



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

Distribución de hembras gestantes del tiburón azul *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) en la pesquería de mediana altura en la región noroeste del Pacífico Mexicano.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A :

Claudia Erika Alcalá Molina



DIRECTOR DE TESIS:  
M. en C. Sergio Aburto Castañeda  
2017

CD.MX



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO

Contenido.....	2
Resumen.....	4
Introducción.....	4
Marco de Referencia.....	6
Biología de la especie.....	6
Influencia de la temperatura sobre los tiburones.....	8
Distribución.....	9
Métodos de pesca de tiburón azul.....	11
Marco jurídico.....	15
Zona Económica Exclusiva de México y Mar Territorial.....	16
Pacífico Mexicano.....	17
Justificación.....	19
Objetivos.....	20
Materiales y Métodos.....	20
Análisis gráfico trimestral de capturas por lance de hembras gestantes y temperatura.....	25
Análisis exploratorios con suavizadores gráficos.....	25
Modelos estadísticos.....	25
Planteamiento de modelos GAM.....	26
Resultados.....	28
Análisis gráfico trimestral de capturas por lance de hembras gestantes y temperatura.....	28
Modelo general en función de la distancia a la costa.....	32
Análisis exploratorio con suavizador gráfico.....	32
Selección del mejor modelo GAM.....	33
Modelo en función de la distancia a la costa y el trimestre, con efecto de interacción.....	37
Resultados del modelo GAM binomial negativo en función de la distancia a la costa, trimestre y efecto de interacción.....	38
Discusión.....	44
Conclusiones.....	48

Proyecciones .....	49
Literatura citada .....	51
Anexo 1.....	57

## Resumen

El tiburón azul se encuentra entre las 39 especies de tiburón más capturadas y más importantes tanto en el sector pesquero como económico en zonas oceánicas del Pacífico mexicano. Para este trabajo se analizaron las capturas con palangre de hembras gestantes de esta especie para los años 2006, 2007, 2008 y 2010 de las bases de datos pertenecientes al Programa de Observadores Científicos de Tiburón que lleva al cabo el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA). Se analizó la captura de hembras gestantes (fase 5), para conocer la relación que tienen con la distancia a la costa y el trimestre en el cual fueron capturadas, pues si se conocen las zonas de captura se pueden tomar medidas para proteger a las hembras gestantes y con esto fomentar la preservación de la especie y que se proteja el nacimiento de más crías. Se encontró que el periodo de veda establecido no protege a las hembras gestantes de tiburón azul, ya que fue instaurada para los meses de mayo a julio, mientras que la mayor captura por lance fue registrada para el otoño, por lo cual se sugiere revisar y complementar la veda, con la finalidad de contribuir a conservar esta especie, protegiendo a las hembras gestantes en el otoño, particularmente en una zona de alta agregación ubicada al norte de las Islas Revillagigedo y al suroeste de Baja California Sur.

## Introducción

El tiburón azul, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), pertenece a la familia Carcharhinidae, es un elasmobranquio oceánico de distribución cosmopolita en aguas templadas y tropicales. Una de las áreas de distribución considerada importante para el ciclo reproductivo de *P. glauca* es el Pacífico Tropical Mexicano (Vögler *et al.*, 2012) destacando tres zonas reproductivas de esta especie: Golfo de Tehuantepec, Golfo de California y Costa Occidental de la Península de Baja California (Soriano-Velásquez *et al.*, 2003-2004). En estudios previos se plantea que las hembras gestantes presentan mayor abundancia en mayo y julio (primavera-verano) durante la época de apareamiento, generando una segregación tanto sexual como por talla, ya que los machos se distribuyen en otras zonas, mientras que comparten algunas zonas de distribución con hembras juveniles (Cruz-Ramírez, 2007).

La distribución del tiburón azul, puede verse afectada por la pesca dirigida e incidental que se realiza en el país, ya que es una especie susceptible a la sobreexplotación, pues los tiburones en general tienen una fase de maduración tardía y periodos de gestación largos (Holden, 1974). Conocer y analizar la presencia de tiburón azul, particularmente la presencia de las hembras y hembras gestantes en el Pacífico Mexicano, por medio de bases de datos obtenidas por el Programa de Observadores Científicos de Tiburón que lleva al cabo el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA), ayuda a entender la variación espacial y temporal de la especie, así como determinar la presencia de individuos con respecto a la distancia a la costa para analizar si las normas y leyes establecidas hoy en día sustentan una pesca responsable que no merme la presencia del recurso. En caso de no ser así se pueden proponer alternativas complementarias para zonas y periodos de veda según los resultados del análisis de capturas de estos organismos.

