el GC se considera como un hábitat importante para la diversidad y el ensamblaje de especies de tiburones, tanto residentes como migrantes, este golfo es una de las siete regiones marinas del mundo en donde los tiburones neríticos y pelágicos están más amenazados, por lo que conocer y caracterizar las áreas de pesca donde ocurre la mayor diversidad y riqueza de especies de tiburones capturadas en el GC, puede coadyuvar en el robustecimiento de los instrumentos legales para su manejo pesquero con un carácter espacial y la conservación de su hábitat. El objetivo de este estudio fue identificar las especies prioritarias dentro de la pesca ribereña de tiburón en el GC y delinear regiones estratégicas para su manejo y la conservación. Asimismo, investigar la relación de las densidades por especie con las condiciones físico-ambientales. Estas características pueden determinar la distribución y ocurrencia de tiburones en el GC. Se utilizó la información contenida en los avisos de arribo del periodo de 2007 al 2017, que incluía el volumen de captura por especie, el precio en playa y sitios de captura. Con base en tres criterios que corresponden a la vulnerabilidad de las especies debido a la pesca, su importancia histórica y valor económico, se seleccionaron las especies de tiburón que se consideran prioritarias para su conservación y el manejo de su pesquería. Se conformaron 12 regiones de pesca a partir de la información disponible sobre zonas de pesca en los avisos de arribo y se definieron como Regiones de Operación Pesquera (ROP). Haciendo uso de un Sistema de Información Geográfica se identificaron las principales ROP de las especies prioritarias. A través de Modelos Aditivos Generalizados (GAM) se investigó la relación de la densidad de captura de cada una de las especies con las condiciones físico-ambientales, como la temperatura superficial del mar, la batimetría, la pendiente entre isobatas y el tipo de sustrato, dentro de las diferentes ROP. Los resultados indican que las especies prioritarias son *A. pelagicus*, *C. falciformis*, *C. leucas*, *C. limbatus*, *I. oxyrinchus*, *M. henlei*, *N. velox*, *R. longurio*, *S. lewini*, *S. zygaena* y *S. californica*. Las ROP 1 y 7, respectivamente sur y norte del GC, presentan mayor diversidad ya que ahí se capturan hasta 10 de 11 especies de tiburones prioritarias. Sin embargo, la mayor captura de estas especies ocurre en las ROP 1 y 12, al sur del GC, por lo que pueden considerarse como las ROP estratégicas para la conservación de las especies de tiburones en el GC. Asimismo, los GAM sugieren que la distribución y ocurrencia de las especies con hábitos oceánicos y costeros está determinada por la fisiografía del GC.

**Palabras clave:** tiburones, pesca ribereña, áreas de manejo y conservación, golfo de California

Abstract of the thesis presented by Christian Daniel Morales Portillo as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Marine Ecology

**Priority shark species and potentially strategic regions as key to fisheries management and shark conservation in the Gulf of California**

Abstract approved:

---

**Dr. Oscar Sosa Nishizaki**  
**Thesis Director**

Sharks are a group of species vulnerable to overfishing, as they generally have relatively slow growth, mature at advanced ages, have low numbers of young per litter, and low natural mortality. The systematic exploitation of sharks in the Gulf of California (GC) is occurring since 100 years ago. Just as GC is considered essential habitat for the diversity and assembly of shark species, residents and migrants. This gulf is one of the seven marine regions of the world where neritic and pelagic sharks are one of the most threatened. Therefore, knowing and characterizing the fishing areas where the most diversity and richness of shark species caught in the GC occurs can contribute to the strengthening of the legal instruments for its fishing management with a spatial character and the conservation of its habitat. The aim of this study is 1) to identify the priority sharks species and 2) potentially strategic regions for the conservation and sustainable management of the artisanal fisheries of the GC. Also, investigate the relationship of densities by species with physical-environmental conditions. These characteristics can determine the distribution and occurrence of sharks in the GC. Information contained in the official landings from 2007 to 2017 was used, which included the volume of catch by species, the price on the local market and catch sites. Based on three criteria that correspond to the vulnerability of the species due to fishing, their historical importance and economic value, the shark species that are considered priorities for their conservation and management of their fishery were selected. Twelve fishing regions are identifying as Fishing Operation Regions (ROP) using a Geographic Information System, the main ROPs of the priority species are identified. Through Generalized Additive Models (GAM), the relationship of the catch density of each species with the physical-environmental conditions, such as sea surface temperature, bathymetry, the slope between isobath and the type of substrate, was assessed between ROPs. The results shown that the priority species are *A. pelagicus*, *C. falciformis*, *C. leucas*, *C. limbatus*, *I. oxyrinchus*, *M. henlei*, *N. velox*, *R. longurio*, *S. lewini*, *S. zygaena* and *S. californica*. ROP 1 and 7, respectively south and north of the GC, present greater diversity since up to 10 of 11 priority shark species are catch there. The highest catch of these species occurs in ROP 1 and 12, south of the GC, so that they can be considered as the strategic ROPs for the conservation of shark species in the GC. Likewise, the GAM suggests that the physiography of the CG determines the distribution and occurrence of species with oceanic and coastal habits.

**Keywords:** sharks, artisanal fishery, management and conservation, Gulf of California

## **Dedicatorias:**

*Este trabajo lo dedico a mi hijo Rodrigo y a su mamá, Adriana, que con sus sonrisas, amor y/o retos me inspiran cada día a ser un padre y un hombre que busca vivir a plenitud.*

*A mi papá Emilio<sup>†</sup> y a mi abuela Margarita<sup>†</sup>, porque no alcanzaron a ver concluido este trabajo pero estoy seguro que estarían orgullosos de mí.*

*¡Gracias por sus enseñanzas!*

## Agradecimientos:

Al **Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE)**, por admitirme en el posgrado de Ecología Marina, así como al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por otorgarme la beca nacional con número 634498 para realizar esta maestría y llevar a cabo mi estudio.

Al **Dr. Oscar Sosa**, quien dirigió esta tesis y que semana a semana hizo de nuestras reuniones de seguimiento un espacio para la discusión y construcción de ideas dónde prevaleció la confianza, el respeto y durante horas me compartió su experiencia, conocimiento y consejos para el desarrollo de mi investigación, así como para el desarrollo de algunos aspectos de mi vida profesional y personal. Gracias por la amistad y aceptarme en tu “mafia”.

Al **Dr. Luis Calderón** y la **Dra. Ma. Clara Arteaga**, que aceptaron ser parte del comité de tesis y que durante todo el proceso fueron conciliadores, mesurados respecto a los objetivos de mi investigación y principalmente propositivos en su opinión. Les agradezco poner freno de mano a mi energía por querer hacer más y más, fue mi forma de aprender en esta etapa de mi vida académica.

A **Pronatura Noroeste A.C.**, especialmente al **Dr. Gustavo Danemann** y al **M. en C. Alejandro Castillo**, porque su tenacidad y profesionalismo es una virtud que me motiva a ampliar mi horizonte profesional. Gracias por creer en mí y respaldar muchas de las iniciativas y decisiones que he tomado en 11 años haciendo equipo con ustedes para promover la conservación de especies y la pesca sostenible, padeciendo también mis errores que han acompañado con reprimenda pero sobre todo de sus consejos y experiencia. También a Xochitl Rojas por su apoyo en SIG, y junto con Itsí Raso, ayudar a mejorar visualmente todo el contenido gráfico.

A los integrantes y amigos del **Laboratorio de Ecología Pesquera** que en diferente momento contribuyeron con información y sobre todo con su tiempo para escuchar, documentarme y dar recomendaciones para organizar, procesar, interpretar y presentar este estudio. Su apoyo fue fundamental: Arturo Fajardo, Carmen Rodríguez, Emiliano García, Felipe Rocha, Luz Saldaña, Rafael Ramírez y Oscar Hernández. Especialmente, a la Dra. “Kena” Romo por el apoyo para ser la *editor in chief* de esta tesis, así como al Dr. Rigel Zaragoza y a Zury Ramírez, por su amistad y toda la asesoría para enseñarme el uso de SIG.

A los integrantes de la **Generación 2017-2019 (Panoepa)**, fue muy grato compartir esta experiencia con ustedes, escuchando y aprendiendo sus historias, sueños, ocurrencias y conocimiento. Me quedo con su amistad: Adonis Mingüer, Ale Maldonado, Dany Felix, Esperanza Valdez, Jaime Perrín, Javier González, Melina Jiménez, Santiago Quetz y Valeria Ahumada. Especialmente a Hugo Salinas por su ejemplo de hacer “un paso a la vez” y tener la paciencia suficiente para enseñarme sobre el lenguaje de programación con R-studio. También, Mary González, Melizza Le y Frida Alonso por escucharme, hacerme entrar en razón y regresarme la sonrisa en momentos críticos.

Gracias a mi **familia**, así como a mis **amigos** entrañables, porque a pesar de que en esta etapa estuve tan ausente de sus vidas a su manera nunca dejé de sentir su calidez, cariño y/o apoyo. Particularmente en Ensenada agradezco a **Julio Escobedo y Lupita Fuentes** porque como familia han sido mi ángel de la guarda, refugio y guías personales, además de abuelos maravillosos con Rodrigo. Están en el corazón y en mis recuerdos para siempre.

Finalmente, muchas gracias otras personas que creen en mí, como **pescaores de Bahía de los Ángeles, El Barril** y otras comunidades de pescadores del golfo de California, que confían en que este estudio contribuya al manejo de sus pesquerías de tiburón.

## Tabla de Contenido

Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatorias.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	x
<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Justificación.....	7
1.3. Hipótesis.....	7
1.4. Objetivo general.....	8
1.5. Objetivos específicos.....	8
<b>Capítulo 2. Metodología.....</b>	<b>9</b>
2.1. Área de estudio.....	9
2.2. Identificación de especies de tiburón prioritarias para su conservación y el manejo de su pesquería ribereña en el golfo de California.....	12
2.2.1. Análisis de los avisos de arribo.....	12
2.2.2. Vulnerabilidad por pesca.....	13
2.2.3. Importancia en la captura histórica.....	14
2.2.4. Valor económico de la captura.....	15
2.2.5. Análisis de conglomerados.....	15
2.3. Identificación de regiones de pesca con mayor densidad de captura y riqueza de las especies de tiburón consideradas como prioritarias para su conservación y el manejo de su pesquería.....	16
2.4. Evaluación de la relación entre la densidad de la captura por especie en las Regiones de Operación Pesquera y las características físicas del hábitat y de las operaciones pesqueras.....	18
2.4.1. Características físico-ambientales del hábitat en las Regiones de Operación Pesquera.....	19
2.4.2. Características de las operaciones pesqueras en las Regiones de Operación Pesquera.....	21
<b>Capítulo 3. Resultados.....</b>	<b>22</b>
3.1. Identificación de especies de tiburón consideradas como prioritarias para su conservación y para el manejo de su pesquería ribereña.....	22
3.2. Regiones de pesca con mayor riqueza y densidad de captura de especies de tiburón.....	24
3.3. Evaluación de la relación entre la densidad de la captura por especie en las Regiones de Operación Pesquera y las características físicas y de las operaciones pesqueras.....	25
3.3.1 <i>Carcharhinus falciformis</i> .....	25
3.3.2 <i>Carcharhinus limbatus</i> .....	27

3.3.3 <i>Squatina californica</i> .....	29
3.3.4 <i>Sphyrna lewini</i> .....	31
3.3.5 <i>Sphyrna zygaena</i> .....	34
3.3.6 <i>Alopias pelagicus</i> .....	36
3.3.7 <i>Carcharhinus leucas</i> .....	37
3.3.8 <i>Isurus oxyrinchus</i> .....	39
3.3.9 <i>Mustelus henlei</i> .....	41
3.3.10 <i>Rhizoprionodon longurio</i> .....	43
3.3.11 <i>Nasolamia velox</i> .....	45
<b>Capítulo 4. Discusión</b> .....	<b>47</b>
4.1. Identificación de especies de tiburón prioritarias para su conservación y el manejo de su pesquería en el golfo de California.....	49
4.2. Implicaciones para la conservación de los tiburones y el manejo de sus pesquerías en el golfo de California.....	56
<b>Capítulo 5. Conclusiones</b> .....	<b>59</b>
<b>Literatura citada</b> .....	<b>60</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>73</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Delimitación del área de estudio en el golfo de California.....	11
<b>Figura 2.</b> Diagrama de Venn utilizado para seleccionar las especies de tiburones consideradas como prioritarias para su conservación y el manejo de su pesquería ribereña en el golfo de California. ....	16
<b>Figura 3.</b> Localización de las 12 regiones de operación pesquera de la pesca ribereña de tiburones del golfo de California.....	17
<b>Figura 4.</b> Tipo de sustrato que conforma el fondo marino del golfo de California.....	21
<b>Figura 5.</b> Análisis de conglomerado jerárquico de las especies de tiburón que se capturan en la pesca ribereña del golfo de California. ....	22
<b>Figura 6.</b> Riqueza de especies de tiburón y número de especies con el valor de densidad de captura más alto para cada una de las 12 regiones de operación pesquera de la pesquería de tiburón del golfo de California.....	24
<b>Figura 7.</b> Densidad de <i>Carcharhinus falciformis</i> con base en la captura en las distintas regiones de operación pesquera del golfo de California durante el periodo 2007- 2017. ....	26
<b>Figura 8.</b> Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de <i>Carcharhinus falciformis</i> , con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017 .....	27
<b>Figura 9.</b> Densidad de <i>Carcharhinus limbatus</i> con base en la captura en las distintas regiones de operación pesquera del golfo de California durante el periodo 2007- 2017. ....	28
<b>Figura 10.</b> Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de <i>Carcharhinus limbatus</i> , con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017 y el tipo de sustrato como variable categórica.....	29
<b>Figura 11.</b> Densidad de <i>Squatina californica</i> con base en la captura en las distintas regiones de operación pesquera del golfo de California durante el periodo 2007- 2017.....	30
<b>Figura 12.</b> Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de <i>Squatina californica</i> , con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017.....	31
<b>Figura 13.</b> Densidad de <i>Sphyrna lewini</i> con base en la captura en las distintas regiones de operación pesquera del golfo de California durante el periodo 2007- 2017.....	32
<b>Figura 14.</b> Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de <i>Sphyrna lewini</i> , con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017 .....	33
<b>Figura 15.</b> Densidad de <i>Sphyrna zygaena</i> con base en la captura en las distintas regiones de operación pesquera del golfo de California durante el periodo 2007- 2017.....	34

<b>Figura 16.</b> Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de <i>Sphyrna zygaena</i> , y tipo de sustrato con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017.....	35
<b>Figura 17.</b> Densidad de <i>Alopias pelagicus</i> con base en la captura en las distintas regiones de operación pesquera del golfo de California durante el periodo 2007- 2017.....	36
<b>Figura 18.</b> Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de <i>Alopias pelagicus</i> , con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017 ..	37
<b>Figura 19.</b> Densidad de <i>Carcharhinus leucas</i> con base en la captura en las distintas regiones de operación pesquera del golfo de California durante el periodo 2007- 2017.....	38
<b>Figura 20.</b> Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de <i>Carcharhinus leucas</i> , con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017 .....	39
<b>Figura 21.</b> Densidad de <i>Isurus oxyrinchus</i> con base en la captura en las distintas regiones de operación pesquera del golfo de California durante el periodo 2007- 2017.....	40
<b>Figura 22.</b> Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de <i>Isurus oxyrinchus</i> , con respecto al promedio de los datos de densidad de captura y temperatura observado durante el periodo 2007- 2017 .....	41
<b>Figura 23.</b> Densidad de <i>Mustelus henlei</i> con base en la captura en las distintas regiones de operación pesquera del golfo de California durante el periodo 2007- 2017.....	42
<b>Figura 24.</b> Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de <i>Mustelus henlei</i> , y el tipo de sustrato, con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017.....	43
<b>Figura 25.</b> Densidad de <i>Rhizoprionodon longurio</i> con base en la captura en las distintas regiones de operación pesquera del golfo de California durante el periodo 2007- 2017. ....	44
<b>Figura 26.</b> Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de <i>Rhizoprionodon longurio</i> , con respecto al promedio de los datos de densidad de captura y temperatura, y de densidad de captura y número de cimbras, observados durante el periodo 2007- 2017 .....	45
<b>Figura 27.</b> Densidad de <i>Nasolamia velox</i> con base en la captura en las distintas regiones de operación pesquera del golfo de California durante el periodo 2007- 2017.....	46
<b>Figura 28.</b> Prueba de Spearman para estimar la correlación entre criterios para priorizar pesquerías de tiburón en el golfo de California .....	77

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> Variables físico-ambientales utilizadas para identificar su relación con la ocurrencia de tiburones en el golfo de California.....	20
<b>Tabla 2.</b> Especies de tiburón consideradas como prioritarias para su conservación y el manejo de su pesquería con base en su vulnerabilidad por pesca, volumen de captura histórica promedio (1940-2017), y valor económico de la captura promedio (2007-2017). .....	23
<b>Tabla 3.</b> Densidad de captura por especie (t/100 km <sup>2</sup> ) registrada en cada Región de Operación Pesquera de las zonas de captura de tiburones del golfo de California. ....	25
<b>Tabla 4.</b> Identificación de especies con base en el nombre común y la presentación registrada en los avisos de arribo en el golfo de California. ....	73

## Capítulo 1. Introducción

---

Debido a los rasgos de sus historias de vida, los tiburones, así como los otros condriktios, son un grupo de especies vulnerables a la sobrepesca, ya que en general tienen un crecimiento relativamente lento, maduran en edades avanzadas, tienen un número bajo de crías por camada y una mortalidad natural baja (Stevens *et al.*, 2000). Además, se caracterizan por tener una estructura espacial compleja (Bonfil, 1997; Cartamil *et al.*, 2011). Son especies longevas que en promedio viven ~23 años, aunque algunas especies como *Galeorhinus galeus* llegan a vivir 60 años (Ebert, 2003) o hasta 400 años como *Somniosus microcephalus* (Nielsen *et al.*, 2016). Actualmente, los condriktios tienen un riesgo general de extinción sustancialmente superior al de otros vertebrados, y se considera que solo un tercio de estas especies mantienen una población que no está comprometida (Dulvy *et al.*, 2014).

La principal amenaza para muchas de las poblaciones de tiburón está relacionada con una alta captura dirigida y mortalidad incidental por varias pesquerías en el mundo, resultado de la alta demanda de productos de tiburón como carne y aletas (Ward-Paige *et al.*, 2012). Por esta razón, varios autores reconocen la urgencia de fortalecer su manejo pesquero, para evitar su extinción, promover la recuperación de sus poblaciones y alcanzar pesquerías sostenibles de tiburón (Dulvy *et al.*, 2014, 2017).

Actualmente, México aporta el 4.6% de la captura mundial de tiburones, y es el tercer productor más importante (CONAPESCA, 2017). De la producción nacional reportada durante el periodo del 2000 al 2017, que en 2017 alcanzó un nivel de ~42,000 t, el golfo de California (GC) aportó más del 36% de la producción total nacional (CONAPESCA, 2017). La pesquería de tiburones en el GC se han llevado a cabo desde finales del siglo XIX (Bonfil, 1994; Saldaña-Ruiz *et al.*, 2017). Sin embargo, a partir de mediados del siglo XX se incrementó su demanda internacional, y con ello se estableció la importancia económica y social de la pesquería de tiburones en México, dando origen al asentamiento de comunidades pesqueras en la costa peninsular y continental del GC (Shepard-Espinoza y Danemann, 2008).

El GC se considera un hábitat importante para la diversidad y el ensamblaje de especies de tiburón, tanto residentes como migrantes (Applegate *et al.*, 1993). En este golfo, habitan 46 especies de tiburón, de las cuales más de 30 especies son aprovechadas por la pesca comercial (Márquez-Farías, 2001; Lara-Mendoza y Márquez-Farías, 2016). La pesquería de tiburones que se realizan dentro del GC es multiespecífica y oportunista, esto último debido a que la captura se realiza de manera estacional en aguas someras, durante las agregaciones reproductivas del 71% de las especies de tiburón que ahí ocurren (Bizarro *et al.*,

2007; Salomón-Aguilar *et al.*, 2009). Estas especies pertenecen principalmente a las familias Alopiidae, Carcharhinidae, Squatinidae, Sphyrnidae y Triakidae (Bizzarro *et al.*, 2007; Castillo-Géniz *et al.*, 2008; Salomón-Aguilar *et al.*, 2009).

El interés comercial por las especies de tiburón objetivo, así como su captura como fauna de acompañamiento en otras pesquerías, incrementa la presión por pesca y con ello su vulnerabilidad debido a la pesca (Bizzarro *et al.*, 2007; Cardeñosa *et al.*, 2017). La vulnerabilidad a la pesca de una especie se define como la disminución potencial en la productividad de su población debido a factores relacionados con la presión por pesca, deterioro ambiental, y por las características de su ciclo de vida, que repercuten en el tamaño de su población (Patrick *et al.*, 2009). Asimismo, la productividad de una especie está relacionada con su historia de vida, como una medida de su potencial de recuperación después de una reducción poblacional debido a la pesca. Mientras que la susceptibilidad es el impacto potencial de la pesquería sobre las especies (Patrick *et al.*, 2009). La vulnerabilidad de los tiburones debido a la pesca ribereña en el GC se asocia directamente con el incremento del esfuerzo pesquero, además del uso de métodos y artes de captura poco selectivos (Furlong-Estrada *et al.*, 2014; Saldaña-Ruiz *et al.*, 2017).

Mundialmente existen diversas medidas de manejo para las pesquerías de tiburón, incluyendo políticas para restringir su aprovechamiento, como permisos, cuotas de captura y derechos de acceso, declaraciones de especies protegidas, para las cuales se prohíbe su pesca, y medidas técnicas, como regulaciones de las artes de pesca, tallas mínimas de captura, impedimentos en los tipos de productos como la prohibición del aleteo, así como restricciones temporales o espaciales de las operaciones pesqueras como el establecimiento de vedas y áreas protegidas (Walker, 2005).

En México se han desarrollado una serie de medidas regulatorias para dar seguimiento a las recomendaciones del Plan de Acción Internacional para el Aprovechamiento de Tiburones (FAO, 1999). En primera instancia, se desarrolló el Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines (PANMCT; CONAPESCA-INAPESCA, 2004). Posteriormente, se publicó la “Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006 para la Pesca Responsable de Tiburones y Rayas”, cuyo objetivo es inducir el aprovechamiento sostenible de tiburones y rayas, así como contribuir a la conservación y protección de los elasmobranchios y otras especies que son capturadas de manera incidental (Poder Ejecutivo Federal, 2007b). La NOM-029-PESC-2006 establece especies protegidas y una serie de medidas que incluyen artes de pesca permitidas con base en el tipo de flota pesquera catalogadas como de menor, mediana altura y altura. Asimismo, dicha NOM establece zonas de exclusión de pesca de tiburones en torno a la desembocadura de ríos y arroyos, áreas de crianza de algunas especies de tiburones, zonas de

anidación de tortugas y colonias de lobos marinos, y regula los mecanismos para el establecimiento de una veda, entre otras. A partir del 5 de junio de 2012, la Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura (CONAPESCA) estableció un Acuerdo de Veda para la pesca de tiburones y rayas en las costas mexicanas del Pacífico, que comprende entre el 1 de mayo al 31 de julio (Poder Ejecutivo Federal, 2012b).

De acuerdo al PANMCT, en México los tiburones y rayas son recursos biológicos de gran importancia desde el punto de vista pesquero, alimentario, turístico y económico (CONAPESCA-INAPESCA, 2004). Sin embargo, la información disponible es insuficiente para evaluar la composición específica de las capturas, los ciclos de vida y el estado de las poblaciones de tiburón de mayor importancia con base en su volumen de captura. En algunas regiones del noroeste de México la tendencia de la captura ha disminuido en respuesta a la limitada regulación del esfuerzo pesquero, lo que induce a la sobrepesca, el impacto antrópico sobre el hábitat y al insuficiente conocimiento sobre el uso del hábitat de las especies que se pescan comercialmente (Smith *et al.*, 2009; Ramirez-Amaro *et al.*, 2013).

Desde inicios del siglo XXI, una medida para mitigar los efectos de la disminución de las poblaciones de especies sujetas a presión por pesca e implementar herramientas para su conservación, ha sido el establecimiento de áreas marinas protegidas completamente cerradas a la pesca (Dwyer *et al.*, 2020). En EE.UU. y Australia las áreas naturales protegidas (ANP), corresponden a: “...cuerpos de agua que por las características de su flora, fauna, historia y cultura asociadas, ha sido reservada por la ley u otros medios efectivos, para proteger parte o la totalidad del medio ambiente circundante” (Day, 2012). Con base en ello se han establecido ANP para proteger especies de tiburones sobrexplotadas, como *Carcharodon carcharias*, *Cetorhinus maximus*, *Carcharias taurus*, *Odontaspis noronhai*. También, ANP que son específicas para la protección de especies durante su temporada reproductiva, por ejemplo, *Carcharhinus amblyrhynchos* en la red de ANP de Islas Maldivas, y *Ginglymostoma cirratum* en el ANP de Dry Tortugas, Florida (Bonfil, 1999). Asimismo, se han establecido reservas marinas completamente cerradas a la pesca para la conservación de tiburones. Estas reservas tienen la finalidad de proteger a las especies en su ciclo reproductivo durante su largo periodo de gestación, por ejemplo, *Carcharhinus obscurus*, *Carcharhinus plumbeus*, *Galeorhinus galeus* y *Mustelus antarcticus* (Bonfil, 1999; Salomón-Aguilar *et al.*, 2009; Knip *et al.*, 2012; MacKeracher *et al.*, 2018).

En México las ANP son el instrumento de política ambiental con mayor certidumbre jurídica para promover la conservación de la biodiversidad (Poder Ejecutivo Federal, 2012b) y han funcionado para proteger el hábitat de algunas especies de tiburones, sin embargo, una de las limitaciones de las ANP para la conservación de tiburones es que su extensión territorial en algunos casos puede ser insuficiente para

garantizar la protección de todos los estadios de vida de especies altamente migratorias, debido a que requieren distintos tipos de hábitat según su estado ontogénico (Bonfil, 1999).

Identificar las áreas a proteger requiere primero definir las especies a conservar. Las características del ciclo de vida de los tiburones, su desempeño para el funcionamiento de la estructura en los ecosistemas marinos y el impacto poblacional que presentan algunas especies debido a la sobrepesca y la pérdida de hábitat, son factores para que las especies de tiburón sujetas a presión por pesca se consideren prioritarias para su conservación y para el manejo de su pesquería (Albert *et al.*, 2018). Además, los tiburones tienen una importancia socioeconómica y cultural, regularmente se aprovechan para la pesca de forma masiva, con fines comerciales y/o de autoconsumo (Bonfil, 1994; Castillo-Geniz *et al.*, 2008) y en otros para el turismo, como el caso del tiburón ballena (*Rhincodon typus*; Cisneros-Montemayor *et al.*, 2013).

Para que la conservación de los tiburones sea efectiva es necesario establecer la interrelación de estas especies con otros factores que caracterizan su hábitat (Villalobos *et al.*, 2013), ya que este se define como el lugar que reúne las características ambientales idóneas para obtener alimento, reproducirse y protegerse de sus depredadores (Morris, 1987). Sin embargo, la distribución de las especies no se explica solamente por estos elementos (Morrison *et al.*, 2006), debido a que no ocupan un espacio de forma aleatoria (Morris, 1987; Simpfendorfer y Heupel, 2004). Con base en las características físico-ambientales de las áreas de distribución de tiburones, como la temperatura, profundidad y el tipo de sustrato, las especies tienden a hacer uso específico de dichas áreas para efectuar todos o al menos uno de sus procesos biológicos como la alimentación, crianza, y crecimiento, hasta alcanzar la madurez sexual y reproducirse (Knip *et al.*, 2011). El espacio en el que ocurren estos procesos se denomina “hábitat esencial” (NOAA, 2007).

Otro instrumento que favorece la conservación de algunas especies de tiburón y su manejo pesquero en México es el establecimiento de Zonas de Refugio Pesquero (ZRP). Estas son áreas “...delimitadas con la finalidad de conservar y contribuir al desarrollo de los recursos pesqueros para su reproducción, crecimiento o reclutamiento, así como preservar y proteger el ambiente que lo rodea” (Poder Ejecutivo Federal, 2007a). Actualmente, en México existen 36 polígonos de ZRP entre los estados de Baja California Sur, Quintana Roo, Sinaloa y Sonora (Poder Ejecutivo Federal, 2012a, 2014, 2017a, 2017b). Sin embargo, ninguna ZRP se diseñó específicamente para el manejo y/o la protección de los tiburones, aunque dentro de estas se ha observado una reducción de su mortalidad debido a la pesca y un incremento en el repoblamiento y recuperación del hábitat (Bonfil, 1999; Munguia-Vega *et al.*, 2018). Además, las ZRP permiten incrementar la exportación de biomasa hacia zonas de pesca, lo que reduce la vulnerabilidad de

las especies debido al factor de pesca y pérdida de hábitat (Bonfil 1999; Cudney-Bueno *et al.*, 2009; Claudet *et al.*, 2010; Knip *et al.*, 2010; Aragón-Noriega *et al.*, 2012; Knip *et al.*, 2012; Yates *et al.*, 2016).

De acuerdo con la NOM-029-PESC-2006, también existen sitios de exclusión de pesca de tiburones en el GC, sin embargo, los polígonos no están bien definidos debido a que se desconoce la ocurrencia y el uso que hacen las especies sobre dichos sitios, así como la relación de las características físico-ambientales con las áreas de pesca. Esta información es relevante para definir y caracterizar las regiones estratégicas para la conservación de las especies de tiburón, además de proporcionar la información y argumentos que permitirán fortalecer los instrumentos legales para su conservación y el aprovechamiento sostenible de las especies de tiburón que son explotadas en la pesquería ribereña del GC.

Con base en la información contenida en las estadísticas oficiales de los avisos de arribo (capturas, valor económico de la captura, sitios de pesca, y artes de pesca; ver sección 2.2.1), y de las características físico-ambientales que predominan en el golfo de California (ver sección 2.4.1), en esta tesis se desarrolla una metodología para contestar la pregunta *¿Cuáles son las regiones estratégicas para la conservación de especies prioritarias de tiburón y el manejo de su pesquería ribereña en el golfo de California?*

## **1.1. Antecedentes**

El GC es una de las regiones marinas más estudiadas del mundo (Schwartzlose *et al.*, 1992). Con base en distintos parámetros ambientales se han propuesto diferentes regionalizaciones a partir de sus características físicas, incluyendo la temperatura superficial del mar (TSM), salinidad, profundidad y productividad primaria (Lavín *et al.*, 1997; Lavín y Marinone, 2003; Álvarez-Borrogo, 2010, 2012). Con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha logrado la integración de la información ambiental, ecológica y social, para identificar áreas de interés específico para el manejo pesquero (PANGAS, 2008; Duberstein, 2009; Moreno-Báez, 2010; Cinti *et al.*, 2014). Se ha determinado que el sur del GC es una región con alta diversidad y riqueza general de especies, así como un nivel de endemismo superior en comparación del norte del GC, y por ello la región sur es considerada como un *hotspot* para la conservación de la biodiversidad. Este se define como un área clave en el funcionamiento del ecosistema y de los servicios que brindan, incluyendo la productividad, estabilización de la red alimentaria, historia evolutiva (con base en criterios biológicos como riqueza de especies), nivel de endemismo, número de especies

raras, número de especies amenazadas, distinción taxonómica y grado de hábitat perdido (Morzaria-Luna *et al.*, 2018).

El GC es un ambiente oceanográfico muy dinámico (Ripa y Marinone, 1989; Marinone, 2003) y en conjunto con otros factores como la pendiente entre isobatas y el tipo de sustrato, determinan la distribución de algunas especies de tiburón (Knip *et al.*, 2011; Heupel *et al.*, 2014) y su uso del hábitat (Schlaff *et al.*, 2014). A partir de observaciones *in situ* se ha determinado que en el GC la captura de tiburones ocurre de manera estacional y regional (Bizzarro *et al.*, 2007). Por ejemplo, en Baja California y Sinaloa la captura de tiburones mustélidos (*Mustelus spp.*) se lleva a cabo principalmente durante la primavera, mientras que en Sonora ocurre en otoño e invierno. Asimismo, organismos juveniles de *Sphyrna lewini* dominan la captura en Sinaloa durante todo el año. Además, se observó que la pesca de grandes tiburones como *Alopias pelagicus* y *Carcharhinus falciformis* ocurre principalmente en la costa de la Península de Baja California. Especies como *Carcharhinus leucas*, *Carcharhinus limbatus*, *Carcharhinus obscurus* y *Galeocerdo cuvier* han sido altamente sobreexplotadas, lo que ha provocado el incremento del esfuerzo pesquero sobre otras especies de tiburones con hábitos costeros y de menor tamaño (Bizzarro *et al.*, 2007).

Salomón-Aguilar *et al.* (2009) propusieron áreas específicas para la conservación de las áreas de crianza de algunas especies de tiburón del GC. De igual manera, Díaz-Urbe *et al.* (2013) diseñaron una propuesta de regionalización para el manejo de las pesquerías ribereñas en el GC a partir de la información de capturas registradas en los avisos de arribo, incluyendo las pesquerías de tiburón, y en ella sugieren considerar la composición de la captura entre las distintas oficinas de pesca del GC para identificar regiones para el manejo ecosistémico de las pesquerías. Sin embargo, Ulloa *et al.* (2008) recomendaron considerar otros factores como el esfuerzo pesquero, así como factores bióticos y abióticos.

Por otro lado, se han creado ANP como el Parque Nacional Cabo Pulmo, en la entrada del GC, como un área marina completamente cerrada a la pesca. Este parque, al igual que el resto de las ANP en México, se diseñó con fines de protección de procesos ecológicos y no para la protección específica de alguna especie. Sin embargo, dentro del parque se ha documentado la recuperación de la biomasa de depredadores tope como tiburones en hasta 1070% (Aburto-Oropeza *et al.*, 2011). Asimismo, se ha reportado el buen funcionamiento de las ZRP del GC, aunque no se diseñaron para la conservación y manejo de tiburones, algunas de estas especies las usan como zonas de agregación reproductiva y crianza (Aburto-Oropeza *et al.*, 2011; Munguia-Vega *et al.*, 2018).

## 1.2. Justificación

Conforme a Dulvy *et al.* (2014), el golfo de California es una de las siete regiones marinas (*hotspots*) del mundo en donde los tiburones neríticos y pelágicos están más amenazados. La explotación sistemática de los tiburones en este golfo tiene una historia de 100 años, durante los cuales ha habido periodos de intensificación de la pesca, sobre todo en los últimos años, durante los cuales ha aumentado la demanda de sus productos para satisfacer la dieta del pueblo mexicano y el mercado internacional por sus aletas (Sosa-Nishizaki *et al.*, 2020). Por ende, actualmente en el GC es necesario intensificar las acciones para la regulación y el manejo pesquero de los tiburones que ahí se distribuyen, así como aquellas para su conservación. Aunque se han diseñado varios instrumentos de política para el manejo pesquero y conservación de los tiburones en México, estos no han tenido un carácter espacial regional.