La selectividad de ciertos métodos de pesca depende de su capacidad de capturar la especie deseada (objeto de la pesca) y las tallas de peces de una variedad de organismos presentes en el área donde se desarrolla la pesca. La ordenación pesquera incluye diferentes medidas de clasificación; entre éstas se encuentran las regulaciones sobre artes de pesca para lograr la meta global de un rendimiento sostenible en las pesquerías (FAO, 2014). Las artes de pesca y las características biológicas repercuten en la probabilidad de captura de una especie. Los organismos pelágicos y semipelágicos que nadan activamente en la columna de agua tienen mayores probabilidades de encontrarse con una red de enmalle o un anzuelo con cebo y, por consiguiente, mayor riesgo de ser capturadas que las especies más lentas (Narváez, 2012). La captura tendería a reducir los tamaños poblacionales y se sabe que las poblaciones pequeñas tienen una mayor probabilidad de extinguirse localmente, producto de problemas demográficos, cambios drásticos de temperatura, falta de alimento y a largo plazo problemas genéticos. Aunado a esto el tiempo generacional del tiburón es largo, lo que complica el panorama en términos de la conservación de las poblaciones (Frankham *et al.*, 2010).

## **MARCO DE REFERENCIA**

### **Biología de la especie**

El tiburón azul, es un pez cartilaginoso de la familia Carcharhinidae (Tabla 1). Presenta un cuerpo delgado y aletas pectorales largas, con coloración dorsal azul índigo, flancos de color azul metálico, y partes inferiores marcadamente blancas. Es una especie relativamente grande, alcanzando 3.83 m de longitud total, con los machos en crecimiento a un tamaño similar al de las hembras (Camhi *et al.*, 2008). Las tallas de madurez para los machos se encuentran entre 1.75 y 2.18 m de longitud total (LT) de entre 4 y 5 años y para las hembras de 1.89 y 2.18 m que corresponden a individuos de entre 5 y 6 años (Nakano, 1994) (Figura 1).

La dieta de los tiburones azules se compone principalmente de organismos pelágicos, peces como la macarela, jurel, sardinas, arenques entre otros, crustáceos, cefalópodos (calamar), pequeños tiburones, cetáceos (posiblemente como carroña) y se tienen registros de algunas aves marinas (Compagno, 1984).

El tiburón azul es el elasmobranquio pelágico más abundante, razón por la cual un gran número de estos organismos es capturado de manera dirigida e incidental en palangres y redes de enmalle a nivel mundial (Camhi *et al.*, 2008). La presencia estacional de hembras con crías en distintos periodos de gestación y de juveniles en las costas proporciona una ventaja para poder desarrollar estrategias de manejo de las pesquerías y preservar la funcionalidad espacio-temporal con periodos de veda y áreas cerradas a la pesca (Vögler *et al.*, 2012).

### **Reproducción**

Los tiburones azules se reproducen por viviparidad placentaria. La gestación dura de 9 a 12 meses, con un promedio para el tamaño de la camada de 30 crías (existen registros de hasta 135 crías). El tamaño promedio al nacer suele ser 0.35-0.50 m de longitud total (Nakano, 1994).

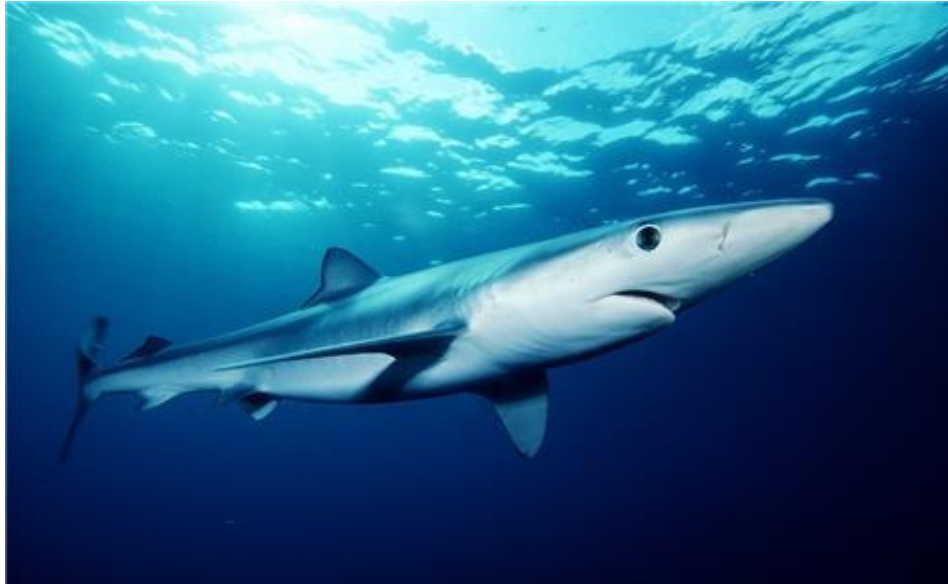


Figura. 1. Fotografía de tiburón azul (*Prionace glauca*) en la que se observa el cuerpo alargado, aletas pectorales largas, primer aleta dorsal corta, cola heterocerca, cabeza alargada y ojos grandes característicos (Tomada de NOAA, 2014, Mark Collin.).

**Tabla 1. Clasificación taxonómica de *Prionace glauca*.** (Compagno, L.J.V. 1973).

Clasificación
Reino Animalia
Subreino Bilateria
Infrareino Deuterostomia
Filo Chordata
Subfilo Vertebrata
Infrafilo Gnathostomata
Superclase Chondrichthyes
Clase Chondrichthyes –peces cartilaginosos, rayas, tiburones, quimeras
Subclase Elasmobranchii – peces cartilaginosos, rayas, tiburones
Superorden Euselachii (tiburones)
Orden Carcharhiniformes
Familia Carcharhinidae (Jordan y Evermann, 1896)
Género <i>Prionace</i> (Cantor, 1849) (genero monotípico)
Especie <i>Prionace glauca</i> (Linnaeus, 1758) – tiburón azul (ITIS, 2014)



## **Influencia de la temperatura sobre los tiburones**

La influencia del ambiente en los recursos pesqueros es un factor que debería ser incluido en los modelos de manejo de la pesca dado que las condiciones ambientales (i.e., temperatura, salinidad, color y turbidez), afectan el éxito de las especies pelágicas (Bigelow *et al.*, 1999). En general, existen dos aspectos importantes que pueden determinar la distribución de los tiburones y las rutas de migración. Uno de ellos es la temperatura superficial del mar (TSM), el otro aspecto, es la variación de la temperatura con respecto a la profundidad oceánica y su dinámica con el movimiento de las masas de agua.

La mayoría de los estudios (Vas, 1990; Gallagher, 2014) utilizan un intervalo limitado de temperatura del ambiente y por lo tanto no incorporan el efecto térmico sobre el metabolismo. La temperatura es una variable clave en el control de la tasa metabólica de los peces ectotérmicos como lo es el tiburón azul. En general, la tasa metabólica de los elasmobranquios ectotérmicos está directamente correlacionada con la temperatura. Por lo tanto, la temperatura está asociada con las demandas energéticas de tiburones que se someten a cambios diurnos y estacionales dentro de un hábitat con temperatura benéfica para los organismos como resultado de sus patrones de movimiento horizontal (geográfico) o vertical (profundidad) (Carrier *et al.*, 2012).

Los factores ambientales pueden influir en la disponibilidad y la vulnerabilidad de peces en una variedad de escalas espacio-temporales. Sin embargo, los modelos de dinámica de los recursos ignoran en gran medida los procesos ambientales (Bigelow, 1999). Por lo tanto, es necesario considerar el efecto de la temperatura sobre la distribución de las especies, ya que a medida que hay cambios graduales o abruptos de ésta, los organismos migran hacia las zonas donde encontrarán más alimento o mejores zonas de reproducción.

Los trabajos realizados en el Océano Atlántico al respecto han denotado que la distribución y los movimientos de los tiburones azules, están fuertemente influenciados por la variación estacional de la temperatura del agua, condición reproductiva, la disponibilidad de presas y el sistema de corrientes del Océano Atlántico (Tavares *et al.*, 2012).

En un estudio realizado en las islas de Hawai entre marzo de 1994 y diciembre de 1997 se estableció que los factores ambientales son determinantes en la distribución de los tiburones, influyendo en su ecología y fisiología (Walsh y Kleiber, 2001). La temperatura podría ejercer

efectos significativos sobre el metabolismo del organismo actuando al menos en dos formas: como factor que lo regula, ejerciendo efectos sobre las demandas energéticas, incluso en una especie ectotérmica como lo es el tiburón azul, como un punto de referencia con respecto a la distribución del tiburón azul, pues tiene un efecto en su comportamiento (por ejemplo, el movimiento a lo largo de gradientes conforme a los cambios estacionales) afectándole directa o indirectamente.

## **Distribución**

El tiburón azul tiene una distribución oceánica extensa en aguas templadas y tropicales, probablemente el intervalo más amplio dentro de los condricios. En el Atlántico Occidental (desde la Isla Terranova hasta Argentina), en el Atlántico Central y en el Atlántico oriental desde Noruega hasta África del Sur, y al Mediterráneo. En el Pacífico Indo-Oeste se localiza desde Sudáfrica y el sur del Mar Arábigo hasta Indonesia, Japón, Australia, Nueva Caledonia y Nueva Zelanda. Se encuentra en el Pacífico Central y en el Pacífico Oriental, desde el Golfo de Alaska hasta Chile (Figura 2) (FAO, 2014).