Chapman *et al.* (2015) sugieren que a pesar de que los tiburones tienen una gran movilidad, con base en observaciones empíricas a través de experimentos de marcaje, varias especies de tiburón presentan comportamientos de residencia, fidelidad del sitio y filopatría que pueden estructurar, solos o en combinación, muchas poblaciones de tiburones costeros en escalas geográficas más finas de lo esperado en función de su potencial de dispersión. Para la conservación de tiburones y su manejo pesquero en el GC, estos resultados implican que se deben de hacer esfuerzos de regionalización y priorización para establecer medidas robustas de manejo y conservación de los tiburones en el GC. Un primer paso es desarrollar una metodología que permita sugerir una regionalización con la información disponible, como es el propósito de esta tesis.

## 1.3. Hipótesis

La hipótesis de este estudio es que la información contenida en avisos de arribo, tal como el volumen de captura, el precio, y los sitios de captura reportados para la pesca ribereña de tiburón en el GC, así como los valores de su vulnerabilidad a la pesca reportados en la literatura, permitirá definir las especies de tiburón prioritarias para su conservación y las regiones estratégicas para su manejo pesquero en el GC, y que esta regionalización permitirá entender la ocurrencia de estas especies en las diferentes regiones y su relación con las características físicas, considerando la temperatura superficial del mar, profundidad, pendiente, y el tipo de sustrato.

#### **1.4. Objetivo general**

1. Definir las regiones estratégicas para la conservación de tiburones y el manejo de las pesquerías de tiburón prioritarias en el golfo de California.
2. Explorar la relación entre la densidad de captura de las especies de tiburón prioritarias con las condiciones físico-ambientales que determinan la ocurrencia de dichas especies en cada región.

#### **1.5. Objetivos específicos**

1. Identificar las especies de tiburón del golfo de California que son prioritarias para su conservación y el manejo de su pesquería.
2. Definir las regiones de pesca con mayor riqueza y densidad de captura de las especies de tiburón prioritarias.
3. Evaluar la relación entre la densidad de captura y las características físico-ambientales de las áreas de pesca de las especies de tiburón prioritarias.

## Capítulo 2. Metodología

---

### 2.1. Área de estudio

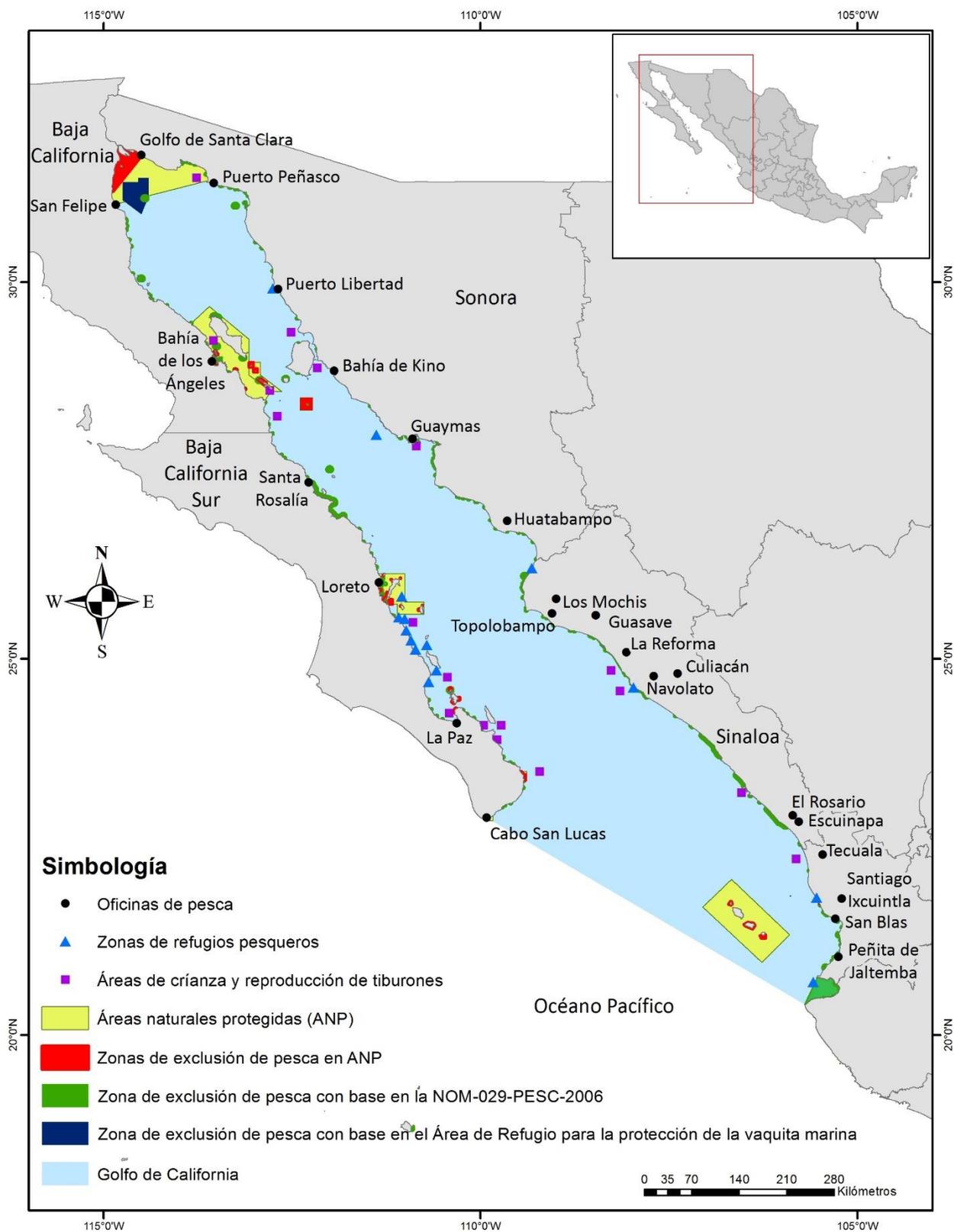
El GC es la zona pesquera más importante de México y forma parte de una de las cinco regiones marinas con mayor biodiversidad en el mundo (Wilkinson *et al.*, 2009), es considerado como una ecorregión prioritaria para la conservación (Morgan *et al.*, 2005). El GC es un mar marginal que se localiza en el Noroeste de México, entre la Península de Baja California y el macizo continental. Se delimita hacia el sur por una línea recta entre Cabo San Lucas, Baja California Sur, y el norte de Bahía Banderas, entre el estado de Nayarit y Jalisco (Figura 1; SEMARNAT, 2006). Es un sistema geológico y marino complejo originado desde hace más de 12 millones de años (Dolby *et al.*, 2015). El GC cubre una superficie de ~270,000 km<sup>2</sup> (Munguía-Vega *et al.*, 2018), conformada por ~1500 km de largo y ~100 km de ancho, con una profundidad que varía desde 200 metros en la parte norte y hasta ~4000 metros en las fosas abisales de la región sur (Walker, 1960).

La orografía de su cuenca y la existencia de más de ~900 islas e islotes, permiten que en el GC se lleven a cabo diferentes procesos oceanográficos físicos, como corrientes de mareas intensas y surgencias, produciendo una variabilidad estacional amplia en las temperaturas del mar (Marinone, 2003). Su oceanografía se caracteriza por presentar una circulación temporal que oscila de forma ciclónica durante el verano y anticiclónica durante el invierno (Lavín *et al.*, 1997), y en general, con corrientes más intensas del lado continental que del peninsular (Lavín y Marinone, 2003; Marinone, 2003). Dicha circulación es influenciada por el sistema de vientos locales, la mezcla por mareas, el forzamiento con el Océano Pacífico, y por el flujo de calor en la capa de agua superficial debido a que la evaporación supera la precipitación, lo cual genera un gradiente de temperatura superficial que disminuye en el sentido de sur hacia el norte (Lavín *et al.*, 1997). Sin embargo, en la región de las Grandes Islas la temperatura es menor con respecto al resto del GC, como resultado de los procesos de mezcla por mareas y surgencias que ocurren principalmente en invierno (Ripa y Marinone, 1989; Marinone, 2012).

En el GC hay cinco tipos de masas de agua. En la región norte y hasta una profundidad de 150 metros, se encuentra la masa de agua propia del GC, que se caracteriza por presentar altas salinidades. En la región central y la región sur o boca del golfo, se encuentra la masa de agua Superficial Ecuatorial, la cual es dominante durante el verano, ya que durante el invierno su intrusión apenas alcanza la región sur (Lavín *et al.*, 1997). A una profundidad de entre 150 y hasta 500 metros se encuentra la masa de agua

Subsuperficial Subtropical. La cuarta masa de agua es la Intermedia del Pacífico, que ocupa el ~33% del volumen de agua total que se ubica a profundidades de 500 y hasta 1200 metros. Finalmente, a mayor profundidad se encuentra la masa de agua Profunda del Pacífico, que ocupa el ~41% del volumen de agua total, y se encuentra delimitada hasta los 4°C (Torres-Orozco, 1993).

Estas condiciones oceanográficas, aunadas a procesos ecológicos, mantienen una productividad primaria alta que sustenta toda la actividad ecológica que ocurre en el GC y favorece a la diversidad de sus ecosistemas y hábitats, conformando una porción biogeográfica con un nivel alto de endemismo, riqueza y abundancia de especies (CONABIO *et al.*, 2007; Álvarez-Borrego, 2012). El GC alberga a 891 especies de peces, más del 30% del total reportado para el Pacífico Oriental Tropical (Brusca *et al.*, 2005). De estas, al menos 94 especies de condriictios, de un total de 211 documentados en el litoral mexicano (Del Moral Flores y Pérez Ponce de León, 2013), radican de manera temporal o permanente dentro del GC. Debido a la importancia del GC para la conservación de ecosistemas, hábitats y biodiversidad, se han establecido 15 áreas naturales protegidas que incluyen 42 zonas núcleo, que funcionan como reservas marinas, y son administradas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Adicionalmente, se han establecido cinco Acuerdos de Regulatorios de Zonas de Refugio Pesquero que son administrados por la CONAPESCA (Figura 1; Poder Ejecutivo Federal, 2007; Munguía-Vega *et al.*, 2018).



**Figura 1.** Delimitación del área de estudio en el golfo de California. La simbología indica los instrumentos de conservación y/o manejo pesquero, los círculos negros la ubicación de las oficinas de pesca asociadas a la captura de tiburones en la pesca ribereña.

## **2.2. Identificación de especies de tiburón prioritarias para su conservación y el manejo de su pesquería ribereña en el golfo de California**

Saldaña-Ruiz *et al.* (2017) reportaron que en las capturas del GC se pueden identificar hasta 38 especies de tiburones. No obstante, no todas ellas están presentes de forma significativa o su captura no es de manera constante. Para identificar aquellas especies prioritarias para su conservación y el manejo de su pesquería, en esta tesis se ideó una metodología de selección de especies con base en la siguiente información: (1) peso de las capturas por especie de tiburón reportado en los avisos de arribos, (2) valores de la estimación de la vulnerabilidad a la pesca (Saldaña-Ruiz *et al.*, 2017), (3) importancia en la captura histórica, y (4) valor económico de la captura. A continuación, se explica el origen de la información y cómo se realizó su análisis.

### **2.2.1. Análisis de los avisos de arribo**

Los avisos de arribo son el instrumento legal que estipula la Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentable (LGPAS, art. 75 y 76) mediante el cual para fines estadísticos, de registro y control, los pescadores tienen la obligación de reportar al Estado mexicano el volumen de la captura por especie, la fecha de arribo, sitio de desembarque, número de embarcaciones, tipo de arte de pesca, número de registro de la unidad económica, el precio en moneda nacional por especie desembarcada, oficina de pesca en donde se entregará el aviso y entidad federativa (Poder Ejecutivo Federal, 2007a). En este estudio se utiliza la Captura por Unidad de Registro (CPUR), que me permitió asociar a cada registro con una región y oficina de pesca. La CPUR, a diferencia de la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE), bajo ninguna circunstancia puede asumirse directamente como índice de abundancia (Valdez-Ornelas *et al.*, 2008). Sin embargo, el uso de la CPUR permitió analizar las tendencias de captura de las especies arribadas por oficina de pesca en el GC. En este trabajo, no se consideró la captura proveniente de la pesca industrial debido a que la capacidad de su flota pesquera permite operar en un ámbito geográfico mayor que el área de influencia de una oficina de pesca determinada. La CPUR por especie se estimó con información reportada en avisos de arribo por oficina de pesca del GC durante la década del 2007 al 2017 (CONAPESCA, 2018).

En algunos casos se observó que la CPUR se arribó en una oficina de pesca que no corresponde a sitios de desembarque que se encuentran asociados al GC. Para reducir el nivel de incertidumbre asociado a ello, se validó que la CPUR por oficina de pesca proviniera de sitios de desembarque dentro del área de estudio y cuando fue necesario, la captura se reasignó a una oficina próxima al lugar de desembarque reportado.

Por ejemplo, si la CPUR se arribó en una oficina de la costa del Pacífico como El Rosario o Ensenada, B.C., pero el sitio de desembarque corresponde a una localidad dentro del GC, como Bahía de los Ángeles, B.C., entonces la CPUR se reasignó a la oficina Bahía de los Ángeles. La validación de los sitios de desembarque que corresponden al GC se realizó con base en atlas pesqueros de los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit (Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2006a, 2006b). La estimación de la CPUR obtenida de los avisos de arribo se realizó con el software R studio<sup>®</sup> (Versión 1.1.453 - 2009-2017 RStudio, Inc).

En los avisos de arribo existe un nivel de incertidumbre alto en el nombre de las especies reportadas. Esto se debe a que generalmente el pescador solo conoce el nombre común, además de que entre campos pesqueros cambia el nombre común entre especies. Asimismo, a través del tiempo y hasta la fecha, el sistema de registro y estadística pesquera oficial de México ha sido insuficiente (Saldaña-Ruiz *et al.*, 2017), inconsistente y complejo. Por ello, para estimar la CPUR primero se consideró el nombre común de las especies reportadas y posteriormente se identificó el nombre científico de la especie con base en guías especializadas (Santana-Morales *et al.*, 2004; Castellanos-Betancourt, 2012; Castellanos-Betancourt *et al.*, 2013; Ramírez-Rodríguez, 2013). Sin embargo, cuando no fue posible identificar la CPUR a nivel de especie, estas se identificaron a nivel de género o se etiquetó como especie no identificada (Anexo 1). Para reducir errores taxonómicos y de ocurrencia espacial de las especies de tiburón registradas para el GC, en todos los casos, el nombre científico de las especies se validó mediante la plataforma *World Register of Marine Species* (WoRMS, 2019) que provee información taxonómica actualizada (Costello *et al.*, 2013).

Para las especies identificadas a nivel de género se estimó la proporción de la captura por especie (Pauly, 1998) que se reporta en la literatura para tiburones en el GC (Bizarro *et al.*, 2007). Este procedimiento se realizó para *Sphyrna* spp. y *Carcharhinus* spp. debido a que, por ejemplo, se ha documentado que *Sphyrna lewini* tiene una importancia alta en la pesquería de tiburón del GC (Saldaña-Ruiz *et al.*, 2017), mientras que otras especies como *Sphyrna tiburo*, *Sphyrna corona* y *Sphyrna media* se reportan extirpadas del GC (Pérez-Jiménez, 2014).

## **2.2.2. Vulnerabilidad por pesca**

Los valores de la vulnerabilidad utilizados para este análisis fueron tomados de Saldaña-Ruiz *et al.* (2017). Estos autores determinaron que históricamente la pesquería de tiburones en el GC se compone de 38

especies y de estas, al menos 17 presentan una vulnerabilidad alta debido a la presión por pesca (p.ej. *C. leucas* y *S. lewini*), 21 especies presentan una vulnerabilidad moderada, y ninguna especie presentó vulnerabilidad baja. La vulnerabilidad estimada para cada una de las especies la obtuvieron a partir del “análisis de productividad y susceptibilidad” (PSA, por sus siglas en inglés) propuesto por Patrick *et al.* (2009). El análisis PSA se basa en los parámetros de la historia de vida, aspectos ecológicos y características de la pesca de cada una de las especies. Los parámetros de las historias de vida incluyen la fecundidad, edad y talla de madurez sexual, talla de nacimiento, tasa intrínseca de crecimiento, abundancia relativa, edad y talla máxima reportada, mortalidad natural y características reproductivas. Los aspectos ecológicos fueron la preferencia de presas, nivel trófico, características de migración, agregación y preferencias de hábitat. Asimismo, las características de la pesca incluyen la captura histórica, artes y métodos de pesca, profundidad de captura, interacciones con otras pesquerías, abundancia relativa histórica y tallas de captura. La escala de la vulnerabilidad va de cero a tres, donde los valores estimados  $<0.94$  se consideran como vulnerabilidad baja, valores entre  $>0.94$  y  $<1.88$  representan una vulnerabilidad moderada, y los valores  $>1.89$  equivalen a una vulnerabilidad alta.

### **2.2.3. Importancia en la captura histórica**

Para evaluar la importancia de la captura histórica de las especies de tiburones en el GC se utilizó la reconstrucción de la captura en el periodo de 1940 a 2014 hecha por Saldaña-Ruiz (2017) y Saldaña-Ruiz *et al.* (2017). Esta reconstrucción se obtuvo bajo la metodología propuesta por Zeller y Pauly (2016), que consiste en hacer una búsqueda de información de captura de las especies a partir de distintas fuentes como avisos de arribo, anuarios estadísticos de pesca, información de captura disponible en literatura y en reportes oficiales e históricos disponibles. Para el periodo de 2015 a 2017 se consideró únicamente información reportada en los avisos de arribo. Con base en la estimación de la captura para todo el periodo de 1940 a 2017 se establecieron tres categorías de importancia: (1) corresponde a las especies con importancia baja, ya que presentan capturas anuales inferiores a 100 t, (2) corresponde a especies de importancia media, con capturas entre 100 y 1000 t, y (3) corresponde a especies de importancia alta, con capturas anuales superiores a 1000 t.

#### 2.2.4. Valor económico de la captura

El valor económico de la captura se estimó a partir del precio corriente o nominal por kilogramo de captura reportado en los avisos de arribo del periodo 2012 al 2017. Los precios se estandarizaron entre distintos años, calculando el precio constante (PC) por kilogramo de captura por especie. El cálculo del PC es una técnica de econometría que se utiliza para eliminar los efectos que producen fluctuaciones de precios debido a factores de mercado y la inflación, por lo que es necesario deflactar los precios. El PC se calculó a partir de la siguiente ecuación (INEGI, 2019):

$$PC = \frac{PN * INPC (2)}{INPC (1)} \quad (1)$$

donde PN es el precio corriente o nominal de una especie a nivel de avisos de arribo, INPC (2) es el valor del Índice Nacional de Precios al Consumidor calculado para el año base (2017), y el INPC (1) es el valor del Índice Nacional de Precios al Consumidor del año al que se desea actualizar el precio con respecto al año base.

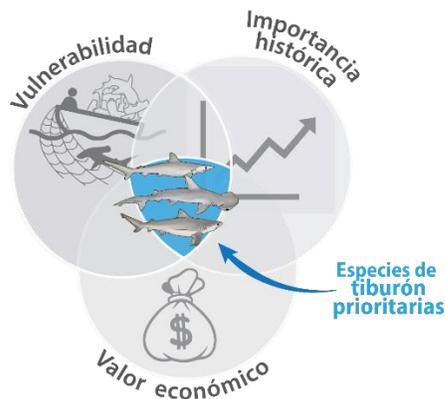
En México, para la conversión de precios corrientes o nominales a precios constantes, o valor real a un año base determinado, se utiliza el Índice Nacional de Precios al Consumidor, que a partir del 2011 publica el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI; Poder Ejecutivo Federal, 2008). Del 2012 al 2017 los valores del INPC van de ~80 hasta ~98. Una vez que se obtuvo el PC, se calculó su valor promedio y se multiplicó por el volumen de captura para cada especie y se obtuvo el valor económico promedio de la captura (VEC). A partir de dicho valor se establecieron tres categorías: (1) corresponde a especies consideradas de importancia económica baja pues en promedio anual aportan <\$100,000 pesos m.n.; (2) corresponde a las especies con importancia económica moderada con aportaciones promedio anual entre >\$100,000 y <\$1 millón de pesos m.n.; y (3) son especies de importancia económica alta con un aporte promedio anual de ≥1 millón de pesos m.n.

#### 2.2.5. Análisis de conglomerados

Una primera selección resultó en un total de 22 especies de tiburón reportadas en los avisos de arribo de la pesca ribereña del GC, las cuales se pudieron identificar hasta nivel de especie y de las que se contó con información de la CPUR para el periodo 2007 a 2017, así como con información de precio por kilogramo

para el periodo 2012 a 2017, y valores de vulnerabilidad. Para terminar con la priorización, las 22 especies de tiburón fueron agrupadas entre especies con características similares, con base en un análisis de conglomerado jerárquico, que estimó la similitud entre las especies considerando la distancia euclidiana entre los criterios propuestos: (1) la vulnerabilidad a la pesca, (2) su importancia en la captura histórica, y (3) su valor económico en la CPUR. El primer paso del análisis fue estimar la correlación entre variables a través de una prueba de Spearman (Anexo 2).

El criterio utilizado para definir una correlación alta entre variables fue un valor de  $\rho \geq 0.30$  y una significancia estadística al 95% de confianza ( $\alpha \geq 0.05$ ), y los valores de  $\rho < 0.30$  fueron considerados como una correlación baja. Posteriormente, dentro de los grupos conformados y con un diagrama de Venn se consideró la intersección de las especies que presentaron la categoría más alta (Figura 2).

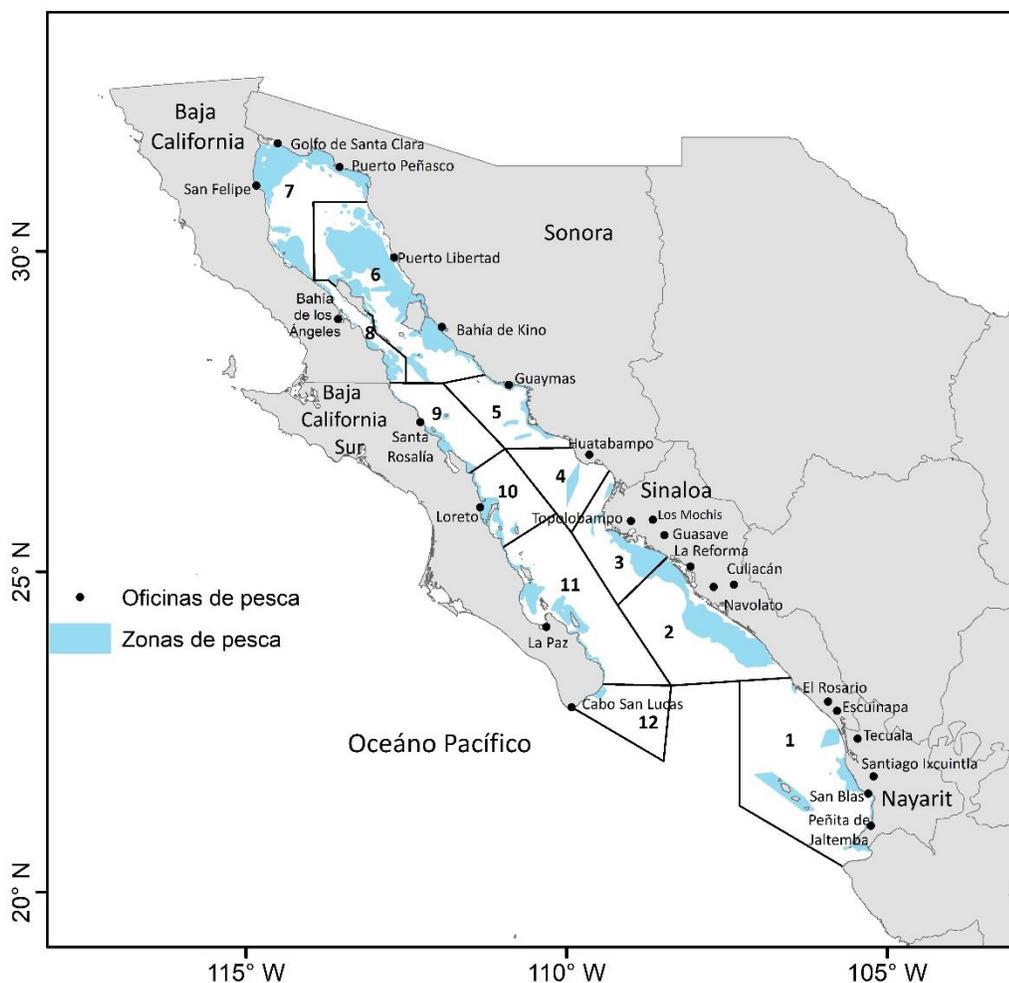


**Figura 2.** Diagrama de Venn utilizado para seleccionar las especies de tiburones consideradas como prioritarias para su conservación y el manejo de su pesquería ribereña en el golfo de California.

### **2.3. Identificación de regiones de pesca con mayor densidad de captura y riqueza de las especies de tiburón consideradas como prioritarias para su conservación y el manejo de su pesquería**

Las regiones de pesca estratégicas para la conservación de especies de tiburón se identificaron con base en el análisis de la información de los sitios de operación de la pesca de tiburón, a partir de la información registrada en los avisos de arribo que incluye los sitios de desembarque y lugar de captura. Debido a que esta información proporciona sitios puntuales y no áreas o polígonos de pesca, su localización se complementó con la información asentada en la literatura relacionada a áreas de pesca de tiburón en el GC (Bizzarro *et al.*, 2007; Ulloa *et al.*, 2007; PANGAS, 2008; Moreno-Báez, 2010). La localización y vigencia

de las zonas de pesca fueron validadas a partir de un proceso de consulta individual hecha a 25 personas, entre pescadores de diferentes localidades y personal de instituciones que reconocen las áreas de pesca de tiburón del GC, lo que permitió hacer algunos ajustes de su localización. Asimismo, las consultas permitieron documentar el uso compartido de áreas de pesca y recursos pesqueros entre flotas pesqueras de distintas localidades, así como acciones insuficientes de inspección y vigilancia en el área de captura. Esta dinámica está relacionada con la cercanía entre las costas de Sonora y Baja California, y la relación social y/o familiar entre pescadores del GC (Duberstein, 2009). Estos resultados fueron considerados para algunos ajustes, ya que el volumen de captura reportado en los avisos de arribo no necesariamente proviene del ámbito geográfico de una sola oficina de pesca. Las zonas de pesca fueron digitalizadas y proyectadas espacialmente mediante la función "Marge" de ArcMap<sup>®</sup> Software de ESRI. Una vez delineadas las zonas de pesca, se delimitaron 12 regiones de operación pesquera (ROP), con base en la información de cada uno de los sitios de desembarque, localidades y oficinas de pesca del GC (Figura 3).



**Figura 3.** Localización de las 12 regiones de operación pesquera (ROP) de la pesca ribereña de tiburones del golfo de California.

Esta regionalización permitió realizar los análisis posteriores, en donde la CPUR determinada para cada zona de pesca se le asignó a cada ROP. La densidad de las capturas de cada una de las especies de tiburones fue calculada a partir de la razón entre la CPUR (kg) por especie y el área de pesca total (km<sup>2</sup>) dentro de la ROP. A dicha razón se le llamó “densidad de captura” y se expresó en t/100km<sup>2</sup>, con el propósito de facilitar su interpretación. Debido a que no todas las especies están reportadas en todas las oficinas de pesca y por ende no aparecen en todas las ROP, el valor de la densidad de captura en esos casos fue cero. Para evaluar las diferencias del volumen de captura y la densidad de captura por especie prioritaria entre cada ROP, se realizaron pruebas no paramétricas con múltiples comparaciones *a posteriori* de Kruskal-Wallis (K-W) al 95% de confianza.

Para cada ROP se construyó una matriz numérica con la densidad de captura de cada una de las especies de tiburón. Los valores de esta matriz se utilizaron para crear mapas de distribución y densidad de captura por especie por ROP. Las proyecciones se obtuvieron en el Sistema de Información Geográfica (ARCMAP versión 10.3) bajo el sistema de coordenadas geográficas WGS84. Para estimar la riqueza de especies capturadas en cada ROP, se hizo un arreglo binario de la misma matriz en donde uno corresponde a la densidad de captura por especie mayor a cero, y cero cuando la densidad de captura por especie es cero. El valor de la riqueza de especies en cada ROP se obtuvo a partir de la suma de todas las especies capturadas.

#### **2.4. Evaluación de la relación entre la densidad de la captura por especie en las Regiones de Operación Pesquera y las características físicas del hábitat y de las operaciones pesqueras**

Para evaluar la distribución espacial de la densidad de captura de cada una de las especies prioritarias y su relación con las características del hábitat en cada ROP, se utilizó el Modelo Aditivo Generalizado (GAM, por sus siglas en inglés). Este modelo es una extensión de los modelos lineales general y lineal generalizado que permite ajustar la suma de funciones suavizadas de la relación entre la variable de respuesta y explicativas. El efecto del ajuste a dichas curvas, equivale a observar una regresión lineal múltiple y/o bivariada (Hastie y Tibshirani, 1986; Wood, 2017). Las ventajas de los GAM son que permiten ajustar una función no lineal para cada variable explicativa sin la necesidad de transformar cada una manualmente, las predicciones para la variable de respuesta son más precisas y describen mejor la relación causa efecto entre variables, además de que permiten ajustar cada variable en función de los grados de libertad (Guisan *et al.*, 2002; Wood, 2017).

En este estudio, algunas de las especies identificadas como prioritarias presentan una densidad de captura igual a cero en el 38% de las ROP, debido a que no todas las especies prioritarias se registraron para todas las oficinas de pesca aquí analizadas. Para evaluar dichas especies se utilizó la familia de distribución binomial negativa, la función de liga (*link*) *log* y una compensación con la función *offset*, para reducir el efecto de la inflación causada por los valores cero y generar un modelo parsimonioso (Barry y Welsh, 2002; Drexler y Ainsworth, 2013). En el caso de especies donde la cantidad de ceros en los datos de densidad de captura fue menor al 10%, se usó la familia de distribución *Gamma* y la función de liga *log* sin incluir alguna función compensatoria de la inflación por valores de cero. Todos los modelos fueron ajustados usando la paquetería “Mgcv” (Wood, 2011) en R studio<sup>®</sup> (Versión 1.1.453 – 2009-2017 RStudio, Inc), bajo la siguiente ecuación general:

$$g(\mu_i) = A_i \theta + f_1(x_{1i}) + f_2(x_{2i}) + f_3(x_{3i}, x_{4i}) + \dots f \quad (2)$$

en donde  $\mu_i$  corresponde a  $E[Y_i]$  y  $Y_i \sim EF(\mu_i, \phi)$ ,  $Y_i$  es la densidad de captura,  $EF(\mu_i, \phi)$  describe la distribución de la familia exponencial con los valores promedio ( $\mu_i$ ) y la variable a ajustar ( $\phi$ ).  $A_i$  corresponde al intercepto del modelo y estrictamente de variables paramétricas,  $\theta$  es el parámetro correspondiente al vector, y  $f_j$  son las funciones que ajustan las variables independientes ( $x_k$ ). La función *s* con un tipo de regresión *thin plate* permitió ajustar las variables físico-ambientales. Los valores del parámetro *Theta* se determinaron con el método de máxima verosimilitud con restricciones (REML, por sus siglas en inglés; Wood, 2017). Los modelos con mayor parsimonia se determinaron por medio del criterio teórico de información mínima (AIC, por sus siglas en inglés; Akaike, 1974) y la devianza explicada, que es equivalente al total de la suma de cuadrados en una regresión lineal y determina el porcentaje de datos que explican el modelo (Wood, 2017). La variable de respuesta en los modelos fue la densidad de captura de cada especie en cada una de las ROP. Las variables explicativas incluyeron tanto variables que caracterizan el hábitat físico, así como las características de las operaciones pesqueras realizadas en cada una de las ROP como el número de artes de pesca.

#### **2.4.1. Características físico-ambientales del hábitat en las Regiones de Operación Pesquera**

Se estimó la relación entre las características físicas del ambiente en el que se distribuyen las especies de tiburón con la densidad de su captura en cada ROP con base en cuatro variables como la temperatura superficial del mar (TSM), profundidad, pendiente y el tipo de sustrato (Tabla 1).

**Tabla 1** Variables físico-ambientales utilizadas para identificar su relación con la ocurrencia de tiburones en el golfo de California.

Variable	Unidad	Resolución Espacio-temporal	Fuente	Año de referencia
TSM	°C	~4 km; mensual	Modis-Aqua	2007-2017
Profundidad	m	~50 m	GEBCO	2019
Pendiente	°Sexagesimal	~50 m	GEBCO	2019
Tipo de sustrato	--	--	INAPESCA	1994

Los datos de TSM se obtuvieron de imágenes de satélite del sensor MODIS-Aqua, en una longitud de onda de 11  $\mu\text{m}$ , con información generada por la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, por sus siglas en inglés; NASA, 2019). Los valores promedio, máximos y mínimos fueron calculados anualmente para el periodo 2007 a 2017, con el software Matlab<sup>®</sup> (MATLAB, 2010). Las imágenes satelitales de la franja costera suelen estar limitadas por la resolución espacial, por lo que estos valores fueron estimados mediante el método de interpolación proximal utilizando los seis pixeles vecinos más cercanos, con el software ArcGis<sup>®</sup> (versión 10.3) y el sistema de coordenadas geográficas WGS84. Los datos de profundidad se obtuvieron de la Carta Batimétrica Global de los Océanos (GEBCO, por sus siglas en inglés; GEBCO, 2019), se procesaron en Matlab<sup>®</sup>, y luego en ArcGis<sup>®</sup> (versión 10.3) se proyectaron las isobatas dispuestas cada 50 metros. La pendiente entre isobatas se estimó con la paquetería “Rgdal” (Bivand *et al.*, 2018), con el software R studio<sup>®</sup> (Versión 1.1.453 – 2009-2017 RStudio, Inc). Finalmente, la caracterización del tipo de sustrato se obtuvo del Atlas Pesquero de México (INAPESCA, 1994), con el cual se identificaron 12 categorías (Figura 4). La información fue digitalizada y proyectada espacialmente con el sistema de información geográfica ArcGis<sup>®</sup> (versión 10.3) en el sistema de coordenadas geográficas mencionado.

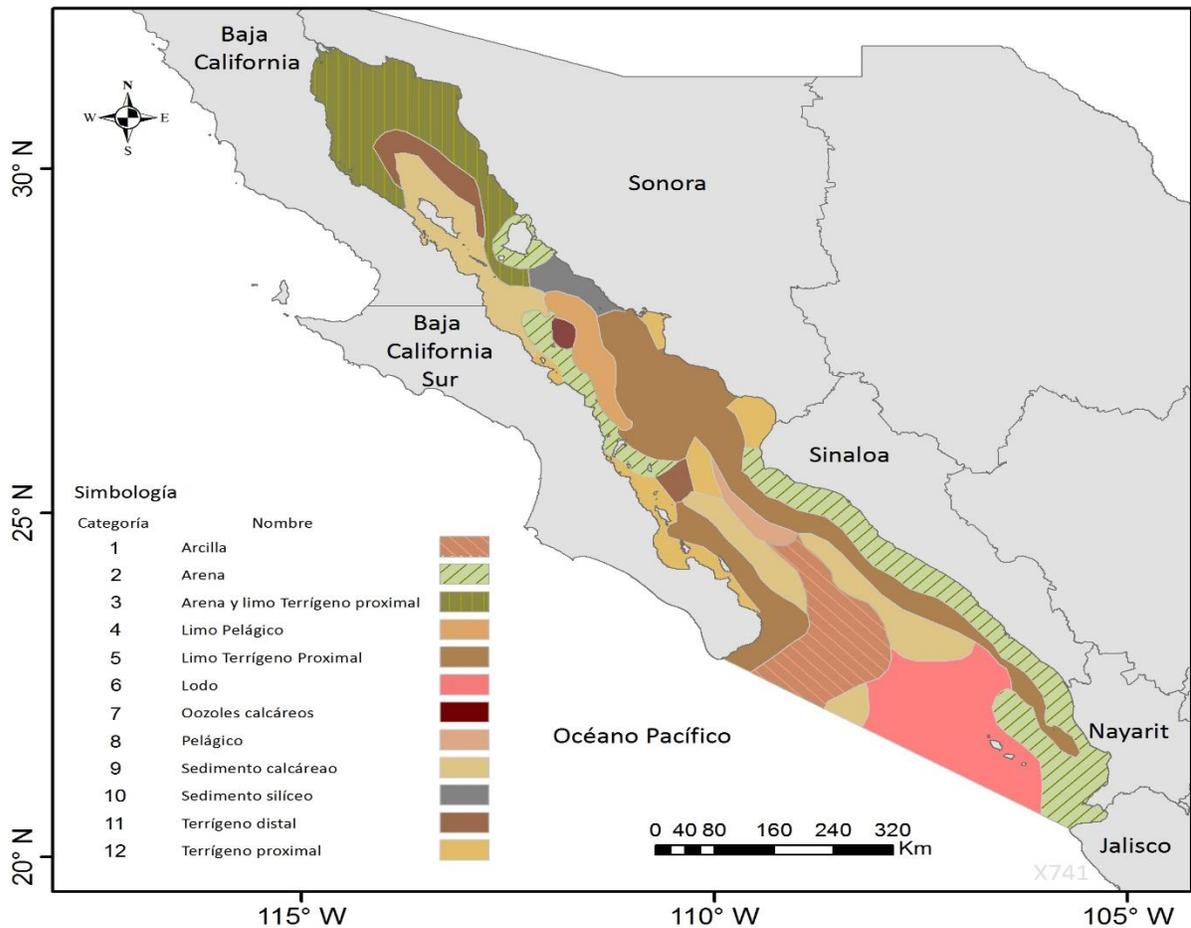


Figura 4. Tipo de sustrato que conforma el fondo marino de todo el golfo de California (INAPESCA, 1994).

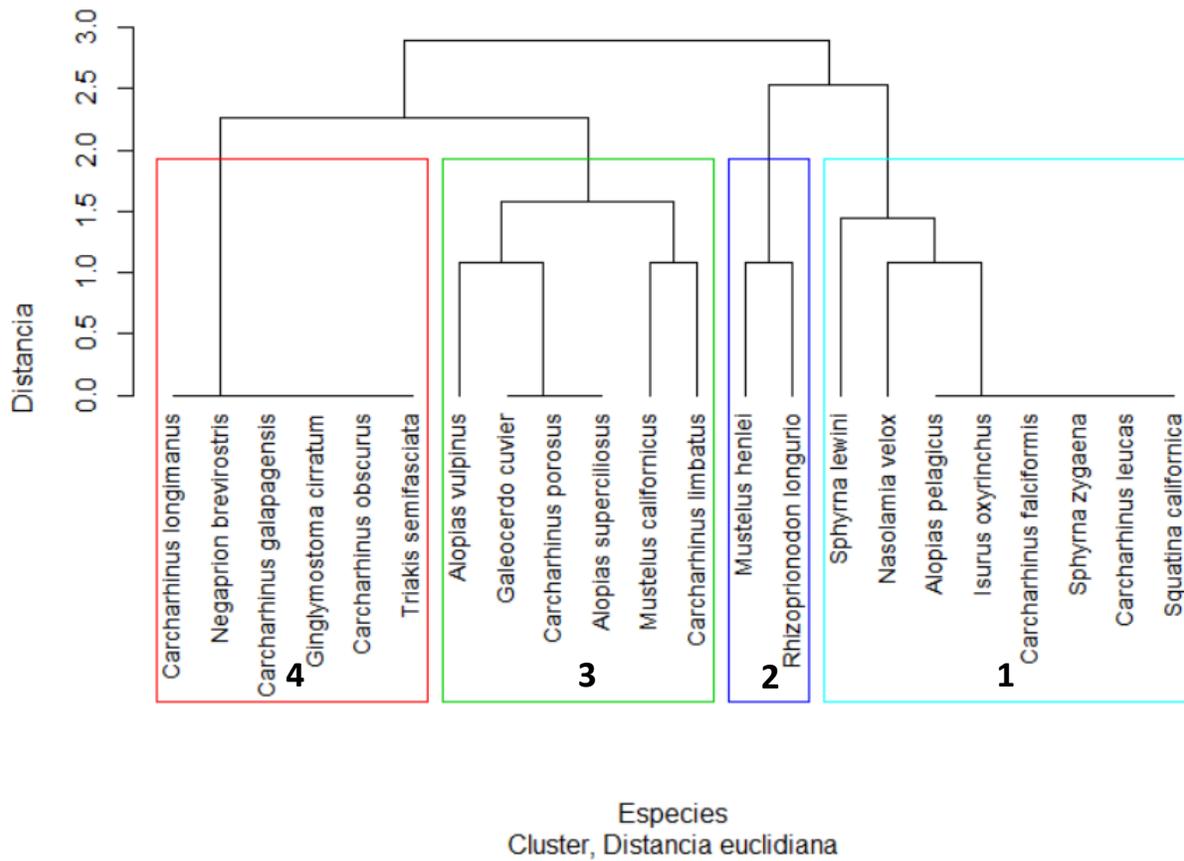
#### 2.4.2. Características de las operaciones pesqueras en las Regiones de Operación Pesquera

Las características de las pesquerías de tiburón en cada ROP se obtuvieron a partir del número de cimbras y redes autorizadas por embarcación de cada unidad económica asociada a cada oficina de pesca. Esta información está registrada en los permisos de pesca ribereña de tiburón en el GC, obtenida a través del Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI). Solo se obtuvo acceso a la información de permisos vigentes durante los años 2012 y 2017. Considerando que el incremento de la captura ocurre a partir del 2012 hasta alcanzar su pico máximo en 2017, como consecuencia del aumento del esfuerzo pesquero (mayor número de permisos), y que la vigencia de los permisos de pesca comprende de dos y hasta cinco años, con la información del 2012 se estimó el número de artes de pesca del 2007 al 2012, y con la información del 2017 se estimó el número de artes de pesca del periodo 2013-2017.

## Capítulo 3. Resultados

### 3.1. Identificación de especies de tiburón consideradas como prioritarias para su conservación y para el manejo de su pesquería ribereña

El análisis de conglomerado jerárquico permitió discriminar cuatro grupos de tiburones a un nivel de distancia euclidiana menor a dos. El grupo uno (G1) se conforma por las especies *Alopias pelagicus*, *Carcharhinus falciformis*, *Carcharhinus leucas*, *Isurus oxyrinchus*, *Nasolamia velox*, *Sphyrna lewini*, *Sphyrna zygaena* y *Squatina californica*. El grupo dos (G2) lo conforman las especies *Mustelus henlei* y *Rhizoprionodon longurio*. El grupo tres (G3) es conformado por las especies *Alopias superciliosus*, *Alopias vulpinus*, *Carcharhinus limbatus*, *Carcharhinus porosus*, *Galeocerdo cuvier* y *Mustelus californicus*. Finalmente, el grupo cuatro (G4) se compone por las especies *Carcharhinus galapagensis*, *Carcharhinus longimanus*, *Carcharhinus obscurus*, *Ginglymostoma cirratum*, *Negaprion brevirostris* y *Triakis semifasciata* (Figura 5).



**Figura 5.** Análisis de conglomerado jerárquico de las especies de tiburón que se capturan en la pesca ribereña del golfo de California.

El G1 es el grupo más heterogéneo, compuesto principalmente por especies con vulnerabilidad (V) y valor económico de la captura (VEC) de importancia alta ( $\geq 1.89$  y  $> 1$  millón de pesos m.n, respectivamente) y CHP moderada ( $> 100$  y  $< 1000$  t). El G2 se conforma solo por dos especies con V moderada ( $> 0.94$  y  $< 1.88$ ), importancia de CHP alta ( $< 1000$  t/año) e importancia por el VEC moderada y alta. El G3 se compone por especies con V moderada, principalmente especies con importancia de CHP baja ( $< 100$  t/año) y VEC bajo ( $< \$100$  mil pesos m.n.), aunque también se agrupan especies como *C. limbatus* y *M. californicus* que son de CHP moderada, así como *A. vulpinus* y *C. limbatus*, que son de importancia moderada por el VEC ( $> 100$  mil pesos a  $< 1$  millón de pesos m.n.). Las especies del grupo G4 presentan una V por pesca alta, importancia de CHP baja y un VEC bajo. En ninguno de los grupos se encontró especies con V baja ( $V < 0.89$ ).

La intersección entre la importancia alta de una especie con base en su vulnerabilidad por pesca, la captura histórica y valor económico de la captura, muestra que de un total de 22 especies de tiburón que se evaluaron para la pesquería ribereña del GC, 11 son consideradas como especies prioritarias para la conservación y el manejo de su pesquería: *A. pelagicus*, *C. falciformis*, *C. leucas*, *C. limbatus*, *I. oxyrinchus*, *M. henlei*, *N. velox*, *R. longurio*, *S. lewini*, *S. zygaena* y *S. californica* (Tabla 2).

**Tabla 2.** Especies de tiburón consideradas como prioritarias para su conservación y el manejo de su pesquería con base en su vulnerabilidad por pesca (V), volumen de captura histórica promedio (CHP; 1940-2017), y valor económico de la captura promedio (VEC; 2007-2017).

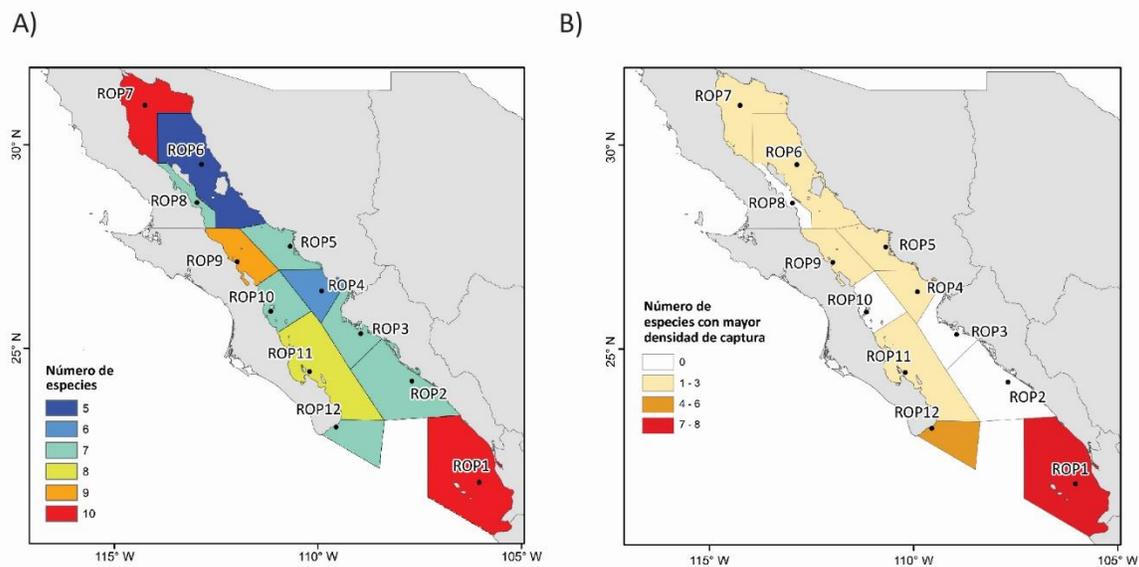
Grupo	Especie	Valores determinados			Categorías		
		(V) Pesca	CHP (t/año)	VEC (Pesos m.n.)	(V) Pesca	CHP	VEC
1	<i>Sphyrna lewini</i> ***	2.15	1911	\$ 13,949,538	3	3	3
	<i>Alopias pelagicus</i> **	1.91	116	\$ 2,254,397	3	2	3
	<i>Isurus oxyrinchus</i> **	1.98	120	\$ 6,060,549	3	2	3
	<i>Carcharhinus falciformis</i> **	2	467	\$ 11,774,357	3	2	3
	<i>Sphyrna zygaena</i> **	2.05	284	\$ 4,981,978	3	2	3
	<i>Carcharhinus leucas</i> **	2.25	168	\$ 5,578,495	3	2	3
	<i>Squatina californica</i> **	2.13	413	\$ 8,797,607	3	2	3
	<i>Nasolamia velox</i> *	1.89	192	\$ 704,883	3	2	2
2	<i>Mustelus henlei</i> **	1.8	1827	\$ 4,054,213	2	3	3
	<i>Rhizoprionodon longurio</i> *	1.18	1297	\$ 106,813	2	3	2
3	<i>Carcharhinus limbatus</i> *	1.61	214	\$ 726,401	2	2	2
	<i>Mustelus californicus</i>	1.81	457	\$ 39,239	2	2	1
	<i>Alopias vulpinus</i>	1.53	3	\$ 869,553	2	1	2
	<i>Galeocerdo cuvier</i>	1.79	43	\$ 3,488	2	1	1
	<i>Carcharhinus porosus</i>	1.85	30	\$ 13,950	2	1	1
	<i>Alopias superciliosus</i>	1.82	13	\$ 96,617	2	1	1
4	<i>Carcharhinus longimanus</i>	1.91	11	\$ 7,324	3	1	1

<i>Negaprion brevirostris</i>	1.95	46	\$	10,812	3	1	1
<i>Carcharhinus galapagensis</i>	1.98	10	\$	3,488	3	1	1
<i>Ginglymostoma cirratum</i>	2.12	6	\$	16,088	3	1	1
<i>Carcharhinus obscurus</i>	2.14	36	\$	3,139	3	1	1
<i>Triakis semifasciata</i>	2.13	17	\$	7,710	3	1	1

\*\*\* Especie prioritaria de importancia alta por su V, CHP y VEC. \*\* Especie prioritaria de importancia alta por su V y VEC, y CHP moderada. \* Especie prioritaria con importancia de moderada a alta.

### 3.2 Regiones de pesca con mayor riqueza y densidad de captura de especies de tiburón

El número mínimo posible de especies que se capturaron en cada ROP fue de cinco, con un máximo de 10 especies. La riqueza entre las ROP mostró que alrededor del 80% de las especies evaluadas fueron capturadas en las ROP 1, 7 y 9. La menor riqueza de especies se observó en la ROP 6, donde solo se registró la captura de cinco especies. Sin embargo, en el 50% de las ROP se capturan siete de las 11 especies prioritarias (Figura 6A).



**Figura 6.** Riqueza de especies de tiburón y número de especies con el valor de densidad de captura más alto para cada una de las 12 regiones de operación pesquera (ROP) de la pesquería de tiburón del golfo de California.

En las ROP 1 y 12 se registró el mayor número de especies con el valor de la densidad de captura más alto por ROP (Figura 6B). En la ROP 1, las especies con densidad alta fueron *S. lewini*, *R. longurio*, *C. falciformis*, *C. leucas*, *S. zygaena*, *C. limbatus* y *N. velox*. Y en la ROP 12 fueron seis especies, *S. lewini*, *S. californica*, *I. oxyrinchus*, *C. falciformis*, *C. limbatus* y *S. zygaena* (Tabla 3).

**Tabla 3.** Densidad de captura por especie (t/100km<sup>2</sup>) registrada en cada región de operación pesquera (ROP) de las zonas de captura de tiburones del golfo de California. En negritas se indican las especies con el valor de la densidad de captura por ROP.

ROP → Especie ↓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>A. pelagicus</i>	--	0.14	--	--	--	--	0.86	4.27	18.88	10.76	3.39	14.61
<b><i>C. falciformis</i></b>	<b>79.88</b>	16.97	--	4.65	1.79	0.22	0.39	6.75	11.19	7.94	17.98	<b>47.83</b>
<b><i>C. leucas</i></b>	<b>62.25</b>	3.65	17.82	20.70	0.19	0.02	0.03	--	5.04	--	--	--
<b><i>C. limbatus</i></b>	<b>13.40</b>	--	5.32	5.63	1.75	0.37	0.49	1.67	6.58	2.99	2.90	<b>23.92</b>
<i>I. oxyrinchus</i>	4.04	9.56	--	--	--	--	0.07	2.25	12.70	6.92	12.92	<b>50.49</b>
<i>M. henlei</i>	0.05	--	0.76	0.60	1.57	6.17	1.87	--	1.98	--	10.78	--
<i>N. velox</i>	4.22	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b><i>R. longurio</i></b>	<b>125.78</b>	13.15	35.48	129.84	--	--	10.66	--	--	--	--	--
<b><i>S. californica</i></b>	2.88	--	2.89	30.13	20.52	2.41	35.13	12.85	17.43	12.88	10.71	<b>150.14</b>
<b><i>S. lewini</i></b>	<b>145.71</b>	21.94	96.58	--	24.33	--	3.44	0.63	8.37	37.47	52.67	<b>196.64</b>
<b><i>S. zygaena</i></b>	<b>33.92</b>	1.68	7.22	--	18.27	--	2.76	2.50	0.68	3.04	4.44	<b>15.94</b>
<b>Promedio</b>	<b>47.21</b>	<b>9.58</b>	<b>23.72</b>	<b>31.93</b>	<b>9.77</b>	<b>1.84</b>	<b>5.57</b>	<b>4.42</b>	<b>9.21</b>	<b>11.71</b>	<b>14.47</b>	<b>71.37</b>

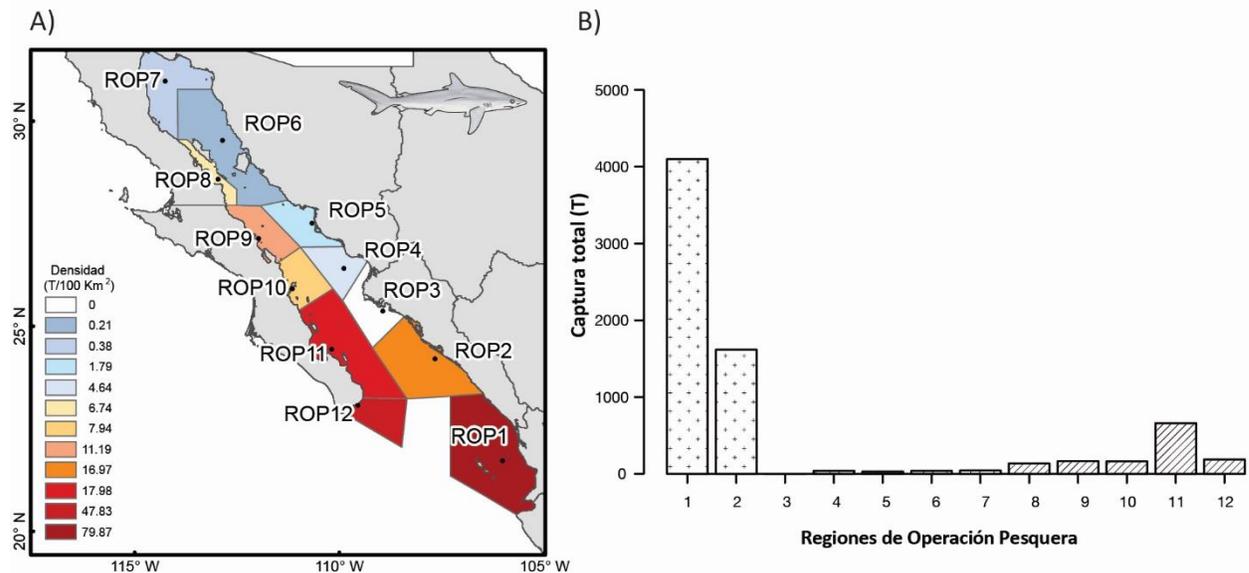
El análisis de la captura de las zonas de pesca de tiburones que conforman las ROP, muestra que de las 11 especies de tiburón prioritarias, cinco se capturan en más del 80% de las ROP: *C. falciformis*, *C. limbatus*, *S. californica*, *S. lewini* y *S. zygaena*. Otras cinco especies son capturadas entre el 40% y 80% de las ROP: *A. pelagicus*, *C. leucas*, *I. oxyrinchus*, *M. henlei* y *R. longurio*. Con base en el análisis de distribución de las especies se observó que *N. velox* se registró únicamente en la ROP 1. En todos los casos, la captura total y la densidad de captura de dichas especies entre las ROP son significativamente distintas ( $p < 0.001$ ).

### 3.3 Evaluación de la relación entre la densidad de la captura por especie en las Regiones de Operación Pesquera y las características físicas y de las operaciones pesqueras

#### 3.3.1 *Carcharhinus falciformis*

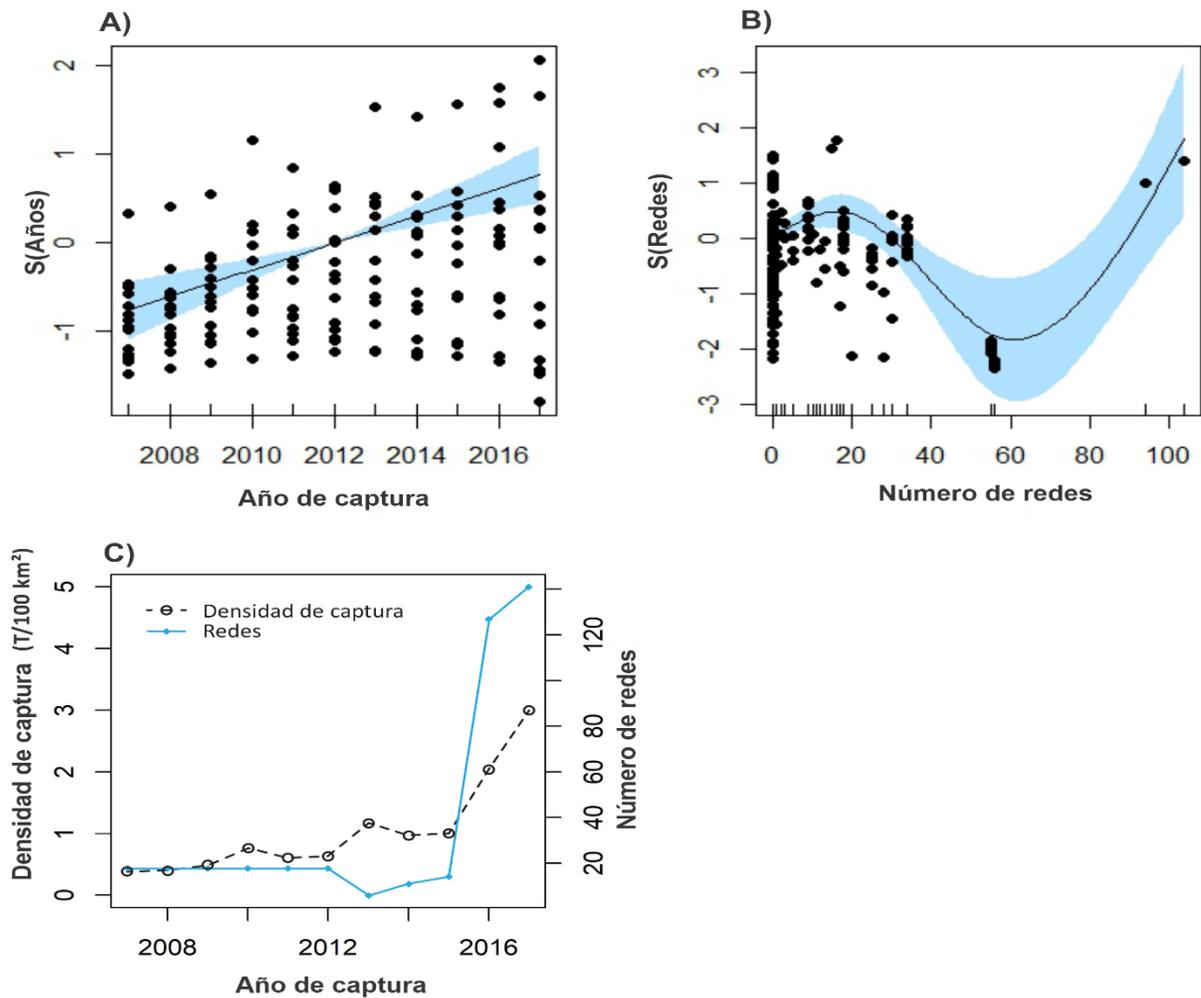
En la prueba de múltiples comparaciones *a posteriori* de Kruskal-Wallis (K-W) se observó que la densidad de captura de *C. falciformis* es mayor en las ROP 1 y 12, cada una con ~79 y ~47 t/100km<sup>2</sup>. En cambio, en las ROP 4, 5, 6, 7, 8 y 10 se observó una densidad de captura menor, entre ~0.2 y ~8 t/100km<sup>2</sup>. Las ROP 2,

9 y 11 conforman un tercer bloque con densidad de captura de  $\sim 17$ ,  $\sim 11$  y  $\sim 18$  t/100km<sup>2</sup>, respectivamente (Figura 7A). Sin embargo, con relación a la captura total entre regiones, dicha prueba indica que las ROP 1 y 2 conforman un primer bloque que aporta la mayor captura, cada una con 4,099 y 1,617 t. Las ROP 4, 5, 6 y 7 conforman un segundo bloque que aporta la capturas menores con  $\sim 30$  y  $\sim 40$  t, respectivamente. Y las ROP 8, 9, 10, 11 y 12 conforman un tercer bloque que aporta entre  $\sim 135$  y  $\sim 700$  t. No se encontró información de captura de esta especie en avisos de arribo de las oficinas que integran la ROP3 (Figura 7B).



**Figura 7.** Densidad de *C. falciformis* (A) con base en la captura (B) en las distintas regiones de operación pesquera en el golfo de California durante el periodo 2007- 2017. La textura (B) indica la diferencia de captura entre regiones de operación pesquera con base en la prueba *a posteriori* de Kruskal-Wallis.

El ajuste del modelo GAM de *C. falciformis* describió el 27.7% de la devianza (REML = 245. 43; AIC= 433.35) y una correlación ( $R^2$ ) de 0.178. Al utilizar el año de captura y el número de redes como variables ajustadas, se observó que estas variables explican la densidad de captura observada entre las ROP. La curva ajustada correspondiente al año, indicó que la densidad de captura se mantiene estable durante el periodo 2007 - 2017 (Figura 8A). Sin embargo, en los datos observados la tendencia es en incremento a partir del 2012. Asimismo, se observó una disminución del número de redes reportadas entre 2012 y 2016 (Figura 8 B y C). El año de captura, como variable, explicó el 15.1% de la devianza total del modelo (REML = 275. 85; AIC= 433.35) y con  $R^2= 0.178$ . El número de redes explicó el 17.7% de la devianza total del modelo (REML = 203. 97; AIC= 453.39) y una  $R^2= 0.037$ .

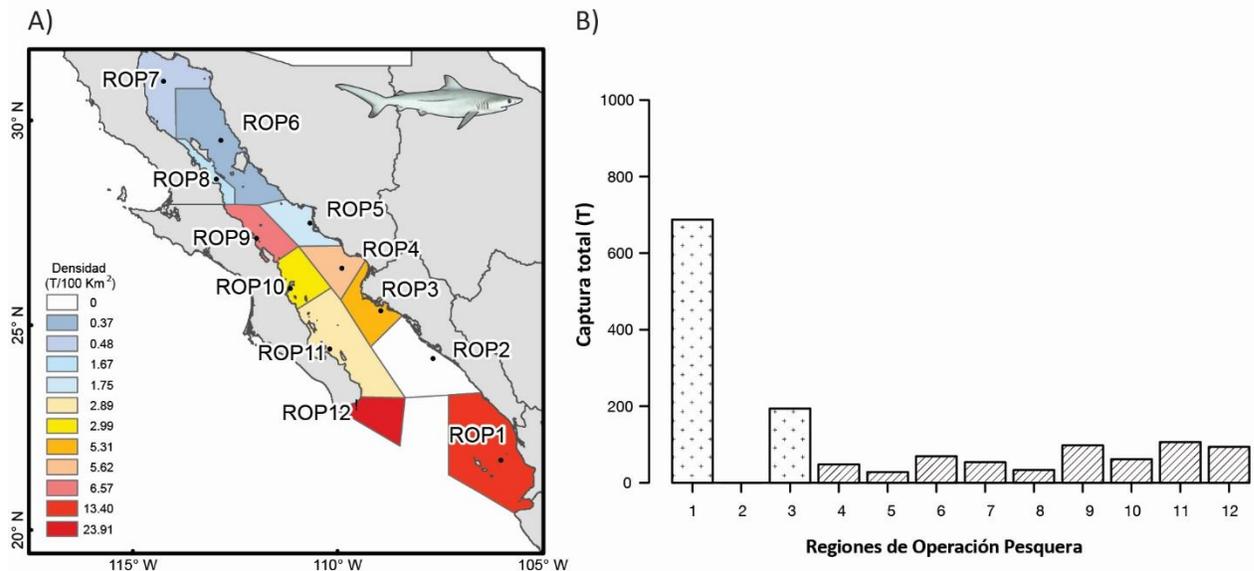


**Figura 8.** Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de *C. falciiformis* (A y B), con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017 (C). El área sombreada azul (A y B) representa los intervalos de confianza al 95%, la línea sólida en negro representa el efecto aditivo de las observaciones de la densidad de captura por año y por número de redes entre ROP, utilizando una familia de distribución binomial negativa.

### 3.3.2 *Carcharhinus limbatus*

La densidad de captura de *C. limbatus* fue mayor al sur del GC en comparación al norte. La ROP 12 con  $\sim 24 \text{ t}/100\text{km}^2$  (K-W), seguido del bloque que conforman las ROP 1 y 9 con una aportación de  $\sim 13$  y  $\sim 7 \text{ t}/100\text{km}^2$ . Las ROP 3, 4, 5, 8, 10, 11 forman un tercer bloque con densidad de captura entre  $\sim 0.5$  y  $5 \text{ t}/100\text{km}^2$ . Un cuarto bloque se compone de las ROP 6 y 7 con una densidad de captura menor, de  $\sim 0.3$  y  $\sim 0.5 \text{ t}/100\text{km}^2$ , respectivamente (Figura 9A). Sin embargo, con relación a la captura total entre regiones, se observó que las ROP 1 y 3 conforman el bloque que aporta la captura mayor (688 y 194 t, respectivamente). Las ROP 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 conformaron un segundo bloque que aporta la captura menor ( $\sim 30$  y  $\sim 100 \text{ t}$ ). No se

encontró registró de captura de esta especie en avisos de arribo de las oficinas que integran la ROP 2 (Figura 9B).

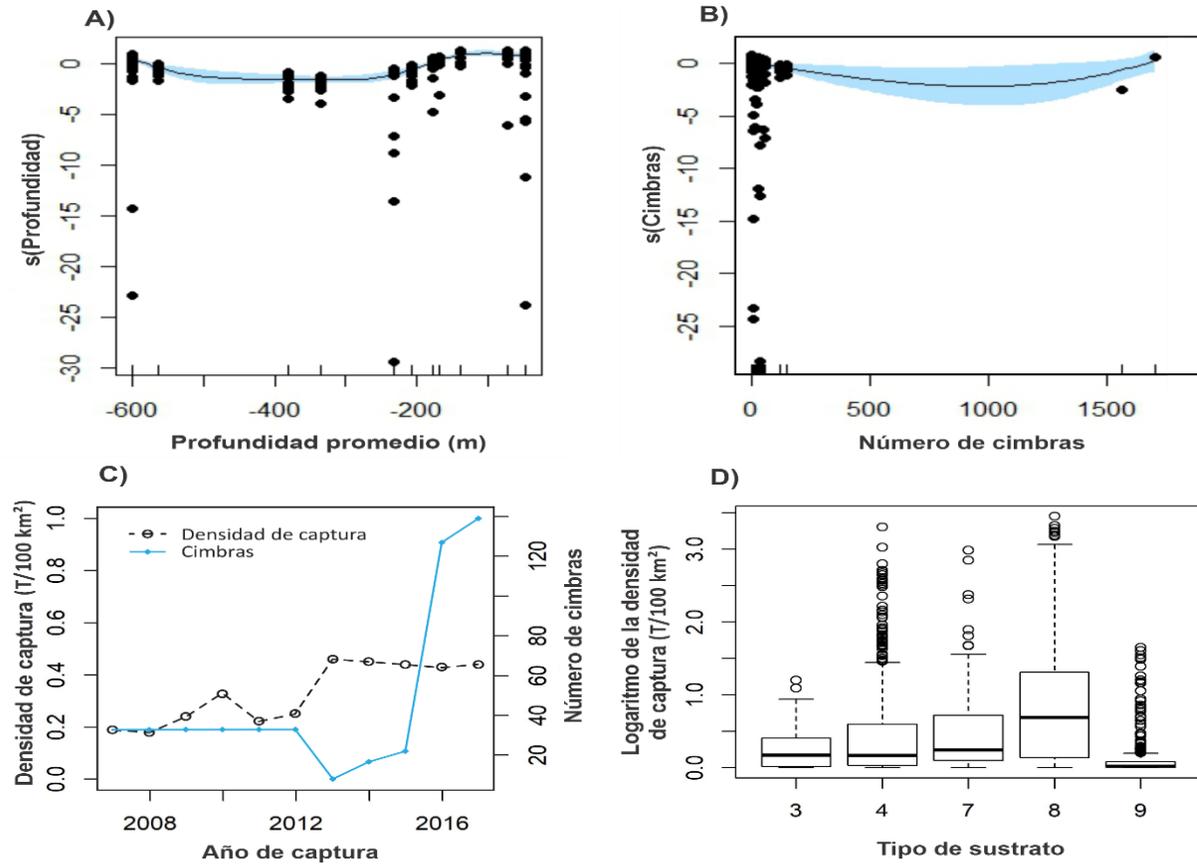


**Figura 9.** Densidad de *C. limbatus* (A) con base en la captura (B) en las distintas regiones de operación pesquera en el golfo de California durante el periodo 2007- 2017. La textura (B) indica la diferencia de captura entre regiones de operación pesquera con base en la prueba *a posteriori* de Kruskal-Wallis.