En el Océano Pacífico Norte el tiburón azul habita en zonas pelágicas (alejadas de la costa) y en zonas neríticas (cerca de la costa) entre los 4° y los 37° N y entre los 104° a los 157° O, con un intervalo de temperatura de 14°C a 27°C (Holts *et al.*, 2001); prefiriendo aquellas entre 7°C y 16°C (Compagno, 1984; Cruz-Ramírez *et al.*, 2007), aunque también se encuentra en grandes agrupaciones entre los 80 y los 200 metros de profundidad a temperaturas de entre los 11.2°C y hasta los 27.7 °C (Gubanov, & Grigor'yev, 1975). El tiburón azul realiza grandes y numerosas migraciones de hasta 4,445 kilómetros. Dentro de sus patrones migratorios, se pueden identificar las siguientes áreas: alimentación de adultos, de reproducción y aquellas exclusivas para la crianza, lo cual contribuye a evitar el canibalismo (Castro, 1992).

## **Segregación por talla y sexo**

Los tiburones generalmente se encuentran caracterizados por una organización espacial compleja de sus poblaciones resultado de intercambios benéficos entre los componentes de su historia de vida como lo son las interacciones sociales y ambientales con las que cuentan (Klimley, 1987; Wearmouth, 2008). Esta compleja organización se refleja por la segregación sexual que presentan y la existencia de lugares para eventos clave de su historia de vida, como zonas de alumbramiento,

crianza y apareamiento (Vandeperre, 2014). En el caso del tiburón la presencia de zonas de cría, se considera en general que proporciona a los menores una ventaja, tanto refugio de depredadores como la provisión de alimento abundante, lo que aumenta sus posibilidades de reclutar a la población adulta (Beck *et al.*, 2001).

McKinnell y Seki (1998), también describen la segregación por tamaño y sexo en el Pacífico Norte. La banda entre 35-45° N fue identificada como un área de parto y una banda un poco más ancha que la zona de crianza (68 a 134 cm de longitud total del tiburón azul). Las hembras subadultas (134-199 cm TL) se encuentran típicamente al norte de las zonas de parto mientras que los machos subadultos ocuparon las aguas al sur de las zonas de parto.

Las hembras suelen distribuirse en zonas más cercanas a la costa que los machos cuando están fertilizadas (Litvinov, 2006). Sin embargo, se han encontrado hembras en distintas etapas de gestación en junio (primavera-verano) y hasta octubre (otoño), en aguas de la costa oeste de Baja California Sur y en Colima (Carrera-Fernández *et al.*, 2010). Se sabe que durante los meses de diciembre a febrero (invierno) existe una mayor proporción de juveniles que de hembras adultas sin haber neonatos, lo que puede ser un indicador de que no coinciden las zonas de crianza y de alumbramiento (Cruz-Ramírez *et al.*, 2007).

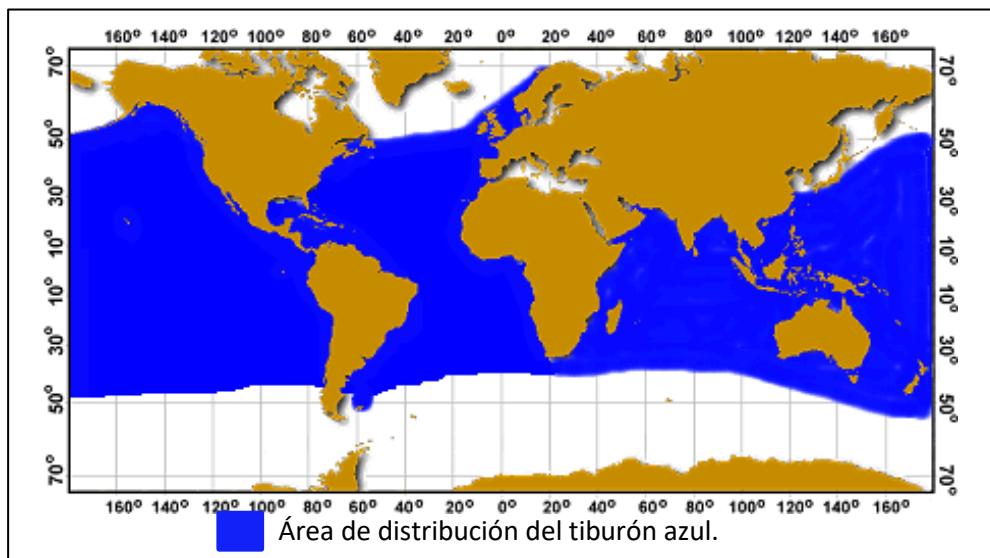


Figura. 2. Distribución de *P. glauca* (FAO, 2014).

## **Métodos de pesca de tiburón azul**

Existen diversos métodos de captura de tiburones, principalmente con palangres y redes de enmalle. Los palangres son artes de pesca tradicionales que han tenido una gran difusión en muchas regiones, sobre todo porque son más eficientes en la captura de especies depredadoras rápidas y altamente migratorias (Galeana *et al.*, 2009).