En el modelo de *C. limbatus* el ajuste describió el 77.4% de la devianza (REML = 127.21; AIC= -268.84) con una  $R^2= 0.703$ . La densidad de captura observada entre las ROP fue explicada por la profundidad promedio (en metros, m) y el número de cimbras, como variables ajustadas, y el tipo de sustrato como variable categórica. La curva ajustada de profundidad promedio mostró que los datos sobre la densidad de captura se concentraron principalmente en regiones con profundidad  $\leq 200$  m (Figura 10A). Asimismo, la curva ajustada del número de cimbras, y los datos observados, mostraron que aun cuando hubo un incremento en el promedio del número de cimbras reportadas para esta pesquería (Figura 10B), de ~25 y hasta ~140 cimbras, la densidad de captura solo fluctuó de 0.2 a 0.5 t/100km<sup>2</sup> en promedio entre el periodo 2007 a 2017.

La profundidad promedio explicó el 7.73% de la devianza total del modelo (REML = 173.75; AIC= 273.83) con una  $R^2= 0.049$ . El número de cimbras explicó el 27.8% de la devianza total del modelo (REML= -24.11; AIC=-62.63) con una  $R^2= 0.200$ . Se observó que los cinco tipos de sustrato, en conjunto, son significativos en el ajuste del modelo, los cuales explicaron el 27.5% de la devianza total (REML= 147.42; AIC=237.15) y presentaron una  $R^2= 0.260$ . Los tipos de sustrato fueron: arena y limo de composición terrígena (3), limo con composición de materia pelágica (4), oozoles con composición de material calcáreo (7), materia

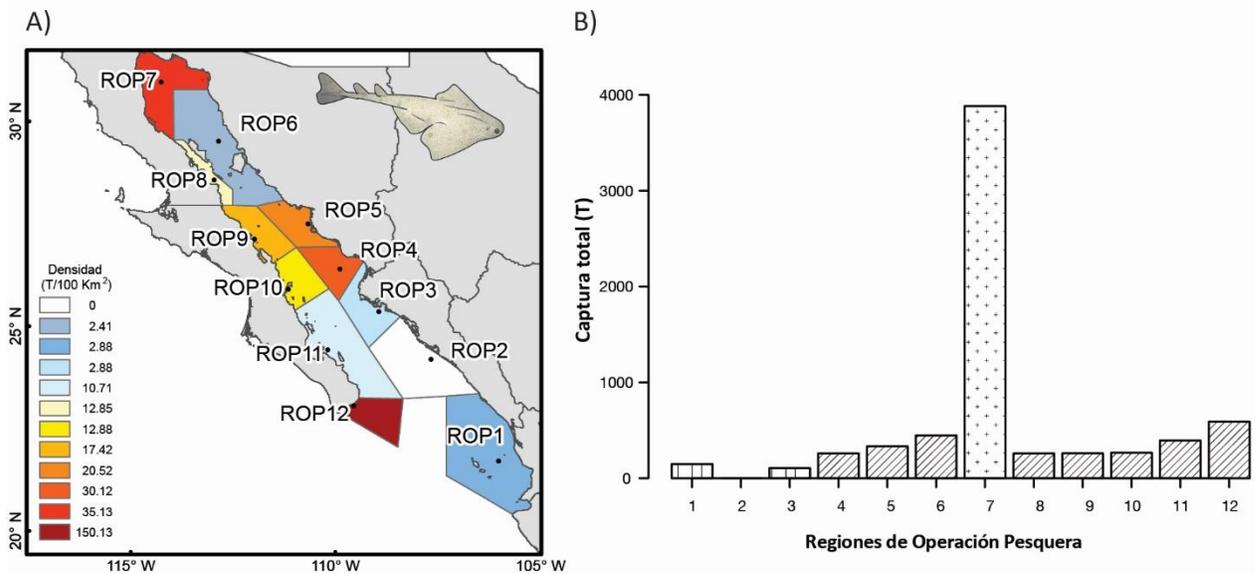
pelágica (8) y sedimento calcáreo (9). La mayor densidad de captura se observó en la ROP en donde el tipo de sustrato estaba compuesto por materia pelágica (Figura 10D).



**Figura 10.** Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de *C. limbatus* (A y B), con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017 (C) y el tipo de sustrato como variable categórica (D). El área sombreada en azul (A y B) representa los intervalos de confianza al 95%, la línea sólida en negro representa el efecto aditivo de las observaciones de la densidad de captura con base en la profundidad promedio y por número de cimbras entre las diferente ROP, con una familia de distribución gamma.

### 3.3.3 *Squatina californica*

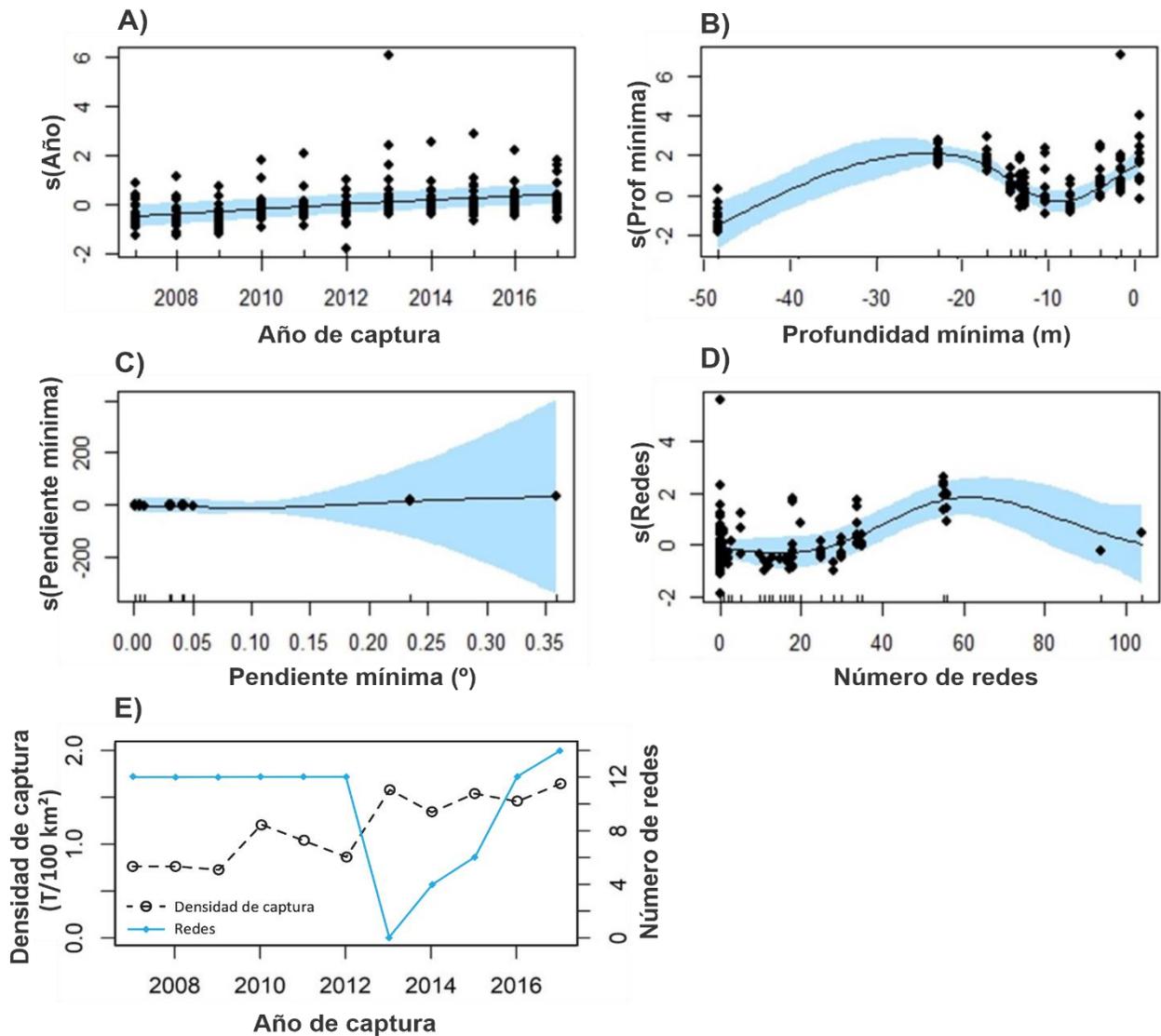
La mayor densidad de captura de *S. californica* se observó en la ROP 12 con  $\sim 150$  t/100km<sup>2</sup> (K-W). Un segundo bloque fue conformado por las ROP 4, 5, 7, 8, 9, 10 y 11 con una densidad de captura entre  $\sim 10$  y  $\sim 35$  t/100km<sup>2</sup>. Las menores densidades de captura se registraron en las ROP 1, 3 y 6 con  $\sim 3$  t/100km<sup>2</sup> (Figura 11A). Sin embargo, con relación a la captura total entre regiones, la ROP 7 aportó la mayor captura total de 3,884 t, en comparación con las ROP 1 y 3 que aportan la menor captura (148 y 105 t). Las ROP 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11 y 12 presentan capturas entre  $\sim 260$  y  $\sim 500$  t. No se encontró información de captura de esta especie en avisos de arribo de las oficinas que integran la ROP 2 (Figura 11B).



**Figura 11.** Densidad de *S. californica* (A) con base en la captura (B) en las distintas regiones de operación pesquera en el golfo de California durante el periodo 2007- 2017. La textura (B) indica la diferencia de captura entre regiones de operación pesquera con base en la prueba *a posteriori* de Kruskal-Wallis.

El modelo ajustado de *S. californica* describió el 83.8% de la devianza (REML =230.5; AIC= 393.28) y presentó una  $R^2= 0.880$ . La densidad de captura observada entre las ROP fue explicada por las variables ajustadas, el año, número de redes, profundidad mínima (m), así como la pendiente mínima ( $^{\circ}$ ). La curva ajustada correspondiente al año y los datos observados (Figura 12 A y E) mostraron que la captura se mantuvo uniforme entre  $\sim 1$  y  $\sim 2$  t/100km<sup>2</sup>. Asimismo, la curva ajustada de profundidad mínima mostró que los datos sobre la densidad de captura se concentraron principalmente en regiones con profundidad  $\leq 50$  m (Figura 12B) y con pendiente de hasta  $0.35^{\circ}$  (Figura 12C). La curva ajustada del número de redes y los datos observados mostraron que el promedio del número de redes reportadas para esta pesquería se mantuvo para el periodo 2007 a 2017, aunque en el año 2013 se observó una disminución de número de redes (Figura 12 D y E).

Con respecto a la importancia de cada variable, el año de captura, como variable, explicó el 1.85% de la devianza total del modelo (REML =378. 56; AIC= 706.88) con una  $R^2= 0.044$ . La profundidad y pendiente mínima aportaron el 69.1% y 73.5% de la devianza total del modelo (REML=288.09 y 272.88; AIC=500.06 y 469.89), así como una  $R^2= 0.755$  y  $0.758$ , respectivamente.

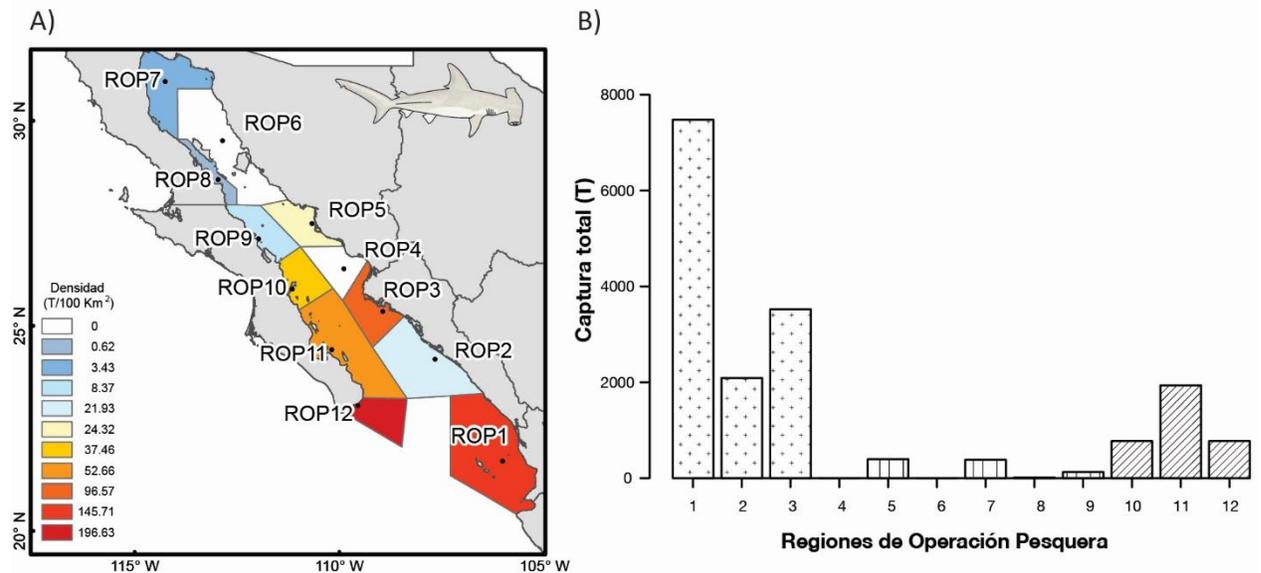


**Figura 12.** Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de *S. californica* (A, B, C y D), con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017 (E). El área sombreada en azul (A, B, C y D) representa los intervalos de confianza al 95%, la línea sólida en negro representa el efecto aditivo de las observaciones de la densidad de captura con base en el año, la profundidad y pendiente mínima, así como el número de redes para realizar la pesca entre las diferente ROP, utilizando una familia de distribución binomial negativa.

### 3.3.4 *Sphyrna lewini*

En el análisis de *S. lewini*, la prueba de múltiples comparaciones *a posteriori* K-W, muestra que la ROP 12 presenta la densidad de captura mayor ( $\sim 196$  t/100km<sup>2</sup>), seguido del bloque formado por las ROP 1, 3 y 11, con densidad de captura de  $\sim 145$ ,  $\sim 96$  y  $\sim 52$  t/100km<sup>2</sup>, respectivamente. Las ROP 2, 5 y 10 conforman un segundo bloque con densidad de captura total de  $\sim 21$ ,  $\sim 24$  y  $\sim 37$  t/100km<sup>2</sup> cada una. En contraste, las ROP 7, 8 y 9 conforman el bloque con la densidad de captura menor, entre  $\sim 0.1$  y  $\sim 8$  t/100km<sup>2</sup> (Figura

13A). Con relación a la captura total entre regiones, dicha prueba indica que las ROP 1, 2 y 3 aportan la captura total mayor (7,477 t, 2,090 t, y 3,522 t). Las ROP 10, 11 y 12 conforman otro bloque con capturas de 772 y 1,934, y 772 t, respectivamente. Y las ROP 5, 7, 8 y 9 son las que menos captura aportan ( $\sim 13$  t y  $\sim 400$  t). No se encontró información de captura de esta especie en avisos de arribo de las oficinas que integran las ROP 4 y 6 (Figura 13B).

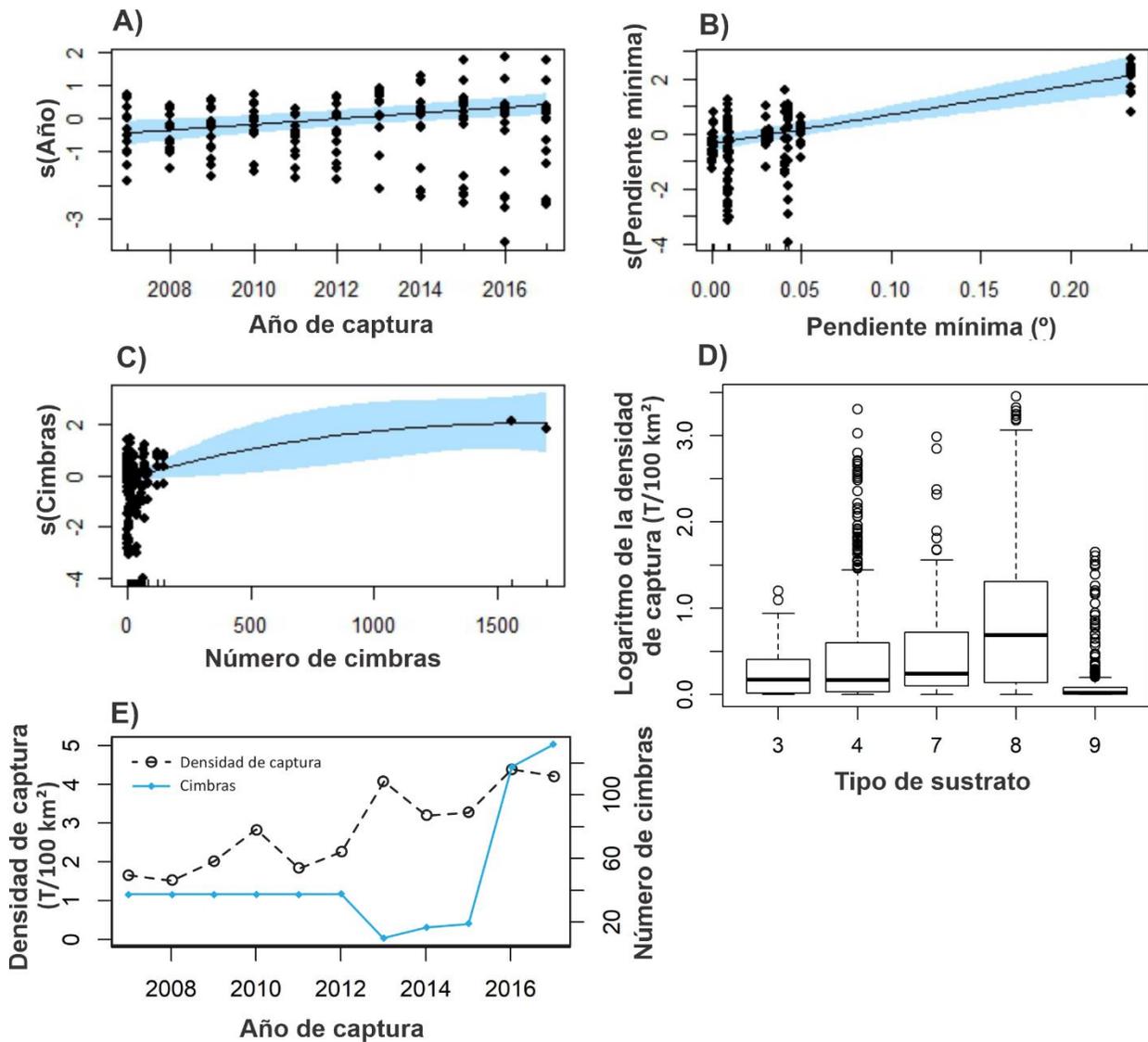


**Figura 13.** Densidad de *S. lewini* (A) con base en la captura (B) en las distintas regiones de operación pesquera en el golfo de California durante el periodo 2007-2017. La textura (B) indica la diferencia de captura entre regiones de operación pesquera con base en la prueba *a posteriori* de Kruskal-Wallis.

El ajuste del modelo GAM de *S. lewini* describió el 59.6% de la devianza (REML = 347.36; AIC = 662.63) y una  $R^2 = 0.715$ . Al utilizar el año de captura, el número de cimbras, el tipo de sustrato, así como la pendiente mínima ( $^\circ$ ) como variables ajustadas, se observó que estas variables explican la densidad de captura observada entre las ROP. La curva ajustada que corresponde al año y los datos observados (Figura 14 A y E) indican que la densidad de captura se incrementó en promedio de  $\sim 1$  a  $\sim 5$  t/100km<sup>2</sup> durante el periodo 2007 a 2017. Asimismo, se observó que la densidad de captura se concentra en regiones con la variación menor de la pendiente. También, se observó que la densidad de captura registrada proviene principalmente de ROP con hasta 100 cimbras en promedio (Figura 14C) y que este número se incrementó desde 30 hasta 120 cimbras (Figura 14D).

El año de captura explicó el 3.1% de la devianza total del modelo (REML = 481.22; AIC = 926.75) y una  $R^2 = 0.020$ . El número de cimbras explicó el 3.56% de la devianza total del modelo (REML = 421.43; AIC = 808.3) y una  $R^2 = 0.061$ . La pendiente mínima entre las ROP explicó el 38.1% de la devianza total del modelo (REML

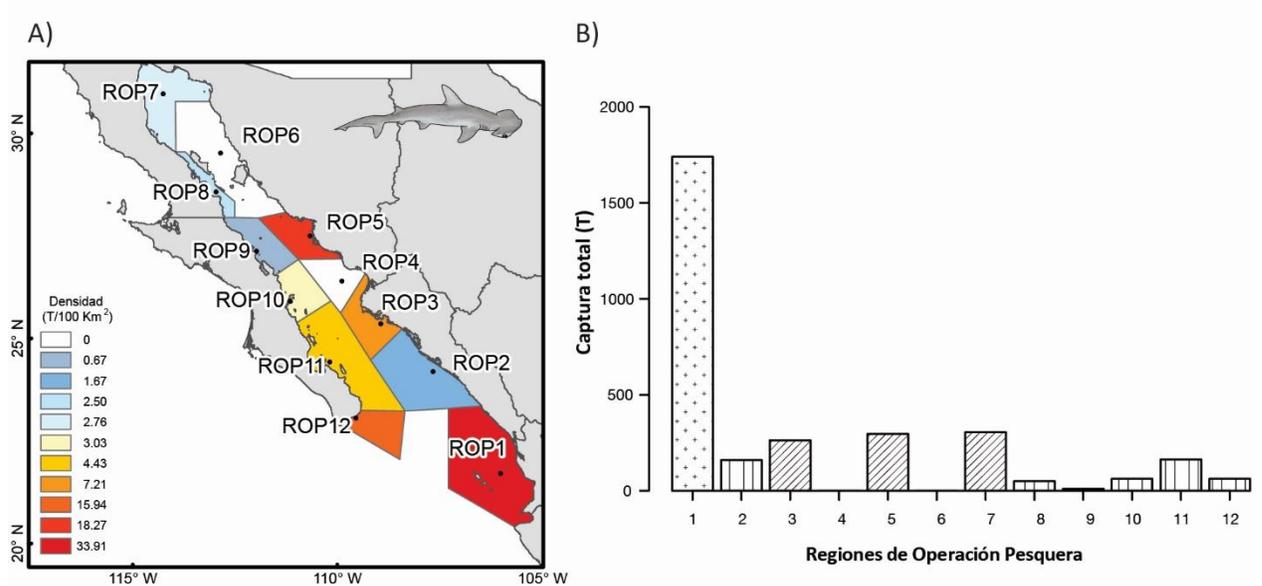
=430.07; AIC= 823.75) y una  $R^2= 0.513$ . Asimismo, los cinco tipos de sustrato que son significativos para el ajuste del modelo son: arena y limo de composición terrígena (3), limo con composición de materia pelágica (4), oozoles con composición de material calcáreo (7), materia pelágica (8) y sedimento calcáreo (9). En conjunto, los tipos de sustrato explican el 40.7% de la devianza total del modelo (REML= 420.11; AIC=816.7) y una  $R^2= 0.123$ . Se observa que existe una mayor densidad de captura en ROP con tipo de sustrato compuesto por materia pelágica (Figura 14D).



**Figura 14.** Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de *S. lewini* (A, B y C), con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017(D). El área sombreada en azul en A, B y C, representa los intervalos de confianza al 95%, mientras que la línea sólida en negro, representa el efecto aditivo de las observaciones de la densidad de captura con base en el año, el número de cimbras y la pendiente mínima en cada ROP, utilizando una familia de distribución binomial negativa.

### 3.3.5 *Sphyrna zygaena*

En el caso de *S. zygaena*, en la prueba de múltiples comparaciones *a posteriori* K-W, se observó que la ROP 1 presenta la densidad de captura mayor ( $\sim 33$  t/100km<sup>2</sup>). Las ROP 3, 5 y 12 aportan  $\sim 7$ ,  $\sim 18$  y  $\sim 16$  t/100km<sup>2</sup>, respectivamente. Las ROP 7, 8, 10 y 11 aportan entre  $\sim 2$  y  $\sim 4$  t/100km<sup>2</sup>. En contraste, las ROP 2 y 9 conforman el bloque que aportan la densidad de captura menor  $\sim <2$  t/100km<sup>2</sup> (Figura 15A). Sin embargo, en relación a la captura total entre regiones, dicha prueba indica que la ROP 1 aporta la mayor captura total (1,768 t). Las ROP 2, 8, 9, 11 y 12 son las que aportan menos ( $\sim 10$  y  $\sim 300$  t). Y las ROP 3, 5 y 7 conforman un tercer bloque con capturas de 263, 296 y 305 t, respectivamente. No se encontró información de captura de esta especie en avisos de arribo de las oficinas que integran las ROP 4 y 6 (Figura 15B).

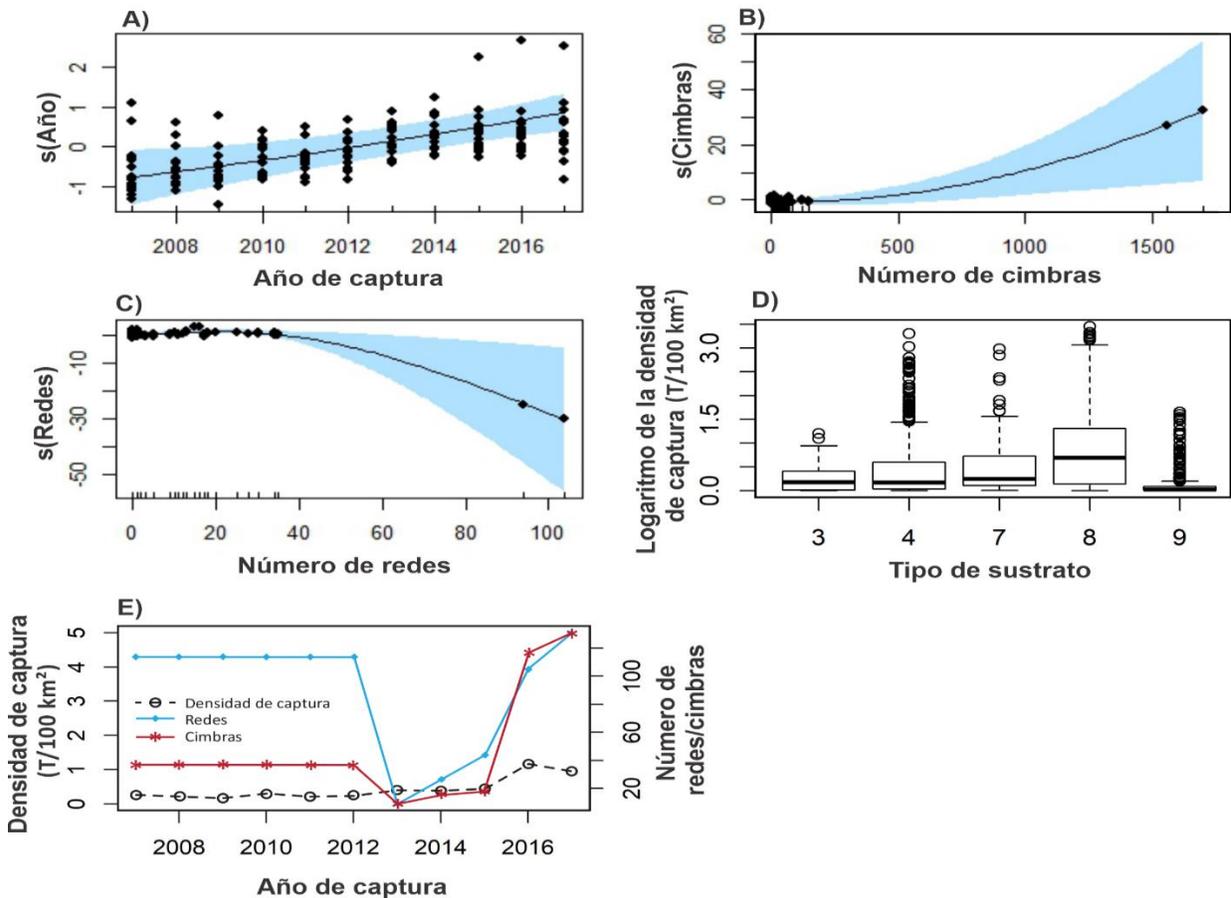


**Figura 15.** Densidad de *S. zygaena* (A) con base en la captura (B) en las distintas regiones de operación pesquera en el golfo de California durante el periodo 2007- 2017. La textura (B) indica la diferencia de captura entre regiones de operación pesquera con base en la prueba *a posteriori* de Kruskal-Wallis.

Para la especie *S. zygaena*, el modelo GAM ajustado describió el 35.7% de la devianza total (REML =178.65; AIC= 288.98) y una  $R^2= 0.170$ . Al utilizar el año de captura, el número de cimbras y el número de redes, así como el tipo de sustrato como variable categórica, se observó que estas variables explican la densidad de captura observada entre las ROP. La curva ajustada que corresponde al año de captura y los datos observados durante el periodo 2007 a 2017 indican que la densidad de captura fluctúa entre  $\sim 1$  a  $\sim 2$  t/100km<sup>2</sup> (Figura 16 A y E). Asimismo, la curva ajustada del número de cimbras muestra que la densidad de captura promedio entre ROP se obtiene principalmente entre 1 y 100 cimbras (Figura 16B). Por su parte, la curva ajustada del número de redes, indicó que la densidad de captura promedio entre ROP se obtiene

principalmente con entre 1 y 40 redes (Figura 16C). Sin embargo, durante el periodo de estudio, se observa que promedio de cimbras y redes disminuyó entre el 2012 y 2015 (Figura 16E).

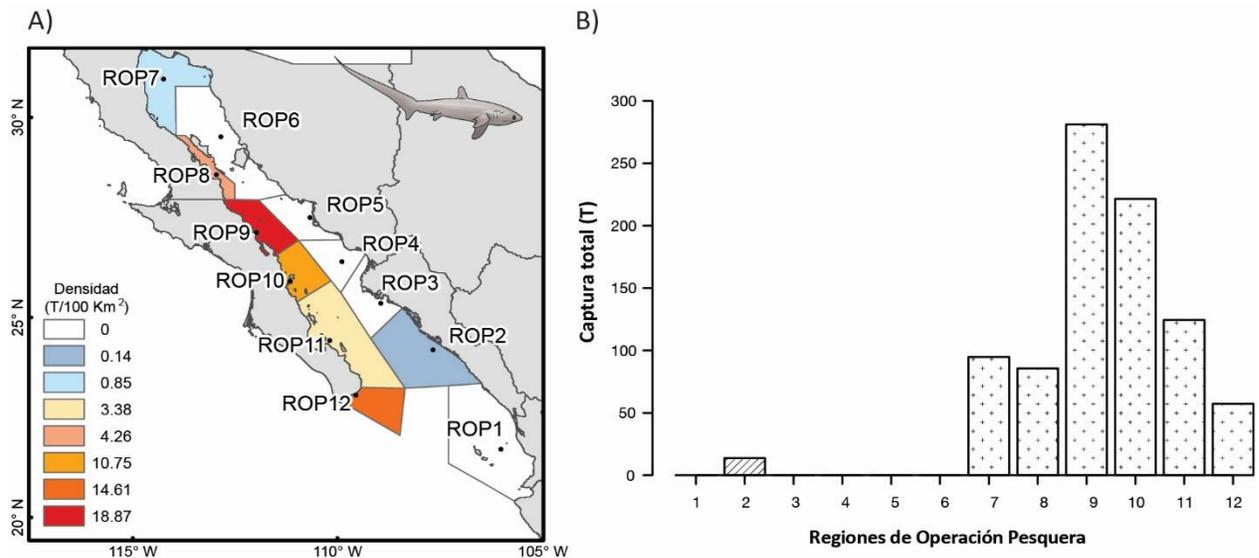
El año de captura explicó el 11.3% de la devianza total del modelo (REML =200.41; AIC=325.22) y una  $R^2= 0.040$ . El número de cimbras explicó el 3.59% de la devianza total del modelo (REML=208.46; AIC=340.25) y una  $R^2= 0.030$ ; mientras que el número de redes explicó el 0.99% de la devianza total del modelo (REML=210.14; AIC=344.55) y una  $R^2= 0.040$ . Se observó que los cinco tipos de sustrato, en conjunto, son significativos para el ajuste del modelo, los cuales explicaron el 16% de la devianza total (REML=192.7; AIC=320.32) y presentaron una  $R^2= 0.060$ . Los tipos de sustrato fueron: arena y limo con composición terrígena (3), limo con composición de materia pelágica (4), oozoles con composición de material calcáreo (7), materia pelágica (8) y sedimento calcáreo (9). La mayor densidad de captura se observó en la ROP en donde el tipo de sustrato estaba compuesto por materia pelágica (Figura 16D).



**Figura 16.** Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de *S. zygaena* (A, B y C), y tipo de sustrato (D) con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017(E). El área sombreada en azul (A, B y C) representa los intervalos de confianza al 95%, la línea sólida en negro representa el efecto aditivo de las observaciones de la densidad de captura por año, número de cimbras y redes entre ROP, utilizando una familia de distribución binomial negativa.