### **Clasificación de las artes de pesca:**

Las artes de pesca generalmente se clasifican en dos categorías principales: pasivas y activas. Esta clasificación se basa en el comportamiento relativo de la especie objetivo de pesca. En las artes pasivas, la captura de organismos se realiza por un factor de atracción (carnada) la cual incentiva el movimiento de la especie objetivo hacia el arte de pesca, mientras que en las artes activas la captura involucra una persecución dirigida hacia la especie objetivo como arrastres y dragas (FAO, 2014b).

Las artes pasivas son más apropiadas para la pesca a pequeña y mediana escala y por lo tanto, a menudo son el tipo de artes usados en las pesquerías artesanales y de mediana altura (FAO, 2014b). A continuación se describen los dos métodos más utilizados en la captura de tiburón azul, que pertenecen a las artes pasivas.

### **Palangre**

La pesca con palangre se basa en atraer al objetivo, usando carnada en un anzuelo (FAO, 2014). Los palangres están conformados por una línea principal a la cual se fijan líneas secundarias y en los extremos de estas se colocan anzuelos con carnada (Canterla, 1989). Se utilizan para la captura de organismos de tallas grandes, principalmente de organismos pelágicos. La duración del lance comprende doce horas en promedio. El tiempo de operación y la profundidad de trabajo están dados por las preferencias ambientales de la especie objetivo, por ejemplo, por temperatura o lluvias (Gutiérrez-Cabrera, 2012) (Figura 3).

Dependiendo del tipo de pesquería, existen grandes variaciones en los parámetros de las artes, tales como grosor y material de la cuerda principal o los reinales que son las uniones del anzuelo a la línea principal, la distancia entre los anzuelos, así como los tipos de anzuelo y de carnada.

La pesquería de palangre de deriva es de las más utilizadas alrededor del mundo en la captura de pelágicos mayores, principalmente en las especies objetivo que son atunes y picudos. En este tipo de arte, frecuentemente se pescan tiburones oceánicos como una parte muy importante en las capturas (Castillo Géniz *et al.*, 2000).

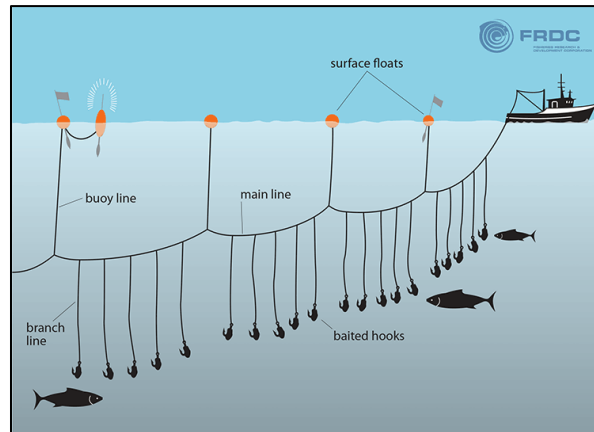


Figura. 3 Ejemplo de pesca con palangre (FRDC, 2014).

### Redes de enmalle o agalleras

Tipo de arte de pesca que se usa en segundo término en casi todas las zonas de pesca (Gutiérrez-Cabrera, 2012). Consta de una línea larga, la cual está constituida por una malla o red de diversas medidas, por la cual pasarán los organismos a través de ella, quedando sujetos de los opérculos (agallas). Casi al amanecer, se cobran las redes, se desenmallan los organismos capturados y se enhielan para su transporte. Las redes se operan generalmente lo más alejado de la costa por lo que los organismos son de tallas y pesos mayores (Gutiérrez-Cabrera, 2012). Este método de pesca quedó prohibido en aguas mexicanas para embarcaciones de altura y mediana altura por la NOM-Pesc-029 en 2009, pues es un arte de pesca que no se dirige a un solo organismo y pone en riesgo la existencia de diversas especies marinas que pueden ser capturadas de manera incidental (DOF, 2009) (Figura 4).

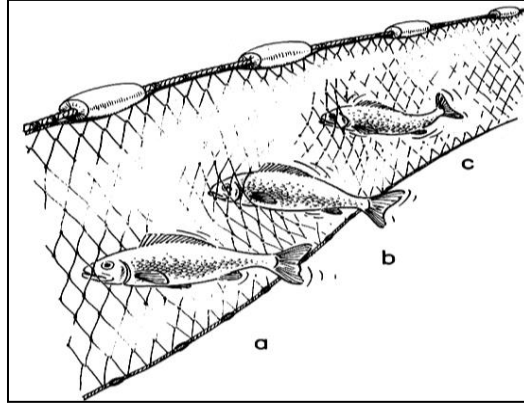


Figura 4. Ejemplo de pesca con red de enmalle (FAO, 2014c).