### 3.3.6 *Alopias pelagicus*

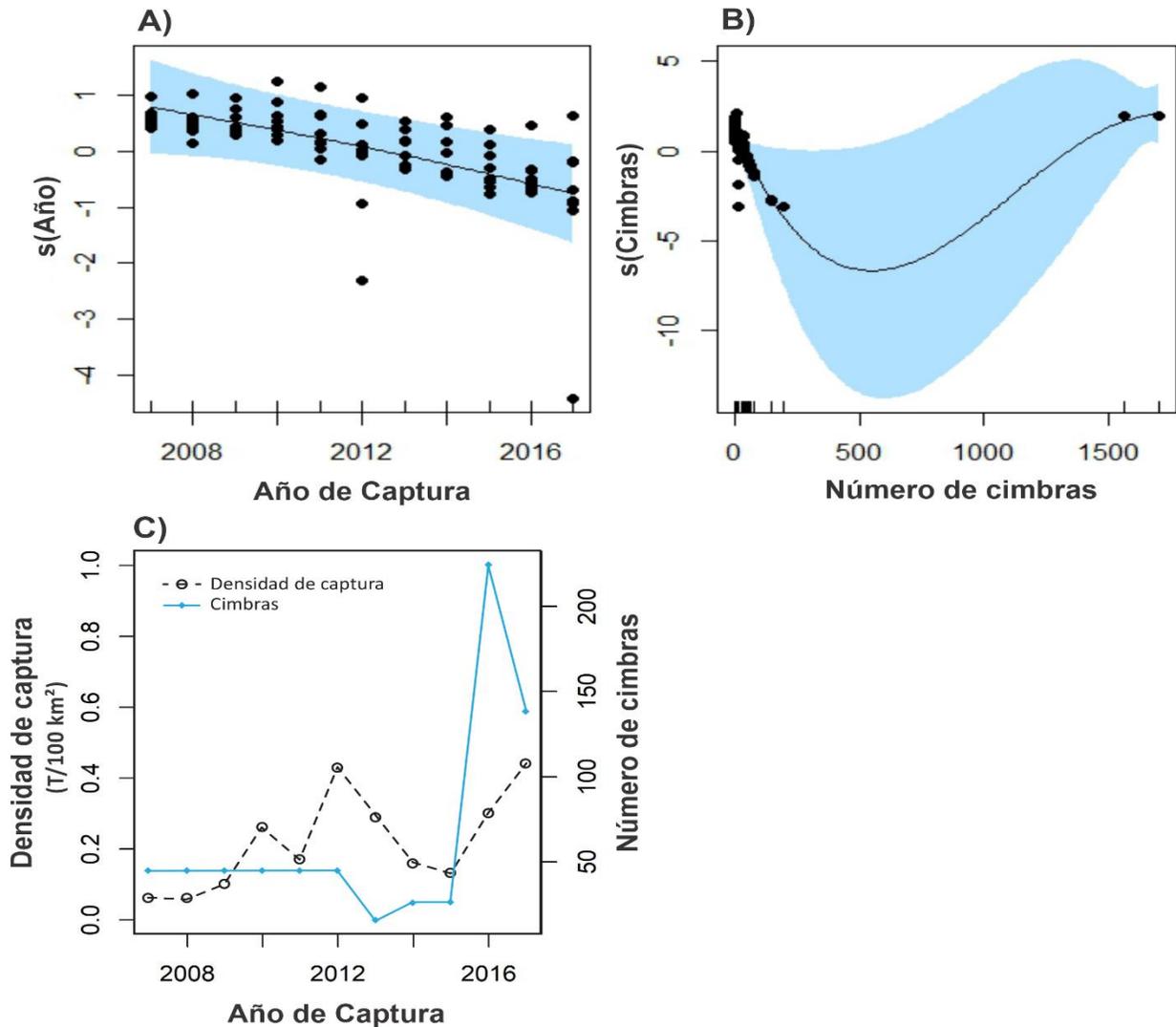
En relación a las especies que se capturan entre el 40% y el 80% de las ROP, la prueba de múltiples comparaciones *a posteriori* K-W, indica que para la especie *A. pelagicus* no existe diferencia en la densidad de captura entre las ROP 7, 8, 9, 10, 11 y 12 ( $\sim 0.8$  a  $\sim 18$  t/100km<sup>2</sup>), que conforman el bloque con la densidad de captura mayor, en comparación con la ROP 2 que presenta la densidad de captura menor ( $\sim 0.14$  t/100km<sup>2</sup>; Figura 17A). El análisis de la captura entre regiones con dicha prueba, indica la conformación de un primer bloque de captura sobre la costa peninsular que se conforma por las ROP 7, 8, 9, 10, 11 y 12 que aportan la captura mayor ( $\sim 50$  y  $\sim 300$  t). En Sonora y Nayarit la captura es de cero t, sin embargo, en la ROP 2 que comprende parte de la costa de Sinaloa si existe registro de  $\sim 14$  t (Figura 17B).



**Figura 17.** Densidad de *A. pelagicus* (A) con base en la captura (B) en las distintas regiones de operación pesquera en el golfo de California durante el periodo 2007- 2017. La textura (B) indica la diferencia de captura entre regiones de operación pesquera con base en la prueba *a posteriori* de Kruskal-Wallis.

En el modelo de *A. pelagicus* el ajuste describe el 23% de la devianza (REML =76.27; AIC=127.49) y presentó una  $R^2 = 0.250$ . El año de captura y el número de cimbras como variables ajustadas explican la densidad de captura observada entre las ROP. La curva ajustada correspondiente al año y los datos observados muestran que la densidad de captura presenta una variación baja durante el periodo 2007 a 2017, entre  $\sim 0.2$  a  $\sim 0.5$  t/100km<sup>2</sup> (Figura 18 A y C). Asimismo, la curva ajustada del número de cimbras indicó que la densidad de captura promedio entre ROP se obtiene principalmente con <200 cimbras (Figura 18B) y durante el periodo de estudio se observó que el promedio de cimbras se incrementó a partir del 2015 (Figura 18C). El año de captura explicó el 1.47% de la devianza total del modelo (REML =95.92; AIC=168.53)

y presenta una  $R^2 = 0.550$ . El número de cimbras explicó el 10.9% de la devianza total del modelo (REML=77.93; AIC=131.22) y una  $R^2 = 0.170$ .

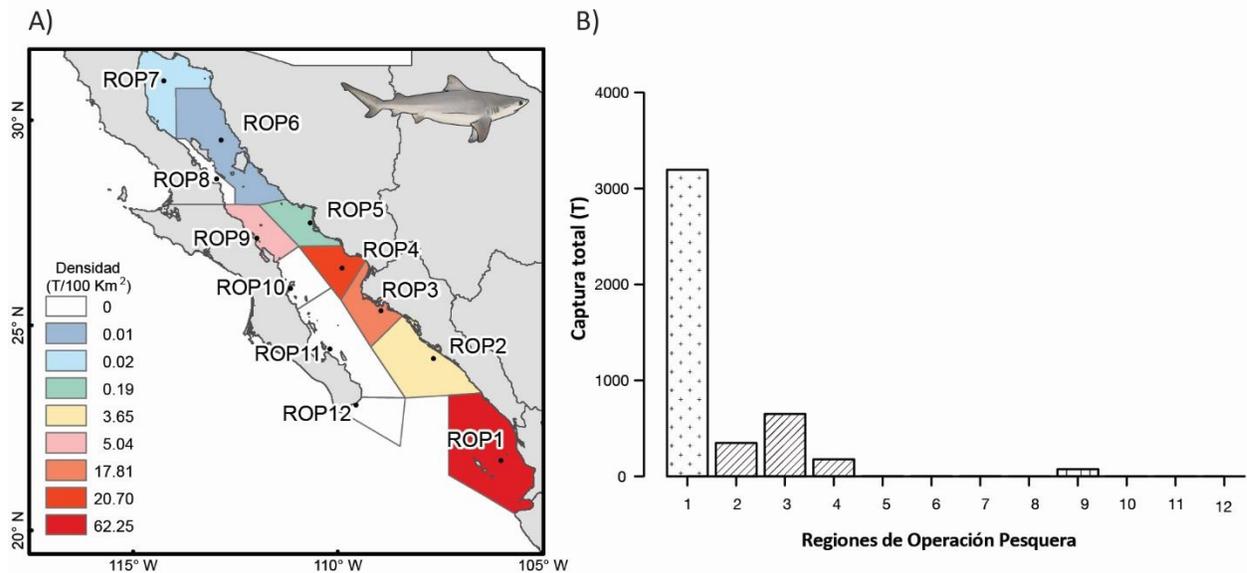


**Figura 18.** Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de *A. pelagicus* (A y B), con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017 (C). El área sombreada en azul (A y B), representa los intervalos de confianza al 95%, mientras que la línea sólida en negro, representa el efecto aditivo de las observaciones de la densidad de captura con base en el año y el número de cimbras, utilizando una familia de distribución binomial negativa.

### 3.3.7 *Carcharhinus leucas*

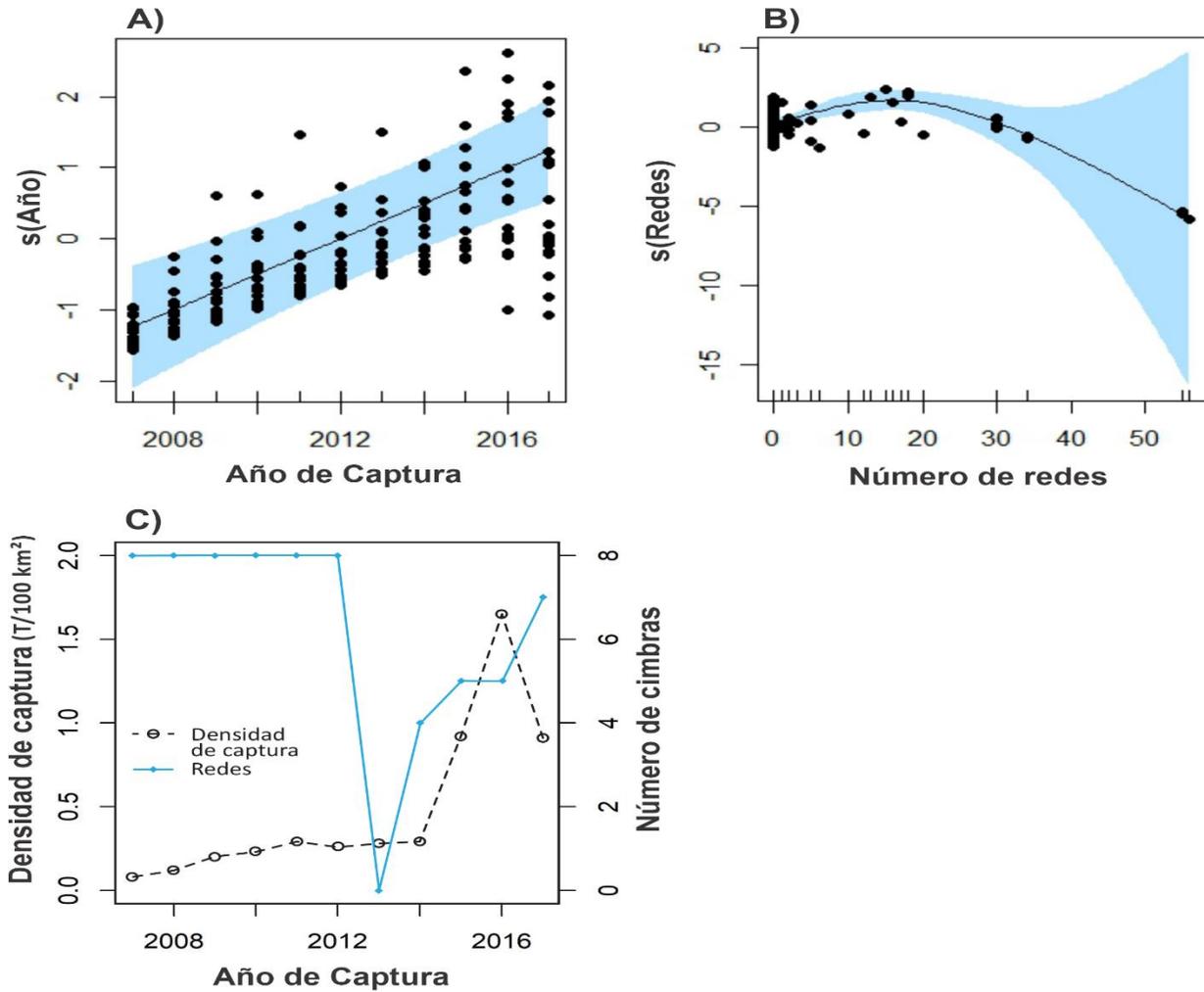
La densidad de captura de la especie *C. leucas* fue mayor en la ROP 1, con una densidad de captura de  $\sim 62$  t/100km<sup>2</sup> (K-W). Las ROP 2, 3, 4 y 9 conforman un bloque con una densidad de entre  $\sim 3$  y  $\sim 21$  t/100km<sup>2</sup>. Por su parte, las ROP 5, 6 y 7 forman un tercer bloque con la densidad de captura menor a 0.2 t/100km<sup>2</sup>

(Figura 19A). Lo mismo sucede en el análisis de la captura total entre regiones, la prueba K-W indica que en la ROP 1 la captura de esta especie es mayor (3,194 t). Asimismo, las ROP 2, 3 y 4 conforman un segundo bloque con una captura de 348, 650 y 178 t cada una. En contraste, las ROP 5, 6, 7 y 9 aportan la menor captura de entre ~3 y 80 t. No se encontró información de captura de esta especie en avisos de arribo de las oficinas que integran las ROP 8, 10, 11 y 12 (Figura 19B).



**Figura 19.** Densidad de *C. leucas* (A) con base en la captura (B) en las distintas regiones de operación pesquera en el golfo de California durante el periodo 2007- 2017. La textura (B) indica la diferencia de captura entre regiones de operación pesquera con base en la prueba *a posteriori* de Kruskal-Wallis.

El ajuste del modelo GAM de *C. leucas* describió el 33.3% de la devianza (REML =194.35; AIC=327.61) y una  $R^2= 0.193$ . Al utilizar el año de captura y el número de redes como variables ajustadas, se observó que estas variables explican la densidad de captura observada entre las ROP. La curva ajustada correspondiente al año y los datos observados, indicaron que la densidad de captura se incrementó durante el periodo 2007 a 2017, entre ~0.1 a ~ 1.5 t/100km<sup>2</sup> (Figura 20 A y C). La curva ajustada del número de redes indicó que la densidad de captura promedio entre ROP se obtiene principalmente con <20 cimbras (Figura 20B). Sin embargo, en los datos observados la tendencia es una disminución en el número de redes en el año 2012 y a partir de ahí un incremento en el número de redes (Figura 20C). El año, explica el 17.9% de la devianza total del modelo (REML =223.71; AIC=386.80) y presenta una  $R^2= 0.080$ . Por su parte, el número de redes, explica el 18.5% de la devianza total del modelo (REML=209.87; AIC=358.34) y una  $R^2=0.163$ .

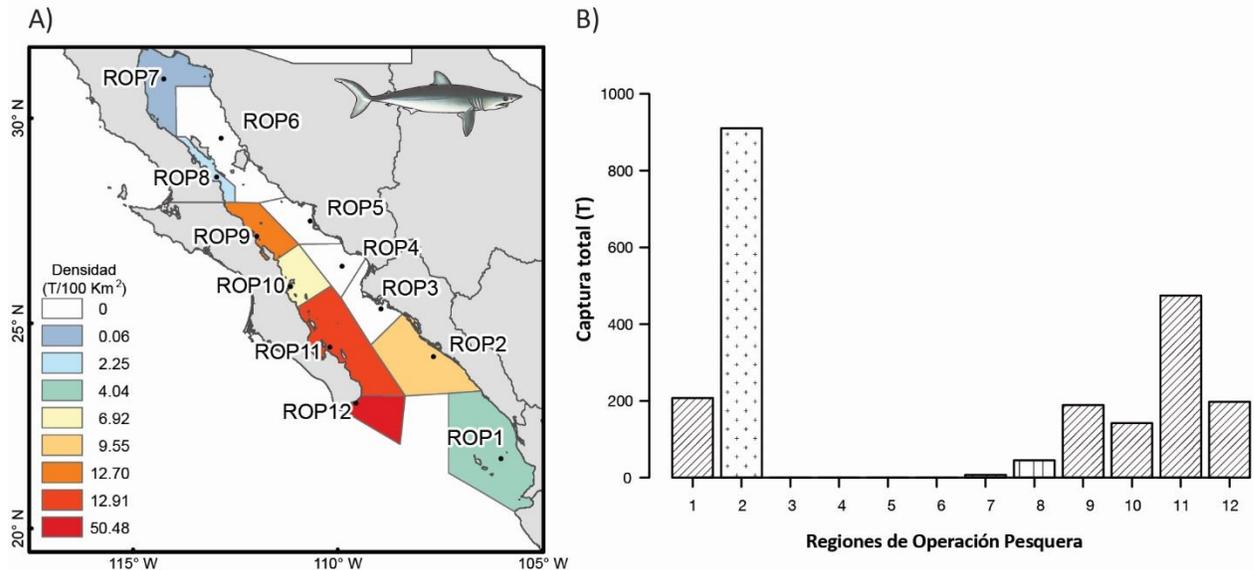


**Figura 20.** Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de *C. leucas* (A, y B), con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017(C). El área sombreada en azul (A y B), representa los intervalos de confianza al 95%, mientras que la línea sólida en negro, representa el efecto aditivo de las observaciones de la densidad de captura con base en el año, el número de cimbras, utilizando una familia de distribución binomial negativa.

### 3.3.8 *Isurus oxyrinchus*

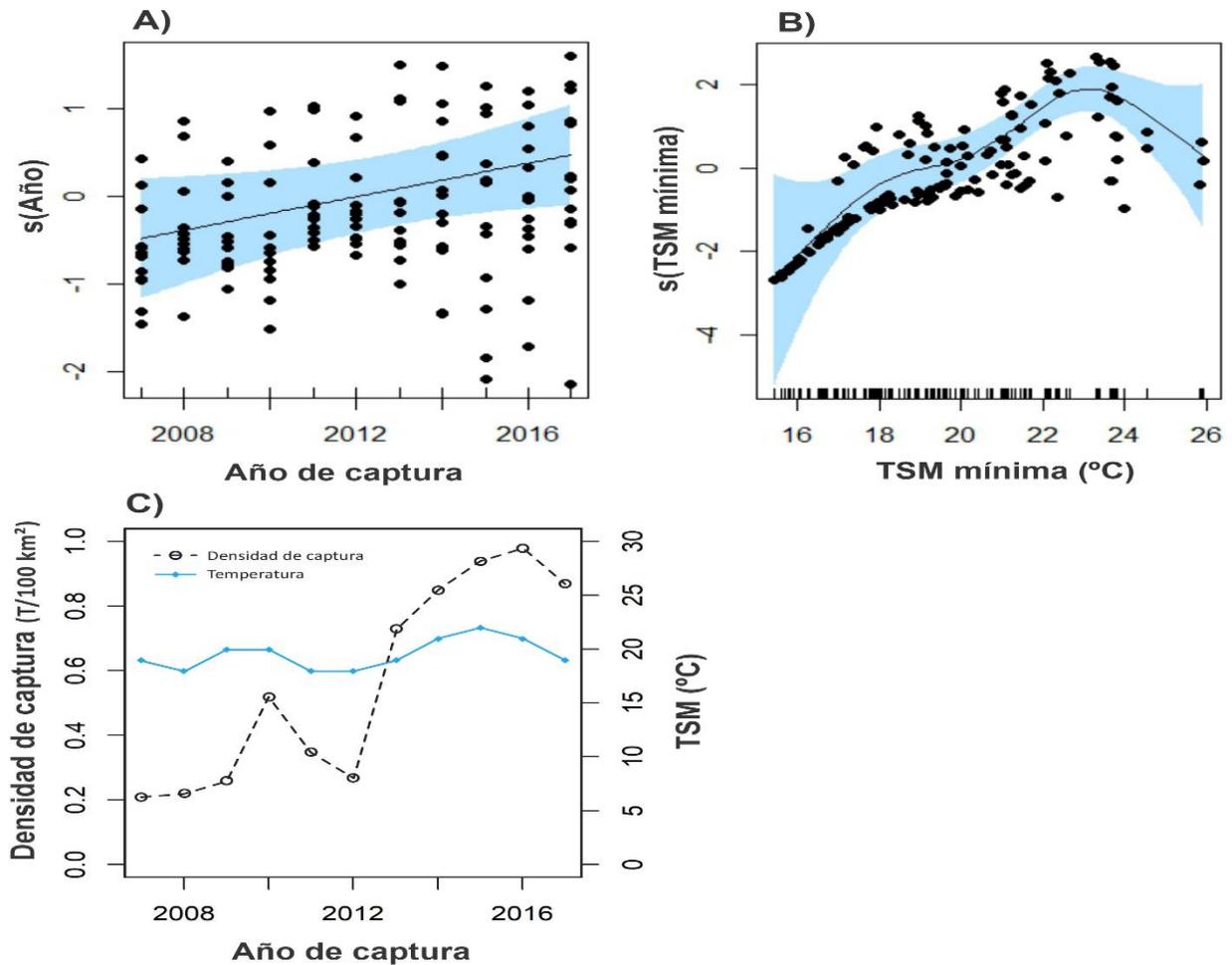
En el caso de *I. oxyrinchus*, en la prueba de múltiples comparaciones *a posteriori* K-W, se observó que la ROP 12 presenta densidad de captura mayor ( $\sim 50$  t/100km<sup>2</sup>). Mientras que las ROP 1, 2, 8, 9, 10 y 11 conforman un bloque con una densidad de captura de entre  $\sim 2$  y  $\sim 13$  t/100km<sup>2</sup>. Por su parte, en la ROP 7 se encuentra la densidad de captura menor de 1 t/100km<sup>2</sup> (Figura 21A). Con relación a la captura entre regiones, dicha prueba indica que en la ROP 2 la captura es mayor (910 t). Las ROP 1, 9, 10, 11 y 12 conforman un segundo bloque con una captura menor, entre  $\sim 140$  y  $\sim 500$  t. En contraste, las ROP 7 y 8

aportan la captura mínima de ~7 y ~45 t cada una. No se encontró información de captura de esta especie en avisos de arribo de las oficinas que integran las ROP 3, 4, 5 y 6 (Figura 21B).



**Figura 21.** Densidad de *I. oxyrinchus* (A) con base en la captura (B) en las distintas regiones de operación pesquera en el golfo de California durante el periodo 2007- 2017. La textura (B) indica la diferencia de captura entre regiones de operación pesquera con base en la prueba *a posteriori* de Kruskal-Wallis.

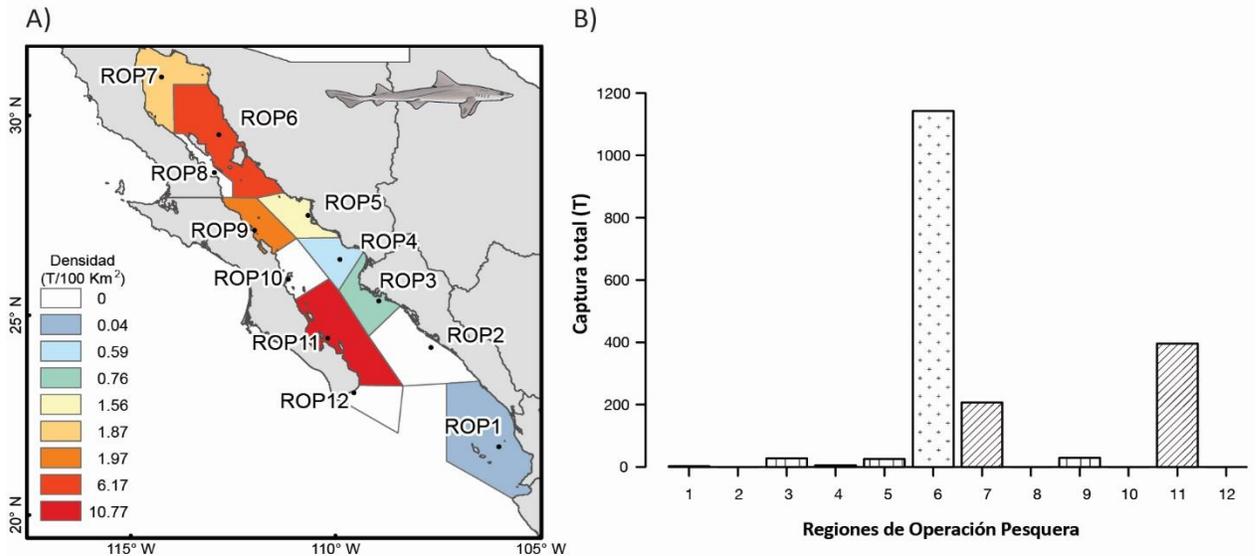
El ajuste del modelo GAM de *I. oxyrinchus* describió el 36.8% de la devianza total (REML =173.05; AIC=-318.71) y una  $R^2= 0.270$ . Al utilizar el año de captura y la TSM mínima (°C) como variables ajustadas, se observó que estas variables explican la densidad de captura observada entre las ROP. La curva ajustada que corresponde al año y lo observado, indicaron que la densidad de captura tiende al incremento de ~0.2 a ~1 t/100km<sup>2</sup> durante el periodo de 2007 a 2017 (Figura 22 A y C). La densidad de captura de esta especie se concentra en un rango de TSM mínima entre ~16 y ~20°C (Figura 22 B y C). El año explicó el 7.12% de la devianza total del modelo (REML =184.11; AIC=340.82) y una  $R^2= 0.034$ . La TSM mínima explicó el 34.3% de la devianza total del modelo (REML=165.3; AIC=338.92) y una  $R^2= 0.245$ .



**Figura 22.** Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de *I. oxyrinchus* (A y B), con respecto al promedio de los datos de densidad de captura y temperatura observado durante el periodo 2007-2017(C). El área sombreada en azul (A y B) representa los intervalos de confianza al 95%, a línea sólida en negro, representa el efecto aditivo de las observaciones de la densidad de captura con base en el año y la TSM mínima, utilizando una familia de distribución binomial negativa.

### 3.3.9 *Mustelus henlei*

Para *M. henlei*, en la prueba de múltiples comparaciones *a posteriori* K-W se observó que la ROP 11 presenta la densidad de captura mayor ( $\sim 10$  t/100km<sup>2</sup>), seguido de la ROP 6 ( $\sim 6$  t/100km<sup>2</sup>). Las ROP 1, 3, 4, 5, 7 y 9 conforman el bloque con la densidad de captura menor, entre  $\sim 1$  y  $\sim 2$  t/100km<sup>2</sup> (Figura 23A). Para la captura entre regiones dicha prueba indica que en la ROP 6 la captura es mayor (1,142 t) en comparación con las ROP 7 y 11 que aportan una captura de  $\sim 207$  y  $\sim 396$  t cada una, conformando un segundo bloque. Las ROP 1, 3, 4, 5 y 9 conforman un tercer bloque con una captura de entre  $\sim 3$  y  $\sim 30$  t. No se encontró información de captura de esta especie en avisos de arribo de las oficinas que integran las ROP 2, 8, 10 y 12 (Figura 23B).

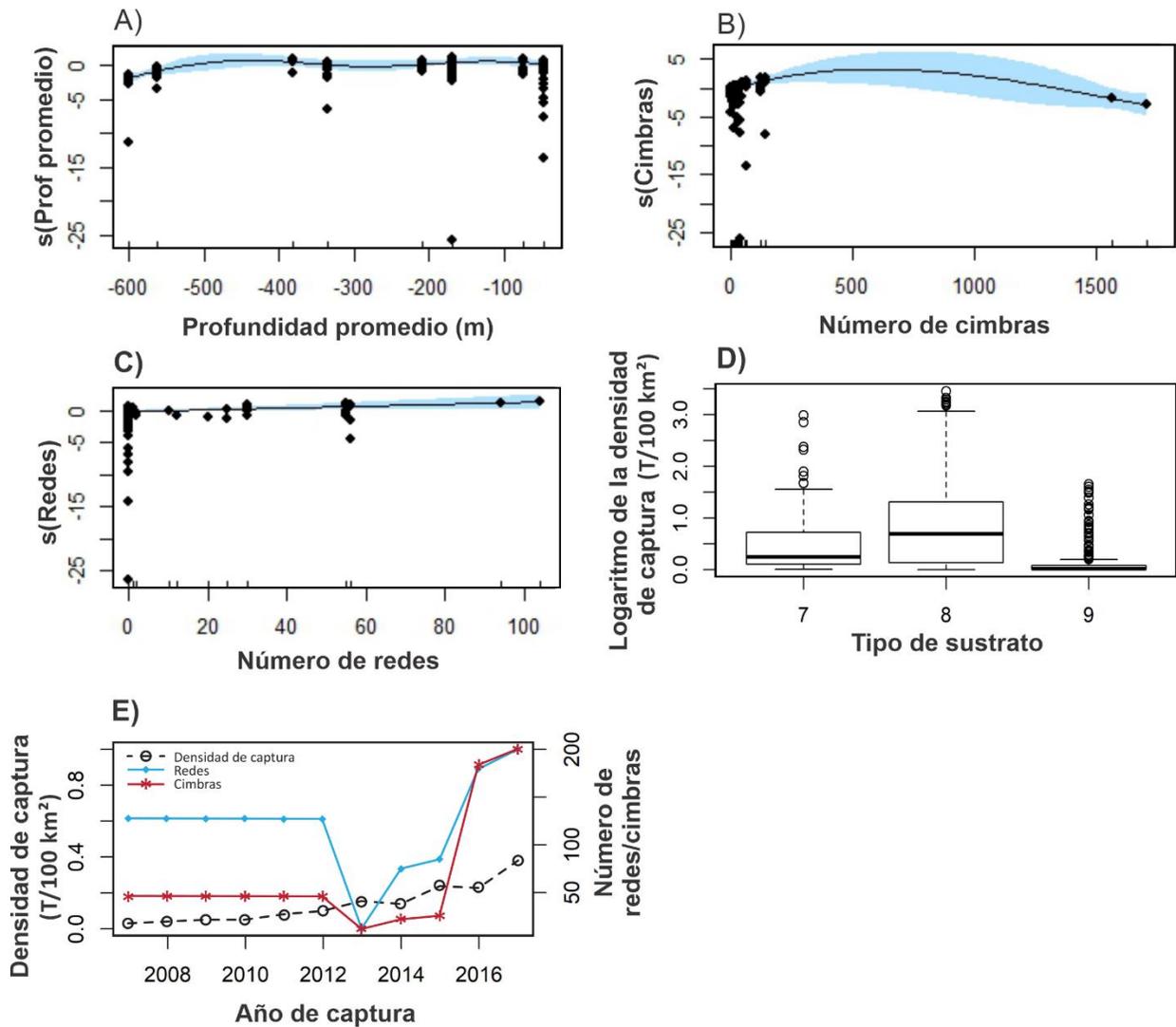


**Figura 23.** Densidad de *M. henlei* (A) con base en la captura (B) en las distintas regiones de operación pesquera en el golfo de California durante el periodo 2007- 2017. La textura (B) indica la diferencia de captura entre regiones de operación pesquera con base en la prueba *a posteriori* de Kruskal-Wallis.

Con el modelo GAM de *M. henlei* el ajuste describió el 58% de la devianza total (REML =-163.17; AIC=-338.42) y una  $R^2= 0.886$ . La densidad de captura observada entre las ROP fue explicada por el año de captura como variable paramétrica, la profundidad promedio (m), el número de cimbras y redes, como variables ajustadas, también el tipo de sustrato como variable categórica. La curva ajustada de profundidad promedio mostró que la captura ocurre principalmente a una profundidad <200 m (Figura 24A). Asimismo, las curvas ajustadas del número de cimbras y redes, mostraron que la densidad de captura entre las ROP se obtiene con un promedio de 200 cimbras y redes (Figura 24 B y C). Sin embargo, en los datos observados existe una tendencia de disminución de artes de pesca entre el periodo 2012 y 2015, mientras que la densidad de captura se incrementó de  $\sim 0.1$  a  $\sim 0.4$  t/100km<sup>2</sup> (Figura 24E).

El año de captura explicó el 6.21% de la devianza total del modelo (REML =66.99; AIC=98.15) y presenta una  $R^2= 0.742$ . La profundidad promedio explicó el 11.4% de la devianza total del modelo (REML=65.69; AIC=97.38) con una  $R^2= 0.735$ . Por su parte, el número de cimbras explicó el 0.37% de la devianza total del modelo (REML=61.31; AIC=86.70) y tiene una  $R^2= 0.751$ . El número de redes explicó el 0.45% de la devianza total del modelo (REML=60.83; AIC=86.66) y una  $R^2= 0.745$ . Se observó que tres tipos de sustrato, en conjunto, son significativos para el ajuste del modelo, los cuales explicaron el 24.6% de la devianza total (REML=39.61; AIC=91.81) y presentan una  $R^2= 0.778$ . Los tipos de sustrato fueron: oozoles con composición de material calcáreo (7), materia pelágica (8) y sedimento calcáreo (9). La mayor densidad de

captura se observó en la ROP en donde el tipo de sustrato estaba compuesto por materia pelágica (Figura 24D).

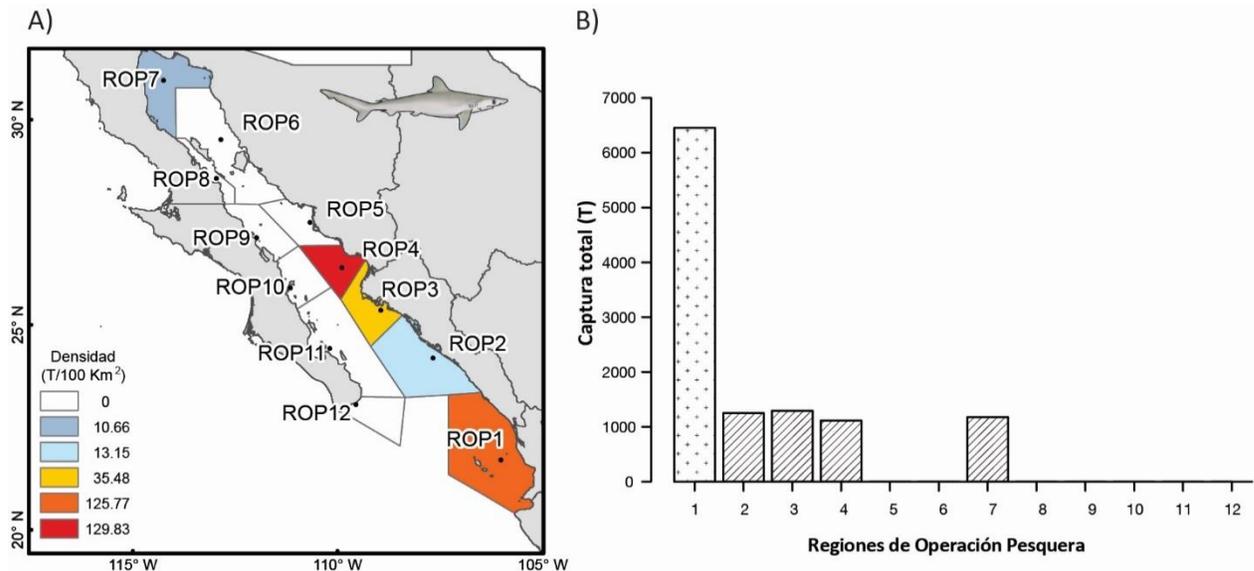


**Figura 24.** Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de *M. henlei* (A, B y C), y el tipo de sustrato (D), con respecto al promedio de los datos observado durante el periodo 2007- 2017 (E). El área sombreada en azul (A, B y C), representa los intervalos de confianza al 95%, mientras que la línea sólida en negro, representa el efecto aditivo de las observaciones de la densidad de captura con base en el ajuste de variables como la batimetría promedio, el número de cimbras y número de redes, utilizando una familia de distribución binomial negativa.

### 3.3.10 *Rhizoprionodon longurio*

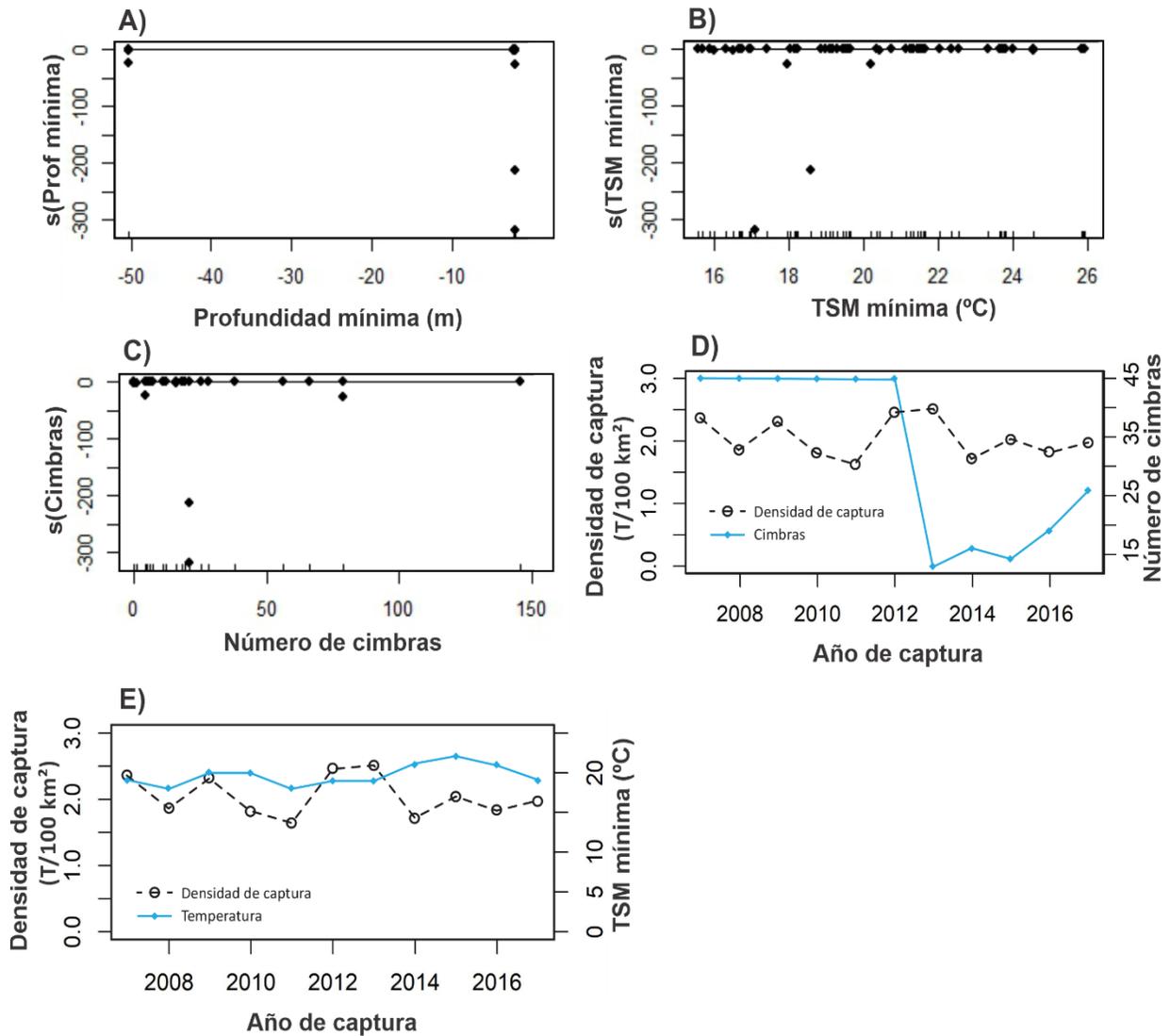
En el análisis de *R. longurio* la prueba de múltiples comparaciones *a posteriori* K-W mostró que las capturas son menores en la costa peninsular con respecto a la continental. Las ROP 1 y 4 presentan la densidad de captura mayor, cada una con  $\sim 125$  y  $\sim 129$  t/100km<sup>2</sup>. Las ROP 2, 3 y 7 conforman un segundo bloque con

la densidad de captura menor de entre  $\sim 10$  y  $\sim 35$  t/100km<sup>2</sup> (Figura 25A). Dicha prueba indica que la ROP 1 presenta la captura mayor entre regiones (6,486 t) y las ROP 2, 3, 4 y 7 aportan la captura menor ( $\sim 1200$  t). No se encontró información de captura de esta especie en avisos de arribo de las oficinas que integran las ROP 5, 6, 8, 9, 10, 11 y 12 (Figura 25B).



**Figura 25.** Densidad de *R. longurio* (A) con base en la captura (B) en las distintas regiones de operación pesquera en el golfo de California durante el periodo 2007-2017. La textura (B) indica la diferencia de captura entre regiones de operación pesquera con base en la prueba *a posteriori* de Kruskal-Wallis.

El ajuste del modelo GAM de *R. longurio* describió el 55.6% de la devianza (REML =144.72; AIC=287.58) y presenta una  $R^2= 0.355$ . Al utilizar la profundidad promedio, TSM mínima y el número de cimbras, como variables ajustadas, se observó que estas variables explican la densidad de captura observada entre las ROP. La curva ajustada correspondiente a la profundidad indicó que la densidad de captura registrada ocurre principalmente a una profundidad menor de 50 m (Figura 26A). Asimismo, la curva ajustada de TSM mínima durante el periodo de 2007 a 2018, indicó que la densidad de captura se registró entre los 16°C y hasta los 26 °C (Figura 26B). La curva ajustada del número de cimbras, indicó que la densidad de captura entre las ROP se obtiene principalmente con una cantidad de hasta 50 cimbras (Figura 26C). Sin embargo, en los datos observados la tendencia es de una disminución del número de cimbras entre el periodo 2012 y 2015, mientras que la densidad de captura se mantuvo entre  $\sim 1.8$  a  $\sim 2.5$  t/100km<sup>2</sup> (Figura 26E). La profundidad mínima explicó el 32.2% de la devianza total del modelo (REML =239.61; AIC=474.65) y presenta una  $R^2= 0.405$ . La TSM mínima explicó el 7.9% de la devianza total del modelo (REML=256.29; AIC=510) y una  $R^2= 0.090$ .



**Figura 26.** Curvas ajustadas del efecto aditivo sobre la estimación de la densidad de captura de *R. longurio* (A, B y C), con respecto al promedio de los datos de densidad de captura y temperatura (D), y de densidad de captura y número de cimbras (E), observados durante el periodo 2007- 2017 (E). El GAM no muestra un esfuerzo muy marcado para el ajuste de los datos (A y B). La línea sólida en negro, representa el efecto aditivo de las observaciones de la densidad de captura con base en valores de profundidad y TSM mínima, y el número de cimbras, utilizando una familia de distribución binomial negativa.

### 3.3.11 *Nasolamia velox*

Para *N. velox* solo existen registros de su captura en la ROP 1 y su densidad de captura fue de ~4 t/100km<sup>2</sup> (Figura 27A), mientras que su captura total durante el periodo de 2007 al 2017 fue de 217 t (Figura 27B).

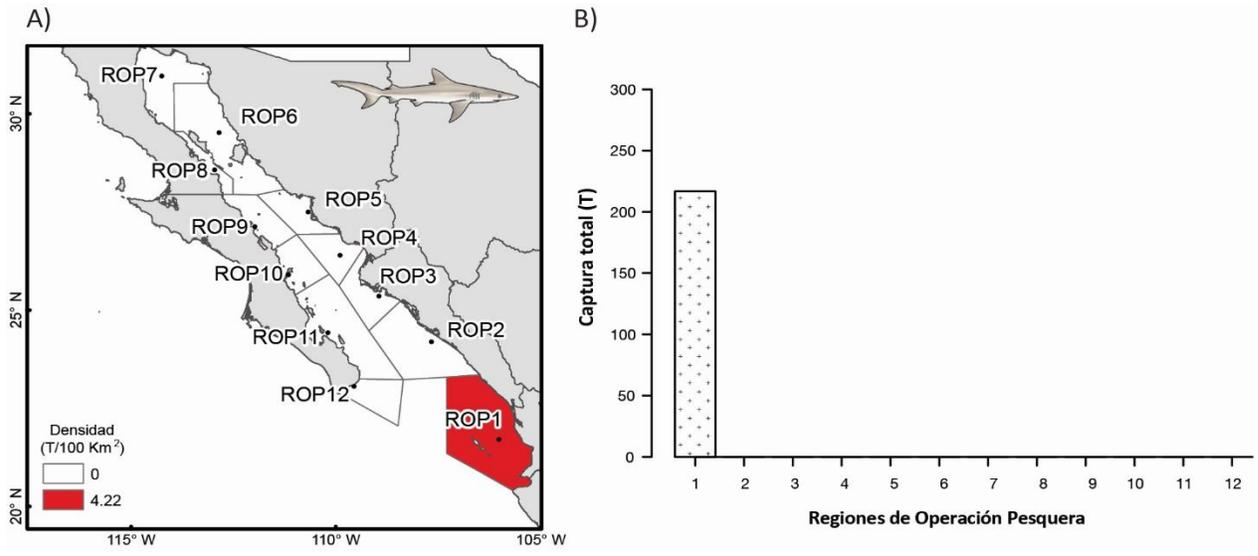


Figura 27. Densidad de *N. velox* (A) con base en la captura (B) en las distintas regiones de operación pesquera en el golfo de California durante el periodo 2007- 2017.

## Capítulo 4. Discusión

---

La zonificación marina es un concepto considerado como un medio para orientar el uso humano del océano, con el fin de optimizar la explotación de los recursos y proteger a los ecosistemas marinos (Díaz de León *et al.*, 2009). Haciendo uso de la información contenida en los avisos de arribo de pesca gestionados por la CONAPESCA, en esta tesis se logró determinar que 11 especies de tiburón que están bajo un régimen de explotación pesquera son prioritarias para su manejo pesquero en el golfo de California. Además, por primera vez se logró delimitar las zonas de pesca de la pesquería artesanal de tiburón en este golfo, que permitieron plantear una zonificación constituida por 12 regiones de pesca, estratégicas para el manejo de las pesquerías de tiburón. Y, conjuntando la información anterior, también en esta tesis se profundiza en la relación entre la densidad de la captura de cada una de las especies de tiburón analizada y las características físico-ambientales del hábitat en cada región estratégica, a través del uso de modelos aditivos generalizados. Los resultados aquí presentados allanan el camino para lograr medidas con un carácter espacial para el manejo y conservación de tiburones en el golfo de California, que tomen en cuenta las diferencias entre cada una de las regiones. De la misma forma, estos resultados pueden ser utilizados como la base para desarrollar estrategias y planes de trabajo que se enfoquen en las regiones con una priorización más alta.

La información que contienen los avisos de arribo es clave para el manejo pesquero (Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2006), y son la fuente original para conformar las estadísticas de pesca, que en México se reportan en forma de anuarios estadísticos de pesca desde 1940 (Arreguín-Sánchez y Arcos-Huitrón, 2007). Dentro del marco legal pesquero, en la LGPAS se reconoce al aviso de arribo como el instrumento que acredita la legal procedencia de la captura (Poder Ejecutivo Federal, 2007a). En el reglamento de pesca (Poder Ejecutivo Federal, 2004), ya obsoleto pero que continúa su uso porque no se ha publicado el correspondiente a la LGPAS vigente, se especifica que el aviso de arribo es el documento en el que se reportan los volúmenes de captura obtenidos por especie durante una jornada o viaje de pesca, a través del formato que establece la CONAPESCA. En el formato se tiene que asentar, a parte de la información del permisionario y de la embarcación, el sitio de desembarque, zona de pesca, total de kilogramos de captura por especie usando su nombre común, y su valor de venta estimado. Lamentablemente, en los avisos de arribo no se exige información que permita poder medir el esfuerzo de pesca, información que es primordial para la evaluación de las poblaciones (Hilborn y Walters, 1992).

Los avisos de arribo presentan un alto nivel de incertidumbre en la información asentada. Las siguientes advertencias proporcionan una evaluación descriptiva de sus principales incertidumbres. Al ser los pescadores quienes registran directamente la información, las especies son identificadas con el nombre común, por lo que se desconoce el nombre científico. Con frecuencia se ha observado que en diferentes localidades pesqueras se utiliza el mismo nombre común para identificar diferentes especies, dando como resultado una identificación incorrecta (Santana-Morales *et al.*, 2004; Castellanos-Betancourt, 2012; Castellanos-Betancourt *et al.*, 2013). Además, en los anuarios de pesca la captura de tiburones se reporta en dos categorías, tiburón o cazón. Esta clasificación se hace en función de la talla de los individuos y no permite identificar a que especie le corresponde la captura. Independientemente de la diferencia entre especies, los organismos con una longitud total (LT) mayor a 150 cm solo son clasificados como tiburones, y los de tallas menores a 150 cm LT son registrados como cazones (Castillo-Géniz *et al.*, 1998; CONAPESCA-INAPESCA, 2004; Sosa-Nishizaki *et al.*, 2014). También, durante el proceso de transporte de la producción para su comercialización, de los campos pesqueros a los centros de acopio, en algunos casos la captura se reporta en una oficina de pesca distinta a la que le correspondería conforme la región en donde se capturó. Esto se debe a que las oficinas de pesca se ubican en localidades con una mayor población e infraestructura urbana con respecto a los campos pesqueros del GC (Bizarro *et al.*, 2007). Por ejemplo, la captura en Bahía de los Ángeles se arriba en El Rosario o Ensenada, Baja California; y la captura en el Sistema Lagunar Santa María-La Reforma- Altata, se arriba indistintamente en Navolato o Culiacán, Sinaloa (Poder Ejecutivo Federal, 2019). Con base en esto, aún falta implementar estrategias para el desarrollo de capacidades de los pescadores que les permitan mejorar la información de los registros en los avisos de arribo, así como las bitácoras de pesca y la identificación de las especies capturadas (FAO, 1995, 1999; CONAPESCA-INAPESCA, 2004; Poder Ejecutivo Federal, 2007b; CCA, 2017; SEMARNAT, 2018). Actualmente, el Plan de Acción para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines (CONAPESCA-INAPESCA, 2004), establece acciones para mejorar las estadísticas pesqueras de México. Con la publicación de la NOM-029-PESC-2006 (Poder Ejecutivo Federal, 2007b), que regula las acciones para el manejo y conservación de tiburones, se pretendió la mejora del registro pesquero oficial con la exigencia de bitácoras de pesca que incluyen información relacionada con el esfuerzo de pesca. No obstante, esta información aún es incipiente como un insumo para el manejo de las pesquerías de tiburón. Por lo que en esta tesis solo se pudo trabajar con las capturas asentadas por especie en los avisos de arribos, no pudiendo tener una variable que permitiera medir la abundancia relativa de las especies, como es la captura por unidad de esfuerzo (Hilborn y Walters, 1992).

#### **4.1. Identificación de especies de tiburón prioritarias para su conservación y el manejo de su pesquería en el golfo de California**

La regionalización del GC (ROP) es una propuesta que permitió identificar las áreas marinas estratégicas para fortalecer las medidas espaciales para la conservación de las especies y el manejo de las pesquerías de tiburón en el GC. Estas regiones podrían coadyuvar en los esfuerzos hasta ahora realizados, ya que espacialmente solo el 0.5% de la superficie total del GC son reservas marinas completamente cerradas a la pesca (Munguía-Vega *et al.*, 2018). A través del tiempo, esto ha permitido la recuperación del hábitat y el incremento de la biomasa de peces arrecifales, incluyendo a especies de tiburón que ahí convergen (Aburto-Oropeza *et al.*, 2011; Munguía-Vega *et al.*, 2018). Sin embargo, por las características biológicas y la distribución espacial compleja de los tiburones (Bonfil, 1999), esta medida de manejo pesquero puede ser insuficiente. Díaz-Uribe *et al.* (2013) propusieron un plan de manejo de las pesquerías con base en la regionalización de la composición de la captura a partir de información de avisos de arribo, así como el manejo espacial de acuerdo a las características del hábitat donde se realiza la captura. En su propuesta, ellos no definieron las áreas de pesca y el análisis fue restringido a la CPUR de sitios asociados administrativamente a una oficina de pesca. Además, salvo algunas excepciones, se limitó a considerar a las especies de tiburón como un solo grupo funcional de tiburones y rayas. Ulloa *et al.* (2008) propusieron una regionalización de la pesca ribereña del GC en la cual consideran las características comunes entre las distintas zonas geográficas, tales como (1) recursos pesqueros disponibles en el área, (2) características de la flota pesquera, (3) número de pescadores, así como (4) elementos bióticos y abióticos. Empero, ambos estudios carecen de una resolución taxonómica que permita conocer la distribución de las especies. Por lo que, dichas regionalizaciones limitan el diseño efectivo de medidas específicas para la conservación de tiburones y el manejo de sus pesquerías en el GC.

En este estudio se propone priorizar las pesquerías de tiburón para fortalecer su manejo pesquero y la conservación de dichas especies utilizando su vulnerabilidad debida a la pesca y el potencial de su recuperación de acuerdo a las características biológicas y ecológicas de los tiburones (Stobutzki *et al.*, 2000; Patrick *et al.*, 2009), así como por la importancia histórica y socioeconómica de las pesquerías. Dichos criterios son considerados en procesos de ordenamiento de pesquerías a nivel internacional y nacional que reconocen la importancia ambiental, ecológica, económica, social y cultural de las especies (FAO, 1995; Poder Ejecutivo Federal, 2007a).

De las 11 especies prioritarias para su conservación y el manejo de sus pesquerías aquí reportadas (Tabla 2), *S. lewini* se encuentra en peligro crítico de extinción (CR) de acuerdo con la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN; Rigby *et al.*, 2019). Dicha categoría corresponde a especies que bajo diversas causas enfrenta un riesgo de extinción extremadamente alto porque a partir de observaciones directas o estimadas su población ha disminuido hasta  $\geq 90\%$  en los últimos 10 años o bien en las últimas tres generaciones (UICN, 2012). Con base en dicha lista, las especies *A. pelagicus*, *C. falciformis*, *I. oxyrinchus* y *S. zygaena* se encuentran en estado vulnerable (VU; Casper *et al.*, 2005; Cailliet *et al.*, 2009; Reardon *et al.*, 2009; Rigby *et al.*, 2017), que corresponde a especies que presentan una disminución poblacional de hasta  $\geq 50\%$  en los últimos 10 años o en las últimas tres generaciones (UICN, 2012). Asimismo, *C. leucas*, *C. limbatus* y *S. californica* se encuentran casi amenazadas de extinción (NT; Simpfendorfer y Burgess, 2009; Cailliet *et al.*, 2016), que corresponde a especies que su población puede estar comprometida en los próximos 10 años (UICN, 2012). La especie *M. henlei* presenta mínima amenaza de extinción (LC; Pérez-Jiménez *et al.*, 2016). Para las especies *N. velox* y *R. longurio* actualmente no existe información suficiente para determinar el tamaño de su población (DD) de acuerdo con la UICN (Ruiz *et al.*, 2009; Smith *et al.*, 2009). Asimismo, *A. pelagicus*, *C. falciformis*, *I. oxyrinchus*, *S. lewini*, *S. zygaena*, son las especies pelágicas más reconocidas comercialmente a nivel internacional (Camhi *et al.*, 2007; CCA, 2017) y también se encuentran listadas en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES, 2017), así como en el Apéndice II de la Convención de Conservación Internacional de Especies Migratorias de tiburones (CMS), sin embargo, México no forma parte de dicha convención (CMS, 2016). En el caso de *I. oxyrinchus*, aunque se ha documentado que su población en el GC y en general en el Pacífico mexicano se encuentra estable (Sosa-Nishizaki *et al.*, 2014), durante la Conferencia de las Partes de la CITES (CoP17), México formó parte del grupo de países que gestionó su inclusión en dicha lista (CITES, 2019).

En el presente estudio, las especies *C. falciformis*, *C. limbatus*, *S. californica*, *S. lewini* y *S. zygaena*, se registraron en la captura de más del 80% de las ROP, lo que sugiere su amplia distribución espacial en el GC. La mayor densidad y volumen de captura de estas especies ocurre al sur del GC (ROP 1, 2, 3, 10, 11 y 12), con excepción de *S. californica* que presenta el mayor volumen de captura principalmente en la ROP7, en el norte del GC. Para dicha especie, esto coincide con lo reportado por Flores-Guzmán (2018), que identifica el norte de GC como la principal zona de captura de esta especie y donde es uno de los recursos pesqueros de mayor importancia (Moreno-Báez *et al.*, 2012). Sin embargo, bajo condiciones anómalas de la TSM como El Niño y La Niña, también se ha observado que *S. californica* es una de las especies de mayor captura en la costa de B.C.S., al sur del GC (Bizarro *et al.*, 2009). Por otro lado, se ha documentado que *S. californica* es una especie con hábitos costero-demersales (Ebert, 2003) con una mayor afinidad a la región

del norte en comparación al sur del GC (Walker, 1960). La zona costera del norte del GC se caracteriza por ser un área somera (<30 m), con mínima pendiente y playas largas de arena desde Bahía San Luís Gonzaga hasta Puerto Peñasco (Walker, 1960; Álvarez-Borrego, 2010). En algunos puntos como en San Felipe y Puerto Peñasco, existen arrecifes rocosos (Fernández-Castañeda *et al.*, 2008), siendo estas características del norte del GC las del hábitat idóneo para la crianza, alimentación y/o reproducción de *S. californica* (Simpfendorfer y Heupel, 2004; Cailliet *et al.*, 2016).

Se ha documentado que la temperatura ambiental tiene una gran influencia sobre los procesos biológicos y fisiológicos de los tiburones (Schlaff *et al.*, 2014). Dentro del GC se ha observado un patrón migratorio de predadores grandes como *S. lewini*, asociados al incremento de la TSM en zonas aledañas a los centros de surgencias en el sur del GC (Bizarro *et al.*, 2007), lo cual podría relacionarse con el gradiente de TSM observado a lo largo del GC, en donde las ROP del sur del GC se caracterizan por presentar una temperatura promedio mayor (~27°C) a las ROP del centro (~25°C) y norte (~23°C) del GC. Este gradiente de temperatura observado coincide con lo reportado por Lavín *et al.* (1997) y Lavín y Marinone (2003). Sin embargo, en el presente estudio no fue posible identificar una relación entre la TSM con la densidad de captura de las especies con mayor distribución en el GC. Esto se debe a que el rango promedio de TSM observado en el GC durante el periodo 2007- 2017 (~23° a ~27°C), coincide con la TSM en donde se ha reportado que se distribuyen las especies *C. falciformis*, *C. limbatus*, *S. lewini* y *S. zygaena* en el Pacífico Oriental Tropical (Baum *et al.*, 2007; Burgess y Branstetter, 2009; Rigby *et al.*, 2017). Asimismo, se considera que la TSM promedio en el GC durante dicho periodo (~26°C) es óptima para la reproducción de *C. falciformis* (Hutchinson *et al.*, 2019) y especies del género *Sphyrna* (Gallagher y Klimley, 2018). Esto coincide con lo reportado por Salomón-Aguilar *et al.* (2009) y Bizarro *et al.* (2009), que describen al GC como una eco-región importante donde estas especies de tiburones utilizan distintas áreas de agregación para su crianza y reproducción. Es posible que esta condición térmica favorezca a que dichas especies sean las más abundantes durante todo el año en la pesquería ribereña de tiburones del GC (Bizarro *et al.*, 2007; Saldaña-Ruiz, 2017). Además, se ha observado que los gradientes térmicos entre las diferentes masas de agua, como las que ocurren en el GC (Torres-Orozco, 1993; Lavín *et al.*, 1997), no limitan el desplazamiento de especies altamente migratorias como *C. falciformis* y *Sphyrna* spp. (Klimley, 1993), lo que también explica su amplia distribución a lo largo del GC.

En el sur del GC, además de la variación mínima de la TSM (Lavín y Marinone, 2003), otros factores físico-ambientales que tienen cierta influencia en la distribución de las especies de tiburones son la presencia de montes submarinos, arrecifes rocosos en la costa peninsular (ROP 11 y 12) y grandes extensiones de sustrato terrígeno y biogénico desde el litoral de Guaymas hasta Cabo Corrientes (Petatán-Ramírez, 2015).

Asimismo, la extensión de la plataforma hasta los 200 metros de la costa continental favorece una batimetría somera (ROP 1-5), después de dicha profundidad existen áreas asociadas con el talud continental, con una topografía accidentada que puede alcanzar los 3,500 m de profundidad (Walker, 1960; Álvarez-Borrego, 2010). Otra característica sobresaliente es el alto nivel de productividad que se genera debido a la conectividad con aguas del Pacífico ricas en nutrientes que fertilizan al GC (Álvarez-Borrego, 2010). Se ha sugerido que la presencia de especies de los géneros *Alopias*, *Carcharhinus*, *Prionace*, *Nasolamia*, *Negaprion*, *Rhizoprionodon* y *Sphyrna* se relacionan con estas características oceanográficas (Marquez-Farias, 2002; Bizzarro *et al.*, 2009; Smith *et al.*, 2009), lo cual coincide el resultado obtenido en los GAM para algunas de las especies de estos géneros aquí estudiadas. Por ejemplo, se encontró una relación entre la densidad de captura de la especie *C. limbatus* con factores como la profundidad promedio ( $\leq 200$  m) y el tipo de sustrato con alto contenido de material pelágico (Figura 10D), característico de la zona costera del GC (INAPESCA, 1994). Además de ser una especie que se captura principalmente en la ROP 1, asociado a grandes sistemas lagunares, estuarinos y desembocadura de ríos donde conforman agregaciones posiblemente para la crianza de estos organismos (Burgess y Branstetter, 2009).

Las características oceanográficas de las ROP localizadas en el sur del GC favorecen la densidad y volumen de captura de *S. lewini* y *S. zygaena* (Figura 14 y 16 D), las cuales son especies de hábitos costeros y semi-oceánicos (Ebert, 2003), con movimientos migratorios verticales y horizontales en función de la abundancia alta de sus presas, además de que los juveniles permanecen principalmente en aguas poco profundas (Klimley, 1993; Schlaff *et al.*, 2014). Esto produce una densidad de captura alta como se observó en el sur del GC, principalmente en las ROP 1 y 12 (Tabla 3), y específicamente para *S. lewini* (196.63 t/100 km<sup>2</sup>) y *S. californica* (150.14 t/100 km<sup>2</sup>), así como para *C. falciformis* (79.88 t/100 km<sup>2</sup>). En dichas ROP se ha observado una dominancia de juveniles de *C. falciformis*, *C. limbatus*, *S. lewini* y *S. zygaena*, en áreas cercanas a Bahía La Paz (ROP 11) y en zonas aledañas al Parque Nacional Cabo Pulmo (ROP 12) en B.C.S., así como en el Sistema Lagunar Santa María- La Reforma y Altata, en la costa de Sinaloa (ROP 2). Sin embargo, al norte del GC (ROP 6, 7 y 8) también se han observado juveniles de estas especies pero en menor proporción (Márquez-Farías, 2001; Hueter *et al.*, 2002; Salomón-Aguilar *et al.*, 2009).

Además de los factores físico-ambientales antes descritos, el año de la captura y el número de artes de pesca que se analizaron en las ROP de sur del GC, durante el periodo 2007-2017, también determinaron la densidad de captura de especies como *A. pelagicus*, *C. falciformis*, *C. leucas*, *I. oxyrinchus*, *S. californica*, *S. lewini* y *S. zygaena*. Sin embargo, en *C. falciformis* estos factores son los únicos que explican la densidad de captura entre las ROP, la cual se mantiene estable desde el 2007 hasta que se incrementa a partir del

2012. Ello puede deberse a condiciones anómalas de TSM, características de eventos como El Niño, durante los años 2010 y 2015, y La Niña, durante los años 2011 y 2012 (NOOA, 2019), se cree que estas condiciones favorecen la abundancia de *C. falciformis* y otras especies en el Pacífico (Aires-da-Silva *et al.*, 2015). Por otro lado, Sosa-Nishizaki *et al.* (2020) sugieren que el incremento en la captura de especies de tiburones a partir del 2012 puede deberse a la política de producción pesquera impulsada por el Gobierno de México durante el periodo 2013 a 2018 (Poder Ejecutivo Federal, 2013; Saldaña-Ruiz *et al.*, 2017).

Se encontró una relación entre el patrón de la distribución de las especies de tiburón descritas como prioritarias y la fisiografía del GC. La costa peninsular, donde dominan especies con hábitos costeros y semi-oceánicos, se caracteriza por presentar sistemas de conformación rocosa y topografía pronunciada a partir de los ~80 m de la costa, así como escasas áreas con sedimentos finos, salvo en el Alto Golfo de California (Álvarez-Borrego, 2010). Por el contrario, en la costa continental dominan especies con hábitos costeros y demersales, se caracteriza por presentar una topografía de pendiente suave en la plataforma continental que se extiende a una amplia diversidad de hábitats, grandes sistemas estuarinos y de bahías abiertas compuestos por sedimentos de areniscas y limo que son acarreados desde la Sierra Madre Occidental a través del sistema de ríos y lagunas costeras, los cuales también aportan un volumen importante de agua dulce (Castro-Aguirre *et al.*, 1995; Lluch-Cota *et al.*, 2007; Álvarez-Borrego, 2010). Las capturas de *A. pelagicus*, *C. leucas*, *I. oxyrinchus*, *M. henlei* y *R. longurio* se observaron entre el 40% y 80% de las ROP. Especies con hábitos oceánicos como *A. pelagicus* y *I. oxyrinchus* (Ebert, 2003) presentaron una mayor densidad de captura en las ROP adyacentes a la costa peninsular del GC, lo cual coincide con los desembarques de la pesca ribereña de B.C y B.C.S., donde se ha reportado que dichas especies forman parte de las especies de mayor captura, principalmente hembras grávidas de *A. pelagicus* (Bizzarro *et al.*, 2007; Heupel *et al.*, 2007; Salomón-Aguilar *et al.*, 2009; Smith *et al.*, 2009). De acuerdo al GAM, el volumen y densidad de captura de *A. pelagicus* en el GC, parece estar asociado únicamente a factores como el año y el número de cimbras que se usan en cada ROP. Aun no se determina la preferencia de temperatura y rango de profundidad del área de su distribución (Compagno, 2001; Simpfendorfer y Heupel, 2004). Sin embargo, con base en el registro obtenido principalmente en la costa peninsular del GC, se sugiere que es una especie con preferencias por aguas templadas (TSM promedio <25°C) en comparación con la costa continental (~27°C), lo que coincide con lo descrito para otras especies como *A. vulpinus* y *A. superciliosus* que tienen una distribución circuntropical, asociada principalmente a aguas frías y profundas (Cartamil *et al.*, 2010), aunque para fines reproductivos y de crianza se encuentran en aguas someras con profundidad menor a 200 m, en montes submarinos y grandes lagunas costeras (Compagno, 2001), características del sur del GC.

En el caso de la especie *I. oxyrinchus*, además del año, la TSM mínima ( $\sim 20^{\circ}\text{C}$ ) fue otro factor que determinó su densidad de captura en la costa peninsular del GC. El rango de temperatura preferencial reportado para esta especie es de  $17^{\circ}$  a  $22^{\circ}\text{C}$  (Compagno, 2001; Simpfendorfer y Heupel, 2004; Cailliet *et al.*, 2009), lo que podría explicar el por qué la densidad y volumen de esta especie fue mayor en la costa peninsular. Esta región se caracteriza por presentar una topografía más accidentada y de mayor amplitud batimétrica asociada a las fallas geológicas del sur de la Cuenca Delfín y el norte de la Cuenca Guaymas (Aragón-Arreola *et al.*, 2005); la conformación de canales profundos en dichas cuencas favorecen el transporte de aguas más frías (Álvarez-Borrego, 2010). Contrariamente, las especies de hábitos costero-demersales como *C. leucas* y *R. longurio* (Ebert, 2003) presentaron mayor densidad y volumen de captura en las ROP adyacentes a la costa continental, principalmente en la ROP 1 localizada al sur del GC. (Bizarro *et al.*, 2007; CONAPESCA-INAPESCA, 2012). Se ha descrito que *C. leucas* habita en aguas costeras y someras como sistemas estuarinos, e incluso regularmente los juveniles ingresan a cuerpos de agua dulce (Simpfendorfer y Heupel, 2004; Heupel *et al.*, 2007; Simpfendorfer y Burgess, 2009). Sin embargo, los hábitos de *C. leucas* difieren con lo observado en el GAM, ya que en los resultados de este modelo no se observó relación alguna entre los factores físico-ambientales y la densidad de captura, mientras que el año y número de redes sí explican la densidad y volumen de captura. Esto puede deberse a que los factores físico-ambientales como la TSM, profundidad y pendiente de las ROP de la costa continental son similares, sin diferencias significativas entre regiones. Estas similitudes pueden deberse a que las ROP se ubican aledañas a sistemas estuarinos con gran aportación de agua dulce y el mismo material terrígeno que proviene de la cuenca hidrográfica de la Sierra Madre Occidental (Álvarez-Borrego, 2010). Por otro lado, de acuerdo a los resultados del GAM, la densidad de captura de *R. longurio* se explicó por el número de cimbras, la profundidad y TSM mínima. Asimismo, se ha observado que es una especie importante en el sur del GC (ROP 1 y 2), principalmente en el invierno (Bizarro *et al.*, 2007), cuando el promedio de la TSM mínima en dichas ROP es de  $21^{\circ}\text{C}$ . Esto se debió a que la especie se caracteriza por habitar aguas templadas y tropicales del Pacífico oriental, sobre sustratos de arenas suaves de la plataforma continental, desde el intermareal hasta los 27 m de profundidad (Simpfendorfer y Heupel, 2004; Smith *et al.*, 2009). Además, durante el verano y otoño se mueven posiblemente hacia aguas más profundas del centro del GC (Márquez-Farías *et al.*, 2005).

*M. henlei* es una especie de hábitos costero-demersal, que presentó una mayor densidad de captura en la ROP 11, localizada al sur del GC ( $\sim 10 \text{ t}/100\text{km}^2$ ). El volumen de captura durante el periodo 2007 a 2017 indicó que la región donde más se capturó fue en la ROP 6 (1,142 t). De acuerdo a Bizarro *et al.* (2007,2009) y Marquez-Farías (2002), la principal zona de captura de esta especie y otros tiburones mustélidos ocurre principalmente al norte del GC, en donde se agregan con fines reproductivos (Salomón-

Aguilar *et al.*, 2009). Los factores que explican la densidad de captura, con base en el análisis GAM de *M. henlei*, son la profundidad promedio (<200 m) y el sustrato compuesto principalmente por material de origen pelágico en las ROP donde se capturan. Estos resultados coinciden con lo reportado para *R. longurio*. Esta especie se distribuye principalmente sobre la plataforma continental, desde la zona intermareal hasta los 200 metros de profundidad (Pérez-Jiménez *et al.*, 2016). Asimismo, *R. Longurio* es una especie que tolera las aguas frías del Pacífico (Ebert, 2003), lo que puede explicar su afinidad por el norte del GC, donde la TSM es menor en relación al resto del GC (Lavín y Marinone, 2003) y es donde se observó que ocurre la mayor densidad de captura. La ocurrencia de *R. longurio* en el sur del GC, por ejemplo en la ROP 11, puede ser una respuesta asociada a una disminución abrupta y estacional de la TSM (Schlaff *et al.*, 2014), como ocurre en el norte del GC que presenta un intervalo de TSM de 8° a 32°C según la época del año (Álvarez-Borrego, 2010). No obstante, en este estudio la TSM no sea un factor determinante de la densidad de captura de esta especie.