### Embarcaciones para pesca

Las pesquerías de tiburones son unas de las más importantes en el litoral del Pacífico Mexicano, caracterizadas por ser multiespecíficas, además de generar una gran cantidad de empleos. Las especies que se capturan por lo general son de vida larga, con historias de vida sensibles a la explotación intensa. La captura de las diferentes especies que habitan en la Zona Económica Exclusiva del litoral Pacífico de México se realiza con tres unidades de flota (de gran altura, mediana altura y embarcaciones menores), destacando tres regiones productivas de este recurso: el Golfo de Tehuantepec, Golfo de California y la costa occidental de la Península de Baja California (Soriano-Velásquez *et al.*, 2003 y 2004). Existen algunas reglas para regular la captura de diversas especies dentro del territorio mexicano y están mediada por la legislación y normatividad que especifican tipo de anzuelos, capturas máximas y periodos de veda.

Las embarcaciones que se utilizan en la pesca artesanal menor, están por abajo de los 10 m de eslora de material de fibra de vidrio con motor fuera de borda de 75 y hasta 115 cf, en algunas ocasiones llevan un motor auxiliar de 45 cf. La pesca en embarcaciones de mediana altura tienen una dimensión mayor a los 10 m pero menor a los 27 m de eslora, es el caso de la flota palangrera de Manzanillo que incide principalmente en los tiburones oceánicos. La flota de altura opera en la parte norte del Pacífico Mexicano (de Ensenada, Baja California Sur) (Castillo Géniz *et al.*, 2008).

En la pesquería de Mediana Altura se utilizan embarcaciones de madera o acero con una eslora de 10 a 27 m, con cubierta y sistemas de conservación, uso de apoyos a la navegación y pesca, con

motor estacionario, dotación de 4 a 8 pescadores, autonomía de 4 a 25 días. Operan en zonas marinas. Se permite el uso de un palangre hasta de 1,000 anzuelos con alambrada o cadena de 20 cm; cuando la profundidad de operación de los anzuelos sea menor a 40 m se deberán utilizar anzuelos circulares con un tamaño mínimo de 64 mm de largo por 22 mm de abertura, en el resto del palangre se podrán utilizar anzuelos de cualquier tipo con las dimensiones mínimas anteriores; los palangres deberán llevar un dispositivo de señalización en su extremo libre (DOF, 2010, Carta Nacional Pesquera).

### **Zonas y temporadas de pesca**

Los tiburones son capturados en grandes cantidades y también como especies incidentales en las diversas pesquerías alrededor del mundo; ya sea con redes de cerco en la pesca atunera o palangres de deriva en la pesca de atunes, picudos, así como en la pesca de salmón y calamares. La mayoría de los tiburones oceánicos son altamente migratorios, ello dificulta la información de las capturas para estimar índices de abundancia, biología de las especies, manejo, ordenamiento y conservación. Los tiburones oceánicos son determinados como un recurso frágil, susceptible a la sobreexplotación en comparación con los peces teleósteos (Castillo Géniz *et al.*, 2000). Ya que los tiburones poseen un bajo potencial reproductivo, periodos de gestación largos junto con un crecimiento lento, alcanzan la madurez sexual tardía y tienen ciclos de vida largos. Estas características hacen que presenten una capacidad muy baja para recuperarse a la sobrepesca (Castillo Géniz *et al.*, 2000), por lo que no es posible una pesquería sustentable que ejerce presión de pesca elevada, ya que pone en riesgo la abundancia de la especie objetivo.

En el Océano Pacífico Oriental las especies más frecuentemente capturadas en altamar han sido el tiburón azul, *Prionace glauca*, con 40%, el tiburón sedoso, *Carcharhinus falciformis*, y el tiburón oceánico puntas blancas, *C. longimanus*, ambos con 20%. En el Pacífico Norte de México las principales temporadas de captura del tiburón azul son en octubre-noviembre, cuando realizan su migración hacia el sur y en junio cuando se dirigen al norte. La captura se compone principalmente de individuos juveniles entre los 1 y 1.5 m de longitud total (LT), con edades entre uno y tres años, excepto por el mes de agosto con frecuencia de talla más grande. En el verano la frecuencia de hembras aumenta y en el invierno aumenta la frecuencia de machos. El periodo de nacimientos comprende de marzo a mayo, estimándose una edad de 13 años para la hembra más grande de 2.65 m de LT. En el Pacífico Centro y Sur de México el principal periodo de captura y abundancia comprende de marzo a mayo, en la entrada de la boca del Golfo de California, frente a Mazatlán,

en la parte oceánica alrededor de las Islas Marías, hasta el sureste y noroeste de las Islas Revillagigedo y sureste de Cabo San Lucas, frente a Punta Abreojos al norte de BCS, frente a Manzanillo, Lázaro Cárdenas, Acapulco, Puerto Ángel y sureste del Golfo de Tehuantepec (Castillo Géniz *et al.*, 2000).