La composición específica de la captura descrita *in situ* por Bizzarro *et al.* (2007) a lo largo de diferentes campos pesqueros del GC, sugiere que la captura de *N. velox* se observa en la costa de B.C.S, Nayarit, y escasamente en Sonora y el norte de Sinaloa. Sin embargo, en este estudio solo fue registrada en los avisos de arribo de oficinas de pesca del sur de Sinaloa y Nayarit (ROP 1), en donde se ha documentado la agregación de *N. velox* con fines reproductivos (Salomón-Aguilar *et al.*, 2009). Es probable que esta especie sea confundida con *R. longurio* ya que presentan características similares y su registro en avisos de arribo puede llegar a tener el mismo nombre común (Santana-Morales *et al.*, 2004; Castellanos-Betancourt *et al.*, 2013). Por ello, es necesario señalar que la densidad y volumen de captura que aquí se reporta (Tabla 3) entre las ROP puede estar subestimada para *N. velox* y sobreestimada para *R. longurio*.

Considerando los resultados obtenidos para las ROP 1, 7, 9, 11 y 12, en conjunto con la dinámica poblacional de las especies que se distribuyen en el GC con fines reproductivos y/o de crianza (Bizzarro *et al.*, 2007; Salomón-Aguilar *et al.*, 2009; Smith *et al.*, 2009), el hábitat contenido en estas ROP podrían ser calificado como parte del hábitat esencial de algunas especies prioritarias. Actualmente, la superficie protegida a la pesca en dichas ROP apenas representa 0.4% de la superficie total del GC. No obstante, existe un traslape de dichas ROP con las Unidades de Gestión Costera (UGC) y Oceánica (UGO) incluidas dentro del Programa de Ordenamiento para el GC, que toman en cuenta su importancia para la pesca, turismo y conservación (SEMARNAT, 2006). Shriner *et al.* (2006) explicaron que, para enfocar los esfuerzos de conservación, una de las estrategias comunes para establecer áreas prioritarias es limitar áreas con alta riqueza (*hotspots*) y combinarlas con mapas de distribución de las especies. La riqueza obtenida en las ROP 1, 7 y 9, con nueve o más de las 11 especies de tiburones, y la alta densidad de captura de dichas especies,

principalmente en las ROP 1 y 12, sugieren que estas regiones pueden considerarse áreas estratégicas y prioritarias para la conservación de tiburones, siendo la de mayor importancia la ROP 1, seguida de la 12. Estos resultados coinciden con estudios previos de biodiversidad, en los que se define al sur del GC como una región de alta biodiversidad y abundancia de especies de diferentes taxones (Klimley, 1987; Morzaria-Luna *et al.*, 2018). Cabe señalar que se han definido otros *hotspots* de biodiversidad en el GC, cercanos a los centros poblacionales de Puerto Peñasco, San Felipe, La Paz, Puerto Vallarta y Mazatlán (Morzaria-Luna *et al.*, 2018), y que dentro del Plan de Ordenamiento del golfo de California se considera que existe un mayor impacto antrópico en estos *hotspots*, sobre todo sobre los recursos pesqueros y su hábitat, incluyendo un aumento en el esfuerzo de pesca y el desarrollo costero (SEMARNAT, 2006).

#### **4.2. Implicaciones para la conservación de los tiburones y el manejo de sus pesquerías en el golfo de California**

Dentro de las acciones para el manejo de las pesquerías de tiburón descritas para el GC, es importante mencionar las restricciones en las artes de pesca, así como el establecimiento de periodos de veda, como lo ordena la NOM-029-PESC-2006 (Poder Ejecutivo Federal, 2007b), lo que representa un avance significativo para la conservación de tiburones y en general para los elasmobranquios. No obstante, cabe señalar que las decisiones sobre el manejo de las pesquerías deben justificarse con evaluaciones sobre el tamaño de la población (UICN, 2012), con el fin de establecer puntos de referencia biológicos y reglas de control para el aprovechamiento de las especies (Caddy y Mahon, 1996; FAO/RAP/FIPL, 2004). Sin embargo, en la mayoría de las pesquerías es complejo realizar estas evaluaciones debido a la limitada información de captura por especie, como ocurre con las pesquerías ribereñas de tiburón del GC (CONAPESCA-INAPESCA, 2004; Sosa-Nishizaki *et al.*, 2008; Saldaña-Ruiz *et al.*, 2019), por lo que se deben buscar otras estrategias para el manejo de las pesquerías.

Es necesario impulsar la construcción de estrategias de explotación y reglas de control adecuadas desde la perspectiva espacial, por ejemplo, el establecimiento de zonas de protección específica para las especies definidas como prioritarias para su conservación y el manejo de la pesquería ribereña en el GC. Actualmente no existen estrategias de manejo y conservación con carácter espacial, que incluyan el hábitat esencial de las especies prioritarias de tiburones en el GC. Su consideración podría fortalecer las políticas pesqueras como la NOM-029-PESC-2006 y la ficha de tiburones de la Carta Nacional Pesquera (CNP; Poder Ejecutivo Federal, 2010). Existen áreas de exclusión de pesca de tiburones establecidas en la NOM-029-PESC-2006, pero su finalidad es la protección de especies como lobos marinos, tortugas y

arrecifes, sin polígonos bien definidos, por lo que el cumplimiento y supervisión de dicha regulación es poco efectiva (Poder Ejecutivo Federal, 2007b). Sin embargo, no se puede dejar de reconocer que la pesquería de tiburón es socioeconómicamente muy importante para las comunidades pesqueras que operan en el GC, por ello, para que cualquier estrategia espacial de manejo sea efectiva, debe diseñarse con la participación de todos los interesados en la pesquería, siendo incluyente principalmente de las comunidades de pescadores. El delineamiento de las ROP, resultado de esta tesis, puede ser calificado como el primer paso hacia el establecimiento de estrategias de manejo espacial pesquero de los tiburones en el GC.

Un instrumento de política que permite enfatizar el manejo pesquero de una manera espacial, así como considerar los aspectos socioeconómicos y asegurar la participación de los interesados, son las Zonas de Refugio Pesquero (ZRP). Conforme a la NOM-049-SAG/PESC-2014, las ZRP son áreas delimitadas con la finalidad primordial de conservar y contribuir con el desarrollo de los recursos pesqueros, así como su hábitat, y para su establecimiento se deben vislumbrar objetivos pesqueros relacionados con el beneficio ambiental y socioeconómico de los interesados en implementarla (Poder Ejecutivo Federal, 2014b). Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se sugiere establecer ZRP para tiburones en las ROP 1, 7, 9 y 12. Otro uso potencial de las ROP, es proporcionar la base espacial para el diseño de programas de mejoramiento pesquero de tiburones (FIP, por sus siglas en inglés), sobre todo en aquellas ROP, como la ROP 1 y 12, donde se captura la mayor cantidad y volumen de especies prioritarias. Estos programas serían una alternativa para mantener la rentabilidad de la pesquería ribereña en dichas regiones, a través de usar mercados que incentiven económicamente las buenas prácticas de pesca, al mismo tiempo que se mantenga la diversidad de especies prioritarias y su densidad de su captura (CASS, 2019).

Por otro lado, algunas de las ROP delimitadas en este estudio presentan un traslapo parcial con zonas en las que se ha establecido alguna medida de regulación para la pesca de tiburones en el GC. Por ejemplo, la NOM-029-PESC-2006 prohíbe la pesca de tiburones en el Sistema Lagunar Bahía Santa María-Altata y el litoral de Teacapán (ROP 2), en Sinaloa, así como en Bahía Banderas, entre Nayarit y Jalisco (ROP1; Poder Ejecutivo Federal, 2007b). También, en dicha región las medidas establecidas en su Plan de Manejo Ecosistémico favorecen a la conservación y manejo de tiburones, sin embargo, es un instrumento que se diseñó para mantener la rentabilidad de la pesquería de camarón y ostión (Poder Ejecutivo Federal, 2019).

Es necesario vincular los instrumentos de política pesquera con los de política ambiental que contribuyan en conjunto al manejo y conservación de las especies de tiburón en las ROP. Por ejemplo, las áreas

naturales protegidas son el instrumento de política ambiental con mayor certidumbre jurídica para promover la conservación de la biodiversidad y el desarrollo de las comunidades en su entorno (Poder Ejecutivo Federal, 2012b). Estas áreas son reconocidas como una herramienta estratégica para la conservación y protección de los elasmobranchios y su hábitat (SEMARNAT, 2018). Sin embargo, actualmente las ANP del GC no contribuyen a los objetivos de conservación de los tiburones, debido a que muchas de ellas, con excepción del PN- Cabo Pulmo, se han establecido de manera oportunista, con una limitada información sobre los procesos ecosistémicos y usos humanos (Morzaria-Luna *et al.*, 2018). En ese sentido, a través de los Programas de Manejo de las ANPs de carácter marino y sus zonas de influencia en el GC, se puede coordinar la implementación de acciones para la conservación y manejo de tiburones, como es el caso de la RB- Alto Golfo de California (ROP 7), RB-Bahía de los Ángeles Canales de Ballenas y Salsipuedes (ROP 8), PN- Archipiélago de San Lorenzo (ROP 8 y parcialmente en la ROP 6), RB- Isla San Pedro Mártir (ROP 6), PN- Bahía de Loreto (ROP 10), PN- Archipiélago Espíritu Santo y el APFF-Balandra (ROP 11), y RM- Marismas Nacionales (ROP 1). En el caso del PN- Cabo Pulmo (ROP 12), es un área oficialmente cerrada a la pesca (Poder Ejecutivo Federal, 1995), y representa el 2% (25km<sup>2</sup>) del total de reservas marinas del golfo de California. Dicha ANP se estableció en 1995 y después de 10 de años se registró el incremento en la abundancia y la biomasa de peces en más de 400%, y específicamente a más de 1000% en el caso de depredadores tope como tiburones (Aburto-Oropeza *et al.*, 2011). Esto puede explicar la alta diversidad y abundancia de especies prioritarias en dicha ROP, ya que ha demostrado que áreas completamente protegidas a la pesca funcionan como exportadores de biomasa a las áreas contiguas donde sí es permitida la pesca de tiburones (Bonfil, 1999; Yates *et al.*, 2016; Munguía-Vega *et al.*, 2018). Cabe mencionar que coordinar los instrumentos de política pesquera y ambiental para tiburones, a través de las ANP y sus zonas de influencia, permitiría incrementar hasta en un 10% la superficie del GC en donde se complementarían las acciones para el manejo de las pesquerías de tiburón y conservación de estas especies. En cualquier caso, el propósito de dichos instrumentos es asegurar el aprovechamiento sostenible, así como proteger el hábitat de especies amenazadas y vulnerables (Poder Ejecutivo Federal, 2007a; Poder Ejecutivo Federal, 2012a, 2012b; Saldaña-Ruiz *et al.*, 2019).

## Capítulo 5. Conclusiones

---

- Los avisos de arribo proporcionan información para determinar las especies de tiburón prioritarias para su conservación y el manejo de su pesquería ribereña en el GC. Con base en la información de los avisos de arribo y la vulnerabilidad de las especies por pesca, se identifican 11 pesquerías de tiburón prioritarias: *A. pelagicus*, *C. falciformis*, *C. leucas*, *C. limbatus*, *I. oxyrinchus*, *M. henlei*, *N. velox*, *R. longurio*, *S. lewini*, *S. zygaena* y *S. californica*.
- Las ROP 1 y 12, al sur del GC, son los sitios con mayor riqueza y densidad de captura de tiburones, por lo que pueden considerarse como las regiones estratégicas para la implementación de medidas para su conservación y el manejo de su pesquería ribereña en el GC.
- La distribución de las especies prioritarias se corresponde con la fisiografía del GC, asociadas a las características de su hábitat. Especies de tiburones con hábitos costeros y demersales ocurren en las ROP sobre la plataforma continental, mientras que las especies con hábitos oceánicos en registran principalmente en las ROP aledañas a la costa peninsular.
- Es necesario vincular los instrumentos de política pesquera con los de política ambiental para la conservación y el manejo de tiburones, por ejemplo, a través de los Programas de Manejo de las áreas naturales protegidas establecidas en el golfo de California, así como establecer un manejo espacial para estas pesquerías a través de Zonas de Refugio Pesquero en las ROP 1, 7, 9 y 12.

## Literatura citada

---

- Aburto-Oropeza, O., Erisman, B., Galland, G. R., Mascareñas-Osorio, I., Sala, E., y Ezcurra, E. 2011. Large recovery of fish biomass in a no-take marine reserve. *PLoS ONE*, 6(8), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023601>
- Aires-da-Silva, A., Lennert-Cody, C., Maunder, M.N., Román-Verdesoto, M., y Hinton, M.G. 2015. Updated Stock status indicators for silky sharks in the Eastern Pacific Ocean (1994-2014). En: *Inter-American Tropical Tuna Commission Scientific Advisory Committee 6 th Meeting* (1–11 pp.). La Jolla, California: Inter-American Tropical Tuna Commission.
- Akaike, H. 1974. A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE: Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716–723. <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- Albert, C., Luque, G. M., y Courchamp, F. 2018. The twenty most charismatic species. *PLoS ONE*, 13(7), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199149>
- Álvarez-Borrego, S. 2010. Physical, Chemical and Biological Oceanography of the Gulf of California. En R.C. Brusca (Ed.), *The Gulf of California: biodiversity and conservation* (Segunda Ed.). University of Arizona Press. 24–48 pp.
- Álvarez-Borrego, S. 2012. Phytoplankton biomass and production in the Gulf of California: A review. *Botanica Marina*, 55(2), 119–128. <https://doi.org/10.1515/BOT.2011.105>
- Applegate, S. P., Soltelo-Macias, F., y Espinosa-Arrubarrena, L. 1993. An overview of Mexican shark fisheries, with suggestions for shark conservation in Mexico. En: S. Brantetter (Ed.), *Conservation Biology of Elasmobranchs*. NOAA. 31–38 pp.
- Aragón-Arreola, M., Morandi, M., Martín-Barajas, A., Delgado-Argote, L., y González-Fernández, A. 2005. Structure of the rift basins in the central Gulf of California: Kinematic implications for oblique rifting. *Tectonophysics*, 409, 19–38. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.08.002>
- Aragón-Noriega, E. A., Cisneros-Mata, M. Á., y Rodríguez-Quiroz, G. 2012. Artisanal fishery of elasmobranchs within two marine protected areas in the Upper Gulf of California. *Indian Journal Fishing*, 59(4), 1–6.
- Arreguín-Sánchez, F., y Arcos-Huitrón, E. 2007. Fisheries catch statistics for Mexico. En: D. Zeller y D. Pauly (Eds.), *Reconstruction of marine fisheries catches for key countries and regions (1950-2005)*. Fisheries Centre Research Reports. Fisheries Center, University of British Columbia. 81–103 pp.
- Barry, S. C., y Welsh, A. H. 2002. Generalized additive modelling and zero inflated count data. *Ecological Indicators*, 157, 179–188. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00194-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00194-1)
- Baum, J., Clarke, S. C., Domingo, A., Ducrocq, M., Lamónaca, A. F., Gaibor, N., Graham, R., Jorgensen, S., Kotas, J.E., Medina, E., Martínez-Ortiz, J., Monzini Taccone di Sitizano, J., Morales, M.R., Navarro, S.S., Pérez-Jiménez, J.C., Ruiz, C., Smith, W., Valenti, S.V., y Vooren, C.M. 2007. *Sphyrna lewini*. UICN. Lista Roja de Especies Amenazadas. Recuperado el 18 de noviembre de 2019, de <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2007.RLTS.T39385A10190088.en>
- Bivand, R., Keitt, T., y Rowlingson, B. 2018. rgdal: Bindings for the “Geospatial” Data Abstraction Library. RStudio, Inc. Recuperado el 13 de marzo de 2020, de <https://cran.r-project.org/package=rgdal>

- Bizzarro, J. J., Smith, W. D., Hueter, R. E., Tyminski, J., Márquez– Farías, J. F., Castillo–Géniz, J. L., Cailliet G.M., y Villavicencio-Garayzar, C. J. 2009. *The Status of Shark and Ray Fishery Resources in the Gulf of California: Applied Research to Improve Management and Conservation*. Moss Landing Marine Laboratories. Recuperado de [http://aquaticcommons.org/2422/1/MLML\\_Tech\\_Pub\\_09\\_01.pdf](http://aquaticcommons.org/2422/1/MLML_Tech_Pub_09_01.pdf)
- Bizzarro, J. J., Smith, W. D., Hueter, R. E., y Villavicencio-Garayzar, C. J. 2009. Activities and Catch Composition of Artisanal Elasmobranch Fishing Sites on the Eastern Coast of Baja California Sur , Mexico. *Bulletin of Southern California Academy of Science*, 108(3), 137–151.
- Bonfil, R. 1997. Status of shark resources in the Southern Gulf of Mexico and Caribbean: Implications for management Mini review Status of shark resources in the Southern Gulf of Mexico and Caribbean: implications for management. *Fisheries Research*, 29, 101–117. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(96\)00536-X](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(96)00536-X)
- Bonfil, R. 1999. Marine Protected Areas as a Shark Fisheries Management Tool. En: *5th Indo-Pac Fish Conference Noumea*. París: Soc. Fr. Ichtyol. 149–164 pp.
- Brusca, Richard C, Findley, L. T., Hastings, P. A, Hendrickx, M. E., Torre-Cosío, J., y Van Der Heiden, A. M. 2005. Macrofaunal Diversity in the Gulf of California. En: J.L. E. Cartron, C. Gerardo, y R. Stephen Felger (Eds.), *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico* (Primera Ed.). Oxford University Press. 179–203 pp.
- Burgess, G. H., y Branstetter, S. 2009. *Carcharhinus limbatus*. UICN Lista Roja de Especies Amenazadas. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T3851A10124862.en>
- Caddy, J. F., y Mahon, R. 1996. *Puntos de referencia para la ordenación pesquera*. Roma: FAO. Recuperado el 22 de noviembre de 2019, de (<http://www.fao.org/3/v8400s/v8400s00.htm>)
- Cailliet, G. M., Cavanagh, R. D., Kulka, D. W., Stevens, J. D., Soldo, A., Clo, S., y Domingo, A. 2009. *Isurus oxyrinchus*. UICN Lista Roja de Especies Amenazadas. Recuperado el 18 de noviembre de 2019, de <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T39341A10207466.en>
- Cailliet, G. M., Chabot, C. L., Nehmens, M. C., y Carlisle, A. B. (2016). *Squatina californica*. UICN Lista Roja de Especies Amenazadas. Recuperado el 24 de noviembre de 2019 <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T39328A80671059.en>
- Camhi, M. D., Valenti, S., Fordham, S., Fowler, S., y Gibson, C. (2007). *The Conservation Status of Pelagic Sharks and Rays: Report of the IUCN Shark Specialist Group Pelagic Shark Red List Workshop*. Newbury, UK: UICN Grupo Especialista para la sobrevivencia de especies.
- Cardeñosa, D., Glaus, K. B. J., y Brunnschweiler, J. M. (2017). Occurrence of juvenile bull sharks (*Carcharhinus leucas*) in the Navua River in Fiji. *Marine and Freshwater Research*, 68(3), 592–597. <https://doi.org/10.1071/MF16005>
- Cartamil, D., Wegner, N. C., Aalbers, S., Sepulveda, C. A., Baquero, A., y Graham, J. B. (2010). Diel movement patterns and habitat preferences of the common thresher shark (*Alopias vulpinus*) in the Southern California Bight. *Marine and Freshwater Research*, 61, 596–604. <https://doi.org/10.1071/MF09153>
- Cartamil, D., Santana-Morales, O., Escobedo-Olvera, M., Kacev, D., Castillo-Geniz, L., Graham, J. B., Rubin, R.D., y Sosa-Nishizaki, O. (2011). The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California, Mexico. *Fisheries Research*, 108(2–3), 393–403. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.01.020>

- Casper, B. M., Domingo, A., Gaibor, N., Heupel, M. R., Kotas, J. E., Lamónaca, A. F., y Vooren, C. M. 2005. *Sphyrna zygaena*. UICN Lista Roja de Especies Amenazadas. Recuperado el 24 de noviembre de 2019, de <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2005.RLTS.T39388A10193797.en>
- CASS. 2019. Guidelines for Supporting Fishery Improvement Projects. Recuperado el 25 de noviembre de 2019, de <http://solutionsforseafood.org/wp-content/uploads/2015/03/Alliance-FIP-Guidelines-3.7.15.pdf>
- Castellanos-Betancourt, J. C. 2012. *Catálogo de aletas, tronchos y cabezas de las principales especies de tiburones en el Pacífico mexicano*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 77 pp.
- Castellanos-Betancourt, J. C., Ramírez-Santiago, C. E., y Castillo-Géniz, J. L. 2013. *Catálogo de Aletas, Tronchos y Cabezas de Tiburones en el Pacífico mexicano* (Primera Ed.). Instituto Nacional de Pesca. México. 60 pp.
- Castillo-Geniz, L., Marquez-Farias, J., Rodríguez de la Cruz, M. C., Cortés, E., y Cid del Prado, A. 1998. The Mexican shark fishery in the Gulf of Mexico: towards a regulated fishery. *Marine Freshwater Resources*, 49, 611–620. <https://doi.org/10.1071/MF97120>
- Castillo-Géniz, L., Soriano-Velázquez, S. R., y Villaseñor-Talavera, R. (2008). Pesquerías mexicanas de tiburón en el Océano Pacífico. En: M. Tadanobu y J. Flóres-Olivarez (Eds.), *Pesquerías Latinoamericanas*. Mazatlán, Sinaloa: Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 211–241 pp.
- Castro-Aguirre, J. L., Balart-Paez, E. F., y Arvizu-Martínez, J. 1995. Contribución al conocimiento del origen y distribución de la ictiofauna del Golfo de California, México. *Hidrobiológica*, 5(1–2), 57-78.
- CCA. 2017. *Plan de acción de América del Norte para un comercio sustentable de especies de tiburón*. Montreal: Comisión para la Cooperación Ambiental. 54 pp.
- Chapman, D. D., Feldheim, K. A., Papastamatiou, Y., y Hueter, R. E. 2015. There and Back Again: A Review of Residency and Return Migrations in Sharks, with Implications for Population Structure and Management. *Annual Review of Marine Science*, 7, 22.1-22.24. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010814-015730>
- Cinti, A., Duberstein, J. N., Torreblanca, E., y Moreno-Baéz, M. 2014. Overfishing drivers and opportunities for recovery in small-scale fisheries of the Midriff Islands region, Gulf of California, Mexico: The roles of land and sea institutions in fisheries sustainability. *Ecology and Society*, 19(1), 1–15. <https://doi.org/10.5751/ES-05570-190115>
- Cisneros-Montemayor, A. M., Barnes-Mauthe, M., Al-Abdulrazzak, D., Navarro-Holm, E., y Sumaila, U. R. 2013. Global economic value of shark ecotourism: implications for conservation. *Oryx*, 47(03), 381–388. <https://doi.org/10.1017/S0030605312001718>
- CITES. Apendices I, II y III 2017. Aplicación internacional: Convención sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. Recuperado el 24 de noviembre de 2019, de CITES (<https://cites.org/esp/app/appendices.php>).
- CITES. 2019. Propuesta de inclusión de *I. oxyrinchus* en Apendice II. En *Décimo séptima reunión de la Conferencia de las Partes, Sri Lanka, 23 de mayo a 3 de junio del 2019*. Colombo: Convención sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. 46 p.

- Claudet, J., Osenberg, C. W., Domenici, P., Badalamenti, F., Milazzo, M., Falcn, J. M., y Planes, S. 2010. Marine reserves: Fish life history and ecological traits matter. *Ecological Applications*, 20(3), 830–839. <https://doi.org/10.1890/08-2131.1>
- CMS. Memorandum of Understanding on the Conservation of Migratory Sharks (2016). Recuperado el 24 de noviembre de 2019, de CMS (<https://www.cms.int/sharks/en>).
- Compagno, L. J. V. 2001. *Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date.* (Segunda Ed.). Roma. 269 pp.
- CONABIO, CONANP, TNC, y 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. 129 pp.
- CONAPESCA-INAPESCA. 2004. *Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México.* Mazatlán, Sinaloa: Comisión Nacional de Pesca y Acuacultura-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. 80 pp.
- CONAPESCA-INAPESCA. 2012. *Plan de manejo de la pesquería de tiburones y rayas del pacífico mexicano.* Mazatlán, Sinaloa: SAGARPA. México. 120 pp.
- CONAPESCA. (2018). Información de estadística pesquera. Recuperado el 18 de febrero de 2019, de [https://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/informacion\\_estadistica\\_por\\_especie\\_y\\_entidad](https://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/informacion_estadistica_por_especie_y_entidad)
- Costello, M. J., Bouchet, P., Boxshall, G., Fauchald, K., Gordon, D., Walter, T. C., Vanhoorne B., Decock, W., y Appeltans, W. 2013. Global Coordination and Standardisation in Marine Biodiversity through the World Register of Marine Species (WoRMS) and Related Databases. *PLoS ONE*, 8(1), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051629>
- Cudney-Bueno, R., Lavín, M. F., Marinone, S. G., Raimondi, P. T., y Shaw, W. W. 2009. Rapid effects of marine reserves via larval dispersal. *PLoS ONE*, 4(1), e4140. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004140>
- Day, J. 2012. Marine Protected Areas. En: M. Lockwood, G. Worboys, y A. Kothari (Eds.), *Managing Protected Areas: A Global Guide* (Primera Ed.). London, RU: Taylor y Francis. 603–634 pp.
- Del Moral Flores, L., y Pérez Ponce de León, G. 2013. Tiburones, rayas y quimeras de México. *Biodiversitas*, (111), 1–6.
- Díaz-Uribe, J. G., Valdez-Ornelas, V. M., Danemann, G. D., Torreblanca-Ramírez, E., Castillo-López, A., y Cisneros-Mata, M. Á. 2013. Regionalización de la pesca ribereña en el noroeste de México como base práctica para su manejo. *Ciencia Pesquera*, 21(1), 41–54.
- Díaz de León, A., Álvarez-Torres, P., y Iglesias-Barón, O. 2009. Experiencias globales de clasificación y ejercicios de zonificación marina. En A. Córdova y Vázquez, F. Rosete Vegés, G. Enríquez Hernández, y B. Hernández de la Torre (Eds.), *Ordenamiento ecológico marino: Visión integrada de la regionalización* (Primera Ed.). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 21–42 pp.
- Dolby, G. A., Bennett, S., Lira-Noriega, A., Wilder, B., y Munguía-Vega, A. 2015. Assessing the Geological and Climatic Forcing of Biodiversity and Evolution Surrounding the Gulf of California Assessing the Geological and Climatic Forcing of Biodiversity and Evolution Surrounding the Gulf of California. *Journal of the Southwest*, (57), 391–455. <https://doi.org/10.1353/jsw.2015.0005>

- Drexler, M., y Ainsworth, C. H. 2013. Generalized Additive Models Used to Predict Species Abundance in the Gulf of Mexico: An Ecosystem Modeling Tool. *PLoS ONE*, 8(5), e64458. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064458>
- Duberstein, J. N. 2009. *The shape of the commons: Social networks and the conservation of small-scale fisheries in the Northern Gulf of California*. Tesis de doctorado. The University of Arizona. Tucson, EE.UU. 222 pp.
- Dulvy, N. K., Fowler, S. L., Musick, J. A., Cavanagh, R. D., Kyne, P. M., Harrison, L. R., Carlson, J.K., Davidson, L.N.K., Fordham, S.V., Francis, M.P., Pollock, C.M., Simpfendorfer, C.A., Burgess, G.H., Carpenter, K.E., Compagno, L.V., Ebert, D., Gibson, C., Heupel, M.R., Livingstone, S.R., Sanciangco, J.C., Stevens, J.D., Valenti, S., y White, W. T. 2014. Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. *eLife*, 2014(3), 1–34. <https://doi.org/10.7554/eLife.00590.001>
- Dulvy, N. K., Simpfendorfer, C. A., Davidson, L. N. K., Fordham, S. V., Bräutigam, A., Sant, G., y Welch, D. J. 2017. Challenges and Priorities in Shark and Ray Conservation. *Current Biology*, 27(11), R565–R572. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.038>
- Dwyer, R. G., Krueck, N. C., Udyawer, V., Heupel, M.R., Chapman, D., Pratt, H.L., Garla, R., y Simpfendorfer, C. A. 2020. Individual and Population Benefits of Marine Reserves for Reef Sharks Individual and Population Benefits. *Current Biology*, 30, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.12.005>
- Ebert, D. 2003. *Sharks, Rays, and Chimaeras of California*. (P. M. Faber y P. B.M, Eds.) (Primera Ed). London, RU: University of California Press.
- FAO/RAP/FIPL. 2004. *A research agenda for small-scale fisheries*. Bangkok, Thailand: FAO.
- FAO. 1995. *Código de Conducta para la Pesca Responsable*. Roma: FAO. Recuperado el 26 de noviembre de 2019, de (<http://www.fao.org/3/a-v9878s.pdf>)
- FAO. 1999. *Plan de acción internacional para la conservación y ordenación de los tiburones*. Roma: FAO. Recuperado el 26 de noviembre de 2019 de FAO, de (<http://www.fao.org/ipoa-sharks/es/>)
- Fernández-Castañeda, V., Loaiza-villanueva, R., Pérez-valencia, S., Martínez-Tovar, I., Sánchez-cruz, Á., Turk Boyer, P., y Castillo-López, A. 2008. Importancia de los arrecifes rocosos del norte del Golfo de California. *Pesquerías Sustentables, Centro Intercultural de Desiertos y Océanos –CEDO*, 1–12.
- Flores-Guzmán, A. 2018. *Análisis histórico de las capturas y población de Squatina californica, 1960-2017, en el Pacífico noroeste de México con base en una metodología de pocos datos*. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Baja California. 61 pp.
- Furlong-Estrada, E., Ríos-Jara, E., y Tovar-Avila, J. 2014. Evaluación de riesgo ecológico de la pesca artesanal para los tiburones capturados en la entrada del Golfo de California. *Hidrobiológica*, 24(2), 83–97.
- Gallagher, A. J., y Klimley, A. P. 2018. The biology and conservation status of the large hammerhead shark complex: the great, scalloped, and smooth hammerheads. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. <https://doi.org/10.1007/s11160-018-9530-5>
- GEBCO. 2019. Carta Batimétrica de los Océanos. Recuperado el 27 de junio de 2019, de [https://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/)
- Guisan, A., Edwards, T. C., y Hastie, T. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*, 157, 89–100.
- Hastie, T., y Tibshirani, R. 1986. Generalized Additive Models. *Statistical Science*, 1(3), 297–318.