La mayor abundancia de hembras preñadas de tiburón azul ocurre a finales de enero hasta abril en Baja California Sur en el océano Pacífico y de marzo a mayo de la boca del Golfo de California a Islas Marías e Islas Revillagigedo. La talla mínima de preñez que se ha observado es de 1.4 m y la mayor frecuencia entre 1.6 y 1.7 m de longitud furcal (LF), cuando alcanzan el 50% de su proporción de preñez. La LF media anual para machos fue de 1.61 m y para hembras de 1.55 m (Castillo Géniz *et al.*, 2000).

## **Marco jurídico**

La legislación, contribuye a proteger los niveles de abundancia de especies que habitan en los mares y propone reglas que deben seguirse para la explotación, que permitan realizar una pesca responsable y sustentable de cualquier especie de manera eficiente. En el caso de los elasmobranquios se establecieron las primeras normas de protección a partir de 2006 en diferentes regiones del territorio nacional. Para 2012 se establecieron periodos de veda y zonas de pesca (DOF, 2012).

La LEY GENERAL DE PESCA Y ACUACULTURA SUSTENTABLES obliga a cumplir diversas reglas a los pescadores, respetar los periodos y zonas de veda para evitar la sobreexplotación y las sanciones en caso de no ser cumplidas algunas de estas disposiciones. Esta ley tiene por objeto: 1) regular, fomentar y administrar el aprovechamiento de los recursos pesqueros y acuícolas en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, 2) promover el mejoramiento de la calidad de vida de los pescadores y acuicultores y establecer las bases para el ordenamiento, conservación, protección, repoblación y el aprovechamiento sustentable de los recursos pesqueros y acuícolas, 3) proteger y rehabilitar los ecosistemas en que se encuentran dichos recursos y 4) fijar normas de regulación del aprovechamiento de los recursos, especies permitidas, o las que se encuentran en veda permanente, volumen máximo permitido de pesca,



restricción por zonas, así como el establecimiento de infracciones y sanciones por incumplimiento o violación de esta ley (DOF, 2015b).

La NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-029-PESC-2006, PESCA RESPONSABLE DE TIBURONES Y RAYAS. ESPECIFICACIONES PARA SU APROVECHAMIENTO aclara qué especies pueden ser pescadas, en qué periodos, por qué tipo de artes y barcos pesqueros. Habla sobre la pesca de tiburones y rayas en México y los beneficios que aporta a la sociedad, con la finalidad de promover un aprovechamiento racional y sustentable que colabore con la conservación de estos organismos, mediante la regulación pesquera. El esfuerzo de captura de tiburón ha aumentado con el paso del tiempo y se ha visto una disminución de las capturas de estos organismos, dadas sus características reproductivas. Es por esto que esta norma regula a los titulares de permisos, concesiones y autorizaciones de pesca de tiburón así como obliga a tener un registro en bitácoras de toda la pesca objetivo e incidental, para tener un control sobre las capturas (DOF 2015a).

Existe también un acuerdo de veda expedido por la SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN que resguarda que los organismos explotados puedan recuperarse y no mermar la existencia de las especies; en el caso del periodo de veda para la protección de todas las especies de tiburones y rayas éste queda establecido en lo que respecta al Océano Pacífico, a partir del día 1o de mayo al 31 de julio de cada año. Este acuerdo fue publicado el 11 de junio de 2012 (DOF, 2012).

### **Zona Económica Exclusiva de México y Mar Territorial**

Con respecto a la soberanía de la Nación para los fines de exploración y explotación de recursos marinos se delimitó el mar territorial, al cual pertenecen las costas nacionales, sean continentales o insulares, como a las Aguas Marinas Interiores las cuales ocupan una franja marina de 22.2 km (DOF. 1986). La Zona Económica Exclusiva (ZEE) de México, es un área situada más allá del mar territorial y adyacente a este y comprende 370.4 km (200 millas náuticas) hacia el océano, a partir de la línea de costa continental e insular (INEGI, 2014) (Figura 5).

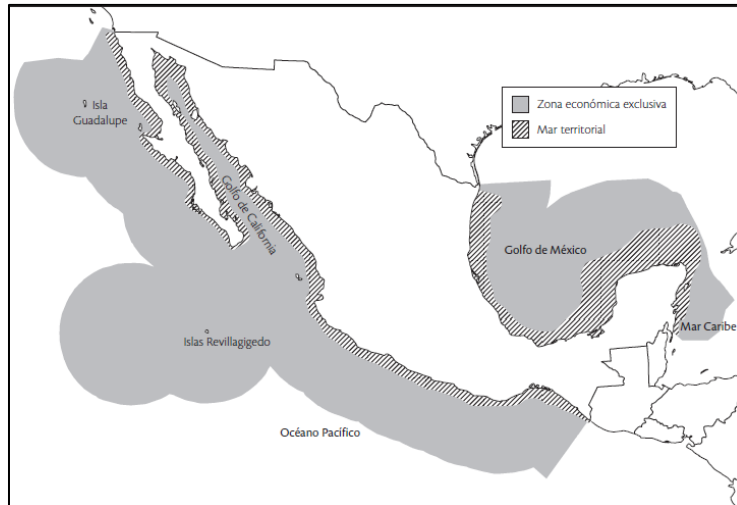


Figura 5. Mapa de la Zona Económica Exclusiva de México (Lara Lara *et al.* 2008).