- Heupel, M. R., Carlson, J. K., y Simpfendorfer, C. A. 2007. Shark nursery areas: Concepts, definition, characterization and assumptions. *Marine Ecology Progress Series*, 337, 287–297. <https://doi.org/10.3354/meps337287>
- Heupel, M. R., Knip, D. M., Simpfendorfer, C. A., y Dulvy, N. K. (2014). Sizing up the ecological role of sharks as predators. *Marine Ecology Progress Series*, 495, 291–298. <https://doi.org/10.3354/meps10597>
- Hilborn, R., y Walters, C. J. (1992). Role of Stock Assessment in Fisheries Management. En: *Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics y Uncertainty* (Primera Ed.). Boston, EE.UU: Springer International Publishing. 2-21 pp.
- Hueter, R. E., Tyminski, J., Cailliet, G. M., Bizzarro, J., Smith, W., Márquez-Farías, J. F., y Villavicencio-Garayzar, J. C. 2002. *Artisanal Fisheries for Sharks, Skates and Rays in the Gulf of California*. Guaymas: Instituto Nacional de Pesca. Recuperado el día 18 de noviembre de Inapesca, de <https://www.inapesca.gob.mx/portal/Publicaciones/Memorias/2002-I-Foro-Cientifico-de-Pesca-Riberena-en-Guaymas.pdf?download>
- Hutchinson, M., Coffey, D. M., Holland, K., Itano, D., Leroy, B., Kohin, S., Vetter, R., Williams, A.J., y Wren, J. 2019. Movements and habitat use of juvenile silky sharks in the Pacific Ocean inform conservation strategies. *Fisheries Research*, 210, 131–142. <https://doi.org/10.1016/J.FISHRES.2018.10.016>
- INAPESCA. 1994. *Atlas pesquero de Mexico* (Primera Ed.). Distrito Federal: Instituto Nacional de Pesca. 234 pp.
- INEGI. (2019). Índice Nacional de Precios al Consumidor. Recuperado el 8 de mayo de 2019, de <https://www.inegi.org.mx/temas/inpc/>
- Klimley, A.P. 1993. Marine Biology Highly directional swimming by scalloped hammerhead sharks, *Sphyrna lewini*, and subsurface irradiance, temperature, bathymetry, and geomagnetic field. *Marine Biology*, 22(117), 1–22.
- Klimley, A Peter. 1987. The determinants of sexual segregation in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*. *Environmental Biology of Fishes*, 18(1), 27–40.
- Knip, D. M., Heupel, M. R., y Simpfendorfer, C. A. 2010. Sharks in nearshore environments: Models, importance, and consequences. *Marine Ecology Progress Series*, 402, 1–11. <https://doi.org/10.3354/meps08498>
- Knip, D. M., Heupel, M. R., y Simpfendorfer, C. A. 2012. Evaluating marine protected areas for the conservation of tropical coastal sharks. *Biological Conservation*, 148(1), 200–209. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.008>
- Knip, D. M., Heupel, M. R., Simpfendorfer, C. A., Tobin, A. J., y Moloney, J. 2011. Ontogenetic shifts in movement and habitat use of juvenile pigeye sharks *Carcharhinus amboinensis* in a tropical nearshore region. *Marine Ecology Progress Series*, 425, 233–246. <https://doi.org/10.3354/meps09006>
- Lara-Mendoza, R. E., Zamora-García, O., y Márquez-Farías, J. F. 2016. Elasmobranchios capturados en la pesquería escamero de arrastre del centro-oriente del Golfo de California, México. *Ciencia Pesquera*, 24, 145–151.
- Lavín, M. F., Durazo, R., Palacios, E., Argote, M., y Carrillo, L. 1997. Lagrangian Observations of the Circulation in the Northern Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography*, 27, 2298–2305. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1997\)027<2298:LOOTCI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1997)027<2298:LOOTCI>2.0.CO;2)

- Lavín, M. F., y Marinone, S. G. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. En: O. Velasco-Fuentes, J. Sheinbaum, y J. Ochoa (Eds.), *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*. Springer, Netherlands.
- Léopold, M., Beckensteiner, J., Kaltavara, J., Raubani, J., y Caillon, S. 2013. Community-based management of near-shore fisheries in Vanuatu: What works? *Marine Policy*, 42, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.02.013>
- Lluch-Cota, S. E., Aragón-Noriega, E. A., Arreguín-Sánchez, F., Auriolles-Gamboa, D., Jesús Bautista-Romero, J., Brusca, R. C., Cervantes-Duarte, R., Cortés-Altamirano, R., Del Monte-Luna, P., Esquivel-Herrera, A., Fernández, G., Hendrickx, M.E., Hernández-Vázquez, S., Herrera-Cervantes, H., Kahru, M., Lavín, M., Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D.B., López-Martínez, J., Marinone, S.G., Nevárez-Martínez, M.O., Ortega-García, S., Palacios-Castro, E., Parés-Sierra, A., Ponce-Díaz, G., Ramírez-Rodríguez, M., Salinas-Zavala, C.A., Schwartzlose, R., y Sierra-Beltrán, A. P. 2007. The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress in Oceanography*, 73(1), 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2007.01.013>
- MacKeracher, T., Diedrich, A., y Simpfendorfer, C. A. 2019. Sharks, rays and marine protected areas: A critical evaluation of current perspectives. *Fish and Fisheries*, 1–13. <https://doi.org/10.1111/faf.12337>
- Marinone, S. G. 2003. A three-dimensional model of the mean and seasonal circulation of the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 108(10), 1–27. <https://doi.org/10.1029/2002JC001720>
- Marinone, S. G. 2012. Seasonal surface connectivity in the Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 100, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.01.003>
- Márquez-Farías, J. F. 2001. Tiburones del Golfo de California. En: M. Á. Cisneros-Mata y A. J. Díaz de León (Eds.), *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México: Evaluación y Manejo* (Primera Ed.). Instituto Nacional de Pesca. 323–357 pp.
- Márquez-Farías, J. F., y Blanco-Parra, M. 2006. La Pesquería de las Rayas del Golfo de California. En: *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México, Evaluación y Manejo*. Ciudad de México: SAGARPA. 303–321 pp.
- Márquez-Farías, J. F., Corro-Espinosa, D., y Castillo-Géniz, J. L. 2005. Observations on the Biology of the Pacific Sharpnose Shark (*Rhizoprionodon longurio*, Jordan and Gilbert, 1882), Captured in Southern Sinaloa, México. *Journal Northw. Atl. Fish. Sci.*, 35, 107–114. <https://doi.org/10.2960/J.v35.m506>
- Márquez-Farías, J. F. 2002. *Análisis de la pesquería de tiburón en México*. Tesis de maestría. Universidad de Colima. México. 97 pp.
- MATLAB. 2010. version 7.10.0 (R2010a). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.
- Moreno-Báez, M. 2010. *Mapping Human Dimensions of Small-scale Fisheries in the Northern Gulf of California, Mexico*. Tesis de doctorado. The University of Arizona. Tucson, EE.UU. 321 pp.
- Moreno-Báez, M., Cudney-Bueno, R., Orr, B. J., Shaw, W. W., Pfister, T., Torre-Cosío, J., Loaiza, R., y Rojo, M. (2012). Integrating the spatial and temporal dimensions of fishing activities for management in the Northern Gulf of California, Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 55, 111–127. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.10.001>

- Morgan, L., Maxwell, S., Tsao, F., Wilkinson, T. A., y Etnoyer, P. (2005). *Áreas prioritarias marinas para la conservación: Baja California al mar de Bering* (Primera Ed.). Quebec: Comisión para la Cooperación Ambiental. 136 pp.
- Morris, D. W. (1987). Ecological Scale and Habitat Use. *Ecology*, 68(2), 362–369.
- Morrison, M. L., Marcot, G. B., y Mannan, R. W. (2006). Concepts of Wildlife-Habitat Relationships. En: *Wildlife Habitat Relationships: Concepts and Applications* (Tercera Ed.). Island Press of Center for Resource Economics. 1–43 pp.
- Morzaria-Luna, H. N., Cruz-Piñón, G., Brusca, R. C., López-Ortiz, A. M., Moreno-Báez, M., Reyes-Bonilla, H., y Turk-Boyer, P. (2018). Biodiversity hotspots are not congruent with conservation areas in the Gulf of California. *Biodiversity and Conservation*, 27(14), 3819–3842. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1631-x>
- Munguía-Vega, A., Green, A., Suarez-Castillo, A., Espinosa-Romero, M., Aburto-Oropeza, O., Cisneros-Montemayor, A., Cruz-Piñón, G., Danemann, G., Giron-Nava, A., González-Cuellar, O., Lasch, C., Mancha-Cisneros, M., Marinone, S.G., Moreno-Báez, M., Morzaria-Luna, H.N., Reyes-Bonilla, H., Torre, J., Turk-Boyer, P., Walther, M., y Hudson, A. (2018). Ecological guidelines for designing a network of marine reserves in the unique biophysical environment of the Gulf of California. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 1–28. <https://doi.org/10.1007/s11160-018-9529-y>
- NASA. 2019. Ocean Color Web. Recuperado el 29 de junio de 2019, de <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3/>
- Nielsen, J., Hedeholm, R. B., Heinemeier, J., Bushnell, P. G., Christiansen, J. S., Olsen, J., Bronk-Ramsey, C., Brill, R.W., Simon, M., y Steffensen, J. F. 2016. Eye lens radiocarbon reveals centuries of longevity in the Greenland shark (*Somniosus microcephalus*). *Science*, 353(6300), 702–704.
- NOAA. Magnuson-Stevens Fishery Conservation and Management Act, 1851 Gobierno de EE.UU. § 2007. USA. Recuperado de [http://www.nmfs.noaa.gov/sfa/laws\\_policies/msa/](http://www.nmfs.noaa.gov/sfa/laws_policies/msa/)
- NOAA. 2019. Centro de predicción climático. Recuperado el 19 de noviembre de 2019, de [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)
- PANGAS. 2008. *Diagnostico Socioeconómico de la Pesca Artesanal en la Región del Norte del Golfo de California*. Guaymas, México.
- Patrick, W., Spencer, P., Ormseth, O., Cope, J., Field, J., Kobayashi, D. R., Gedanmke, T., Cortés, E., Bigelow, K., Overholtz, W., Link, J., y Lawson, P. 2009. *Use of Productivity and Susceptibility Indices to Determine Stock Vulnerability, with Example Applications to Six U.S fisheries*. NOAA Tech. Memorandum. <https://doi.org/NMFS-F/SPO-101>
- Pauly, D. 1998. Rationale for reconstructing catch time series. *Knowledge for the future*, 11(2), 4–7.
- Pérez-Jiménez, J. C. 2014. Historical records reveal potential extirpation of four hammerhead sharks (*Sphyrna* spp.) in Mexican Pacific waters. *Rev. Fish Biol. Fisheries*, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9353-y>
- Pérez-Jiménez, J. C., Carlisle, A. B., Chabot, C. L., Vásquez, V. E., y Ebert, D. A. 2016. *Mustelus henlei*. UICN Lista Roja de Especies Amenazadas. Recuperado el 14 de octubre de 2019, de <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T161648A80672263.en>
- Petatán-Ramírez, D. (2015). *Propuesta de zonación del Golfo de California con base en variables oceanográficas y distribución de macroinvertebrados*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, México. 96 pp.

- Poder Ejecutivo Federal. Decreto por el que se declara área natural protegida con el carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Cabo Pulmo, ubicada frente a las costas del Municipio de Los Cabos, B.C.S. (1995). México: *Diario Oficial de la Federación* publicado el 06 de junio de 1995.
- Poder Ejecutivo Federal. (2004). Reglamento de la Ley de Pesca. México: *Diario Oficial de la Federación* publicado 28 de enero de 2004.
- Poder Ejecutivo Federal. (2007). Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentables. México: *Diario Oficial de la Federación* publicado 24 de julio de 2007.
- Poder Ejecutivo Federal. 2007. Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento. México: *Diario Oficial de la Federación* publicado 14 de febrero de 2007.
- Poder Ejecutivo Federal. 2008. Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. México: *Diario Oficial de la Federación* publicado el 25 de junio de 2008.
- Poder Ejecutivo Federal. 2010. Acuerdo mediante el cual se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. México: *Diario Oficial de la Federación* publicado el 02 de diciembre de 2010.
- Poder Ejecutivo Federal. 2012. Acuerdo por el que se establece una red de zonas de refugio en aguas marinas de jurisdicción federal frente a la costa oriental del Estado de Baja California Sur, en el corredor marino de San Cosme a Punta Coyote. México: *Diario Oficial de la Federación* publicado el 16 de noviembre de 2012.
- Poder Ejecutivo Federal. 2012. Acuerdo por el que se modifica el aviso por el que se da a conocer el establecimiento de épocas y zonas de veda para la pesca de diferentes especies de la fauna acuática en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. México: *Diario Oficial de la Federación* publicado el día 05 de junio de 2012.
- Poder Ejecutivo Federal. 2012. Ley General De Vida Silvestre. México: *Diario Oficial de la Federación* publicado el 06 de julio de 2012.
- Poder Ejecutivo Federal. 2012. Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente. México: *Diario Oficial de la Federación* publicado el 04 de junio de 2012.
- Poder Ejecutivo Federal. 2013. Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. México: *Diario Oficial de la Federación* publicado el 03 de mayo de 2013.
- Poder Ejecutivo Federal. 2014. Acuerdo por el que se establece una red de zonas de refugio pesquero para la protección del ostión de placer (*Crassostrea corteziensis*) en el sur de Sinaloa. México: *Diario Oficial de la Federación* publicado el 03 de diciembre de 2014.
- Poder Ejecutivo Federal. 2014. Norma Oficial Mexicana NOM-049-SAG/PESC-2014, Que determina el procedimiento para establecer zonas de refugio para los recursos pesqueros en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. México: *Diario Oficial de la Federación* publicado el 14 de abril de 2014.
- Poder Ejecutivo Federal. 2017. Acuerdo por el que se establece una red de tres Zonas de Refugio Pesquero Totales Temporales en aguas marinas de jurisdicción federal de la Isla San Pedro Nolasco, frente a las costas del Municipio de Guaymas en el Estado de Sonora. México: *Diario Oficial de la Federación* publicado el 12 de diciembre de 2017.
- Poder Ejecutivo Federal. 2017. Acuerdo por el que se establece una Zona de Refugio Pesquero Total Temporal en aguas marinas de jurisdicción federal de Puerto Libertad, Municipio de Pitiquito en el Estado de Sonora. México: *Diario Oficial de la Federación* publicado el 12 de diciembre de 2017.

- Poder Ejecutivo Federal. 2019. Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero Ecosistémico del Sistema Lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, ubicado en los municipios de Navolato y Culiacán, del estado de Sinaloa. México: *Diario Oficial de la Federación* publicado el 24 de septiembre de 2019.
- Ramírez-Amaro, S., Cartamil, D., Galván-Magaña, F., González-Barba, G., Graham, J. B., Carrera-Fernandez, M., Escobar-Sánchez, O., Sosa-Nishizaki, O., y Rochín-Alamillo, A. (2013). The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California Sur, Mexico, management implications. *Scientia Marina*, 77(3), 473–487. <https://doi.org/10.3989/scimar.03817.05A>
- Ramírez-Rodríguez, M. 2013. *Especies de Interés Pesquero en el Pacífico mexicano: Nombres y Claves para su registro*. La Paz. Recuperado el día 24 de noviembre de Cicimar, de <https://catalogo.cicimar.ipn.mx/documentacion.php>
- Ramírez-Rodríguez, M., López-Ferreira, C., y Hernández-Herrera, A. 2006a. *Atlas de localidades pesqueras de Baja California, Baja California Sur y Sonora*. La Paz, México. Recuperado de <https://catalogo.cicimar.ipn.mx/documentacion.php>
- Ramírez-Rodríguez, M., López-Ferreira, C., y Hernández-Herrera, A. 2006b. *Atlas de localidades pesqueras de Sinaloa y Nayarit*. La Paz. Recuperado de <https://catalogo.cicimar.ipn.mx/documentacion.php>
- Reardon, M., Márquez, F., Trejo, T., y Clarke, S. C. 2009. *Alopias pelagicus*. UICN Lista Roja de Especies Amenazadas. Recuperado el día 16 de noviembre de 2019 de (<https://www.iucnredlist.org/>), de <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T161597A5460720.en>
- Rigby, C. L., Dulvy, N. K., Carlson, J., Fernando, D., Forham, S., Jabado, R. W., y Winker, H. 2019. Scalloped Hammerhead (*Sphyrna lewini*). UICN Lista Roja de Especies Amenazadas. Recuperado el día 16 de noviembre de 2019, de (<https://www.iucnredlist.org/>)
- Rigby, C. L., Sherman, C. S., Chin, A., y Simpfendorfer, C. A. 2017. *Carcharhinus falciformis*. UICN Lista Roja de Especies Amenazadas. Recuperado el día 16 de noviembre de 2019, de, <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T39370A117721799.en>
- Ripa, P., y Marinone, S. G. 1989. Seasonal variability of temperature, salinity, velocity, vorticity and sea level in the central Gulf of California, as inferred from historical data. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 115(488), 887–913. <https://doi.org/10.1002/qj.49711548807>
- Ruiz, C., Arauz, R., Pérez-Jiménez, J. C., Castillo-Géniz, J. L., y Soriano-Velázquez, S. R. 2009. *Nasolamia velox*. UICN Lista Roja de Especies Amenazadas. Recuperado el día 16 de noviembre de 2019, de (<https://www.iucnredlist.org/>), de <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T161355A5405297.en>
- Saldaña-Ruiz, L. E. 2017. *The artisanal shark fishery in the Gulf of California: Historical catch reconstruction and vulnerability of shark species to the fishery*. Tesis de doctorado. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. Ensenada, México. 72 pp.
- Saldaña-Ruiz, L. E., García-Rodríguez, E., Pérez-Jiménez, J. C., Tovar-Ávila, J., y Rivera-Téllez, E. 2019. Biodiversity and conservation of sharks in Pacific Mexico. En: S. Larson y D. Lowry (Eds.), *Advance in Marine Biology: Sharks in Mexico, Research and Conservation Part A*. (Primera Ed., Vol. 83). Academic Press. 12-60 pp.
- Saldaña-Ruiz, L. E., Sosa-Nishizaki, O., y Cartamil, D. 2017. Historical reconstruction of Gulf of California shark fishery landings and species composition, 1939–2014, in a data-poor fishery context. *Fisheries Research*, 195, 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.07.011>

- Salomón-Aguilar, C., Villavicencio-Garáyzar, C. J., y Reyes Bonilla, H. 2009. Shark breeding grounds and seasons in the Gulf of California: Fishery management and conservation strategy. *Ciencias Marinas*, 35(4), 369–388.
- Santana-Morales, O., Castillo-Géniz, J. L., Sosa-Nishizaki, O., y Rodríguez-Medráno, C. 2004. *Catálogo de tiburones, rayas y quimeras (Chondrichthyes) que habitan en las aguas del Norte del Golfo de California*. Ensenada, Baja California. Recuperado el día 22 de noviembre de <https://biblioteca.cicese.mx/catalogo/itecnicos/>
- Schlaff, A. M., Heupel, M. R., y Simpfendorfer, C. A. 2014. Influence of environmental factors on shark and ray movement, behaviour and habitat use: a review. *Rev. Fish Biol. Fisheries*, 24, 1089–1103. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9364-8>
- Schwartzlose, R. A., Álvarez-Millán, D., y Brueggeman, P. 1992. *Gulf of California: Bibliography of Marine Sciences*. San Diego. Recuperado de <https://escholarship.org/uc/item/2973x3tq>
- SEMARNAT. 2006. *Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California*. Ciudad de México, México: *Diario Oficial de la Federación* publicado el día 29 de noviembre de 2006.
- SEMARNAT. 2018. *Programa de acción para la conservación de las especies tiburones y rayas*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 48 pp.
- Shepard-Espinoza, C., y Danemann, G. D. 2008. Reseña histórica. En: G. Danemann y E. Ezcurra (Eds.), *Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad. Línea de base 2007* (Primera Ed.). Distrito Federal: Instituto Nacional de Ecología. 740 p.
- Shriner, S. A., Wilson, K. R., y Flather, C. H. 2006. Reserve network based on richness hotspots and representation vary with scale. *Ecological Applications*, 16(5), 1660–1673.
- Simpfendorfer, C.A, y Heupel, M. 2004. Assessing Habitat Use and Movement. En: J. Carrier, J. . Musick, y M. Heithaus (Eds.), *Biology Sharks and their relatives* (Primera Ed.). Danvers, EE.UU. CRC Press. 533–572 pp.
- Simpfendorfer, Colin Ashley, y Burgess, G. H.2009. *Carcharhinus leucas*. UICN Lista Roja de Especies Amenazadas. Recuperado el día 16 de noviembre de 2019, de <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T39372A10187195.en>
- Smith, W., Márquez- Farías, J., y Pérez-Jiménez, J.C. 2009. *Rhizoprionodon longurio*. UICN Lista Roja de Especies Amenazadas. Recuperado el día 16 de noviembre de 2019, de <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009- 2.RLTS.T161662A5475392.en>
- Smith, W. D., Bizzarro, J. J., y Cailliet, G. 2009. The artisanal elasmobranch fishery on the east coast of Baja California, Mexico: Characteristics and management considerations. *Ciencias Marinas*, 35(2), 209–236.
- Sosa-Nishizaki, O., García-Rodríguez, E., Morales-Portillo, C., Pérez-Jiménez, J. C., Rodríguez-Medráno, C., Bizzarro, J. J., y Castillo-Géniz, L. 2020. Fisheries interactions and the challenges for target and nontargeted take on shark conservation in the Mexican Pacific. En D. Lowry y S. Larson (Eds.), *Advance in Marine Biology: Sharks in Mexico, Research and Conservation Part B*. (Primera Ed, Vol. 85). London, UK: Academic Press. 39–69 pp.

- Sosa-Nishizaki, Oscar, Márquez-Farías, F. J., y Villavicencio-Garayzar, J. C. 2008. Case Study: Pelagic Shark Fisheries along the West Coast of Mexico. En: M. D. Camhi, E. K. Pikitch, y E. Babcock (Eds.), *Sharks of the Open Ocean: Biology, Fisheries y Conservation* (Primera Ed., 275–282 pp.). Singapore: Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444302516.ch24>
- Sosa-Nishizaki, Oscar, Saldaña-Ruíz, L.E., Corro-Espinosa, D., Tovar-Ávila, J., Castillo-Géniz, L., Santana-Hernández, H., y Márquez-Farías, J.F. 2014. Estimations of the Shortfin Mako Shark (*Isurus oxyrinchus*) catches by Mexican Pacific fisheries (1976-2013 ). En: *ISC Shark Working Group Workshop del 19-26 Noviembre*. Puerto Vallarta, México. 13 p.
- Stevens, J.D., Bonfil, R., Dulvy, N.K., y Walker, P.A. 2000. The effects of fishing on sharks, rays, and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 57, 476–494. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0724>
- Stobutzki, I., Miller, M. J., Heales, D. S., y Brewer, D. T. 2000. Sustainability of elasmobranchs caught as bycatch in a tropical prawn (shrimp) trawl fishery. *Fishery Bulletin*, 100(4), 800–821.
- Torres-Orozco, E. 1993. *Análisis volumétrico de las masas de agua del golfo de California*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Departamento de Oceanografía Física. Ensenada, Baja California, 80 pp.
- UICN. 2012. *Categorías y criterios de la lista roja de la UICN: Versión 3.1*. (Segunda Ed.). Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: UICN.
- Ulloa, R., Alcantar, N., Torre-Cosío, J., y Bourillón, L. 2007. *Zonas de Pesca Ribereña de las Cooperativas Pesqueras Afiliadas a la Confederación Nacional Cooperativa Pesquera, S.C. de R.L: Golfo de California y Costa Occidental de Baja California Sur*. Guaymas: Comunidad y Biodiversidad A.C y The Nature Conservancy. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3058.5763>
- Ulloa, R., Alvarado, D., Vargas, A., Rivadeneira, M., y Hudson, C. 2008. Propuesta de Regionalización del Sistema Pesquero Ribereño: Golfo de California y costa Occidental de Baja California Sur. Guaymas, México: World Wildlife Fund Inc. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2370.4489>
- Valdez-Ornelas, V. M., Aburto-Oropeza, O., Torreblanca-Ramírez, E., Danemann, G. D., y Vidal-Talamantes, R. 2008. Recursos pesqueros. En: G. Danemann y E. Ezcurra (Eds.), *Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad. Línea de base 2007* (Primera Ed.). Instituto Nacional de Ecología. México. 429–456 pp.
- Villalobos, F., Dobrovolski, R., Provete, D., y Gouveia, S. 2013. Is Rich and Rare the Common Share? Describing Biodiversity Patterns to Inform Conservation Practices for South American Anurans. *PLoS ONE*, 8(2), 1–6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056073>
- Walker, B. W. 1960. The Distribution and Affinities of the Marine Fish Fauna of the Gulf of California. *Systematic Zoology*, 9(3), 123–133.
- Walker, T. I. 2005. Management measures. En: J. A. Musick y R. Bonfil (Eds.), *Management techniques for elasmobranch fisheries* (216–242 pp.). Roma: FAO Fisheries Technical Paper 474.
- Ward-Paige, C. A., Keith, D. M., Worm, B., y Lotze, H. K. 2012. Recovery potential and conservation options for elasmobranchs. *Journal of Fish Biology*, 80, 1844–1869. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03246.x>
- Wilkinson, T. A., Wiken, E., Bezaury-Creel, J., Hourigan, T., Agardy, T., Hermann, H., Janishevski, L., Madden, C., Morgan, L., y Padilla, M. 2009. *Ecorregiones marinas de América del Norte*. Comisión para la Cooperación Ambiental. Montreal, 200 pp.

- Wood, S. 2017. *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. En: J. K. Blitzstein, J. J. Faraway, M. Tanner, y J. Zidek (Eds.). Bristol, Reino Unido: Taylor y Francis. 472 pp.
- WoRMS Editorial Board. 2019. World Register of Marine Species (WoRMS). Recuperado el 5 de marzo de 2020, de <http://www.marinespecies.org>
- Yates, P. M., Tobin, A. J., Heupel, M. R., y Simpfendorfer, C. A. 2016. Benefits of marine protected areas for tropical coastal sharks. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26(6), 1063–1080. <https://doi.org/10.1002/aqc.2616>
- Zeller, D., y Pauly, D. 2016. Catch reconstruction: concepts, methods, and data sources. Recuperado el 24 de noviembre de 2019, de Sea Around Us ([www.seaaroundus.org](http://www.seaaroundus.org)).

## Anexos

### Anexo 1

**Tabla 4.** Identificación de especies con base en el nombre común y la presentación registrada en los avisos de arribo de la captura de tiburones en el golfo de California. Entero (Ent.), Fresco (Fco.), Eviscerado (Desv.) y Descongelado (Desc.).

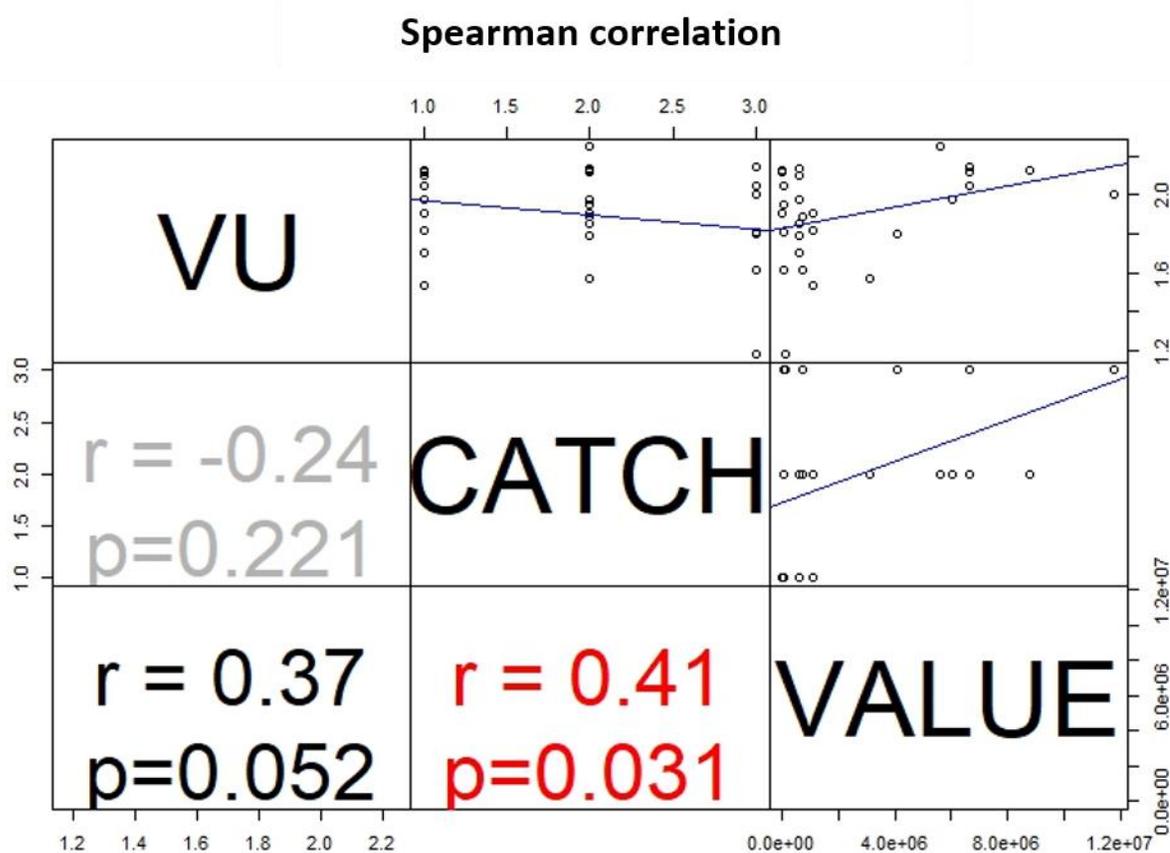
Grupo	Taxón	Nombre común y presentación en los avisos de arribo
1	<i>Alopias spp</i>  <i>Alopias vulpinus</i> (Bonnaterre, 1788) <i>Alopias pelagicus</i> (Nakamura, 1935) <i>Alopias superciliosus</i> (Lowe, 1841)	Tiburón coludo Ent. Fco. Tiburón coludo Desv. Fco. Tiburón coludo Desv. y Desc. Fco. Zorro Ent. Fco. Zorro Desv. Fco. Zorro Desv. y Desc. Fco. Tiburón zorro Ent. Fco. ( <i>Alopias vulpinus</i> ) Tiburón zorro Desv. Fco. ( <i>Alopias vulpinus</i> ) Tiburón zorro Desv. y Desc. Fco. ( <i>Alopias vulpinus</i> ) Tiburón tresher Tiburón coludo
2	<i>Carcharhinus falciformis</i> (Müller y Henle, 1839)	Tiburón sedoso Ent. Fco. Tiburón sedoso Desv. Fco. Tiburón sedoso Tiburón sedoso Desv. y Desc. Fco. Tiburón aleta cartón Desv. Fco. Tiburón aleta cartón Ent. Fco. Tiburón aleta cartón Desv. Y Desc.
3	<i>Carcharhinus leucas</i> (Müller y Henle, 1839)	Toro Ent. Fco. Toro Desv. Fco. Tiburón toro Tiburón chato Ent. Fco. Tiburón chato Desv. Fco. Tiburón chato Desv. y Desc. FCO. Toro Desv. Y Desc. Fco. Tiburón chato Tiburón batea Ent. Fco. Tiburón batea
4	<i>Carcharhinus limbatus</i> (Müller y Henle, 1839)	Grillo Ent. Fco. Grillo Desv. y Desc. Fco. Tiburón grillo Tiburón grillo Desv. Fco.
5	<i>Carcharhinus longimanus</i> (Poey, 1861)	Tiburón aleta blanca Desv. y Desc. Tiburón aleta blanca Ent. Fco. Tiburón aleta blanca Desv. Fco.
6	<i>Carcharhinus porosus</i> (Ranzani, 1839)	Tiburón poroso Desv. Fco. Tiburón poroso Ent. Fco.

7	<p><i>Carcharhinus spp.</i></p> <p><i>Carcharhinus galapagensis</i> (Snodgrass y Heller, 1905)</p> <p><i>Carcharhinus obscurus</i> (Lesueur, 1818)</p>	<p>Sardinero Desv. y Desc. Fco.</p> <p>Sardinero Ent. Fco.</p> <p>Sardinero Desv. Fco.</p> <p>Tiburón sardinero Desv. y Desc. Fco.</p> <p>Tiburón sardinero</p> <p>Tiburón prieto Ent. Fco.</p> <p>Tiburón prieto Desv. Fco.</p> <p>Tiburón prieto Desv. y Desc. Fco.</p> <p>Tiburón prieto</p> <p>Tiburón tunero Ent. Fco.</p> <p>Tiburón tunero Desv. y Desc. Fco.</p> <p>Tiburón tunero</p> <p>Tiburón tunero Desv. y Desc. Fco. (<i>Carcharhinus falciformis</i>)</p> <p>Tiburón tunero Desv. Fco.</p> <p>Tiburón tunero Ent. Fco. (<i>Carcharhinus falciformis</i>)</p> <p>Tiburón tunero Desv. Fco. (<i>Carcharhinus falciformis</i>)</p> <p>Jaquetón Ent. Fco.</p> <p>Tiburón jaquetón</p> <p>Tiburón lobo Ent. Fco.</p> <p>Tiburón lobo</p> <p>Tiburón volador Ent. Fco.</p> <p>Tiburón volador Desv. y Desc. Fco.</p> <p>Tiburón volador Desv. Fco.</p> <p>Tiburón volador</p> <p>Puntinegro Ent. Fco.</p> <p>Isala Ent. Fca.</p> <p>Tiburón colorado Desv. y Desc. Fco.</p> <p>Tiburón colorado Desv. Fco.</p> <p>Tiburón colorado Ent. Fco.</p> <p>Tiburón colorado</p>
8	<p><i>Galeorhinus galeus</i></p>	<p>Tiburón sulfin Desv. y Desc. Fco.</p> <p>Tiburón sulfin Desv. y Desc. Fco.</p> <p>Tiburón sulfin Ent. Fco.</p> <p>Tiburón sulfin Desv. Fco.</p> <p>Tiburón sulfin</p>
9	<p><i>Ginglymostoma cirratum</i> (Bonnaterre, 1788)</p>	<p>Gata Desv. Fca.</p> <p>Gata Desv. y Desc. Fca.</p> <p>Gata Ent. Fca.</p> <p>Tiburón gata</p> <p>Gata manchada Ent. Fca.</p> <p>Tiburón gata manchada"</p>
10	<p><i>Isurus oxyrinchus</i> (Rafinesque, 1810)</p>	<p>Tiburón mako Desv. y Desc. Fco.</p> <p>Tiburón mako Desv. Fco.</p> <p>Tiburón mako Ent. Fco.</p> <p>Tiburón mako</p>
11	<p><i>Mustelus spp</i></p> <p><i>Mustelus californicus</i> (Gill, 1864)</p>	<p>Tripa Desc. y Desv. Fca.</p> <p>Tripa Ent. Fca.</p> <p>Tripa Desv. Fca.</p>

	<i>Mustelus henlei</i> (Gill, 1863)	Tiburón tripa Tiburón mamón Ent. Fco. Tiburón mamón Desv. Fco. Tiburón mamón Desv. y Desc. Fco. Tiburón mamón
12	<i>Nasolamia velox</i> (Gilbert, 1898)	Tiburón coyote Desv. y Desc. Fco. Tiburón coyote Desv. Fco. Tiburón coyote Ent. Fco. Tiburón coyote
13	<i>Negaprion brevirostris</i> (Poey, 1868)	Tiburón limón Ent. Fco. Tiburón limón Desv. Fco. Tiburón limón Tiburón limón Desv. y Desc. Fco. Tiburón encerado Ent. Fco. Tiburón amarillo Desv. y Desc. Fco. Tiburón amarillo Ent. Fco. Tiburón amarillo Desv. Fco. Galano Ent. Fco. Cazón limón Desv. y Desc. Fco. Cazón limón Desv. Fco.
14	<i>Rhizoprionodon longurio</i> (Jordan y Gilbert, 1882)	Cazón de ley Desv. Fco. Bironche Ent. Fco. Bironche Desv. Y Desc. Fco. Tiburón bironche
15	<i>Sphyrna spp</i>  <i>Sphyrna zygaena</i> (Linnaeus, 1758) <i>Sphyrna lewini</i> (Griffith y Smith, 1834)	Cornuda Desv. Fca. Cornuda Desv. Y Desc. Fca. Cornuda Ent. Fca. Tiburón cornuda Tiburón martillo Ent. Fco. Tiburón martillo Desv. Fco. Tiburón martillo Desv. Y Desc. Fco. Tiburón martillo Pez martillo Ent. Fco. Cabeza de pala Ent. Fca.
16	<i>Squalus acanthias</i>	Tiburón espinozo Desv. Fco. Tiburón espinozo Ent. Fco. Tiburón espinozo Desv. Y Desc. Fco. Tiburón espinozo
17	<i>Squatina californica</i> (Ayres, 1859)	Angelito Desv. Fco. Angelito Desv. Y Desc. Fco. Angelito Ent. Fco. Tiburón angelito Desv. Y Desc. Fco. Tiburón angelito Desv. Fco. Tiburón angelito Ent. Fco. Tiburón angelito
18	<i>Triakis semifasciata</i> (Girard, 1855)	Tiburón rayado Ent. Fco. Tiburón rayado Tiburón leopardo Ent. Fco.
	<i>Galeocerdo cuvier</i> (Péron y Lesueur, 1822)	Tiburón tigre Tiburón tigre Ent. Fco.

		Tiburón tigre Desv. Y Desc. Fco. Tiburón tigre Desv. Fco.
20	nd	Tiburón Desv. Y Desc. Fco. Tiburón Ent. Fco. Tiburón Desv. Fco. Tiburón Tiburón picudo Ent. Fco. Tiburón picudo Desv. y Desc. Fco. Tiburón picudo Desv. Fco. Tiburón picudo Tiburón mayo Ent. Fco. Tiburón mayo Desv. Fco. Tiburón mayo Desv. y Desc. Fco. Tiburón mayo Tintorera Desv. y Desc. Fca. Tintorera Ent. Fca. Tintorera Desc. Fca. Tiburón tintorera

## Anexo 2



**Figura 28.** Prueba de Spearman para estimar la correlación entre criterios para priorizar pesquerías de tiburón en el golfo de California. Valores de  $\rho \geq 0.30$  indican correlación alta entre criterios, mientras que valores de  $\rho < 0.30$  indican correlación baja, el nivel de significancia estadística es al 95% de confianza ( $\alpha \geq 0.05$ ).