## Pacífico Mexicano

El Pacífico Mexicano, se encuentra distribuido entre los  $14^{\circ} 32' 11.04''$  N de latitud y los  $32^{\circ} 32' 3.57''$  N de longitud, abarcando la costa occidental de la Península de Baja California, el Golfo de California y el Pacífico Tropical Mexicano. La temperatura promedio anual de las aguas superficiales del Pacífico Mexicano fluctúa de los  $26^{\circ}$  a los  $28^{\circ}\text{C}$ , presentando un incremento hacia la zona ecuatorial. Una característica importante es el aumento de temperatura en esta región de 3 a  $4^{\circ}\text{C}$ , cuando las aguas superficiales subtropicales ingresan al Golfo de Tehuantepec.

La regionalización de la parte marina del Pacífico Mexicano se ha realizado con base en múltiples criterios, tanto por razones biológicas como por simplificación administrativa. Esta clasificación divide al Pacífico Mexicano, según su oceanografía en tres grandes regiones: 1) Costa occidental de Baja California, que comprende la costa occidental de la Península de Baja California, hasta Cabo San Lucas; 2) Golfo de California, se limita al sur por el polígono formado por Cabo San Lucas y Cabo Corrientes y 3) El Pacífico Tropical Mexicano que va de Cabo Corrientes a la frontera con Guatemala (De la Lanza, 1991) (Figura 6).



Figura 6. Regiones oceanográficas del Pacífico Mexicano. (Conabio, 2003).

Con respecto a la división oceanográfica del Pacífico Mexicano, éste tiene la presencia de diversas corrientes, que generan cambios en la temperatura del mar, favorecen el aporte de nutrientes, y contribuyen con la migración de diversas especies. El Pacífico Mexicano se ubica en el Pacífico Oriental Tropical (POT). En esta zona del Pacífico se presentan la Corriente de California (CC) y la Corriente Norecuatorial (CNE). También la Corriente Costera de Costa Rica (CCC), va de sur a norte del Pacífico Mexicano de julio a diciembre. La CCC procede de la zona frente al domo de Costa Rica, corre a lo largo de la costa de Centro América y de México hasta llegar a Cabo Corrientes, alejándose de la costera una vez que pasa el Golfo de Tehuantepec y se incorpora poco a poco a la CNE. Estas corrientes de acuerdo a la época estacional y al clima según la geografía, presentan condiciones complejas y variables que pueden modificar la distribución y dispersión de los recursos pesqueros (Castillo Géniz *et al.*, 2008) (Figura 7).



Figura 7. Principales corrientes del Pacífico Mexicano (Tomado de Fernández *et al.*, 1993).

## JUSTIFICACIÓN

Si bien ya se conoce un poco acerca de la distribución de tiburón azul en el noroeste del Pacífico Mexicano, no se posee información concluyente sobre la captura de hembras gestantes (fase 5) de *P. glauca* dentro de esta zona y cómo repercute dicha captura en la distribución y abundancia de estos organismos (Mace y Lande, 1991). Conocer un poco más acerca de las zonas con presencia de hembras gestantes en el Pacífico Mexicano, ayudaría a la protección de la especie, pues no sólo se resguardaría a las hembras, sino que se protegería a las futuras crías. Tanto la distribución como la abundancia son determinantes para el estado de conservación de las especies y son la guía para determinar el grado de amenaza al que se que enfrentan en el marco de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, Mace y Lande, 1991). Haciendo necesario el estudio de la distribución espacio-temporal de las capturas de hembras gestantes, considerando factores abióticos tales como lo es la temperatura y distancia a la costa, para contribuir a establecer las implicaciones en el manejo de una pesca responsable y sostenible en la zona.

## OBJETIVOS

- Determinar la distribución espacio-temporal de hembras gestantes de tiburón azul *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) con base en las capturas de pesquerías de mediana altura en la región noroeste del Pacífico Mexicano.
- Analizar la relación entre la distribución de hembras gestantes del tiburón azul y la temperatura superficial marina de forma estacional (por trimestre).
- Analizar la distribución de las capturas de hembras gestantes de tiburón azul con relación a la distancia de las costas del Pacífico Mexicano, en forma estacional (por trimestre).
- Analizar si las zonas y periodos de veda vigentes, según lo establecido por la NOM-029-PESC-2006 y el acuerdo de veda establecido a partir del 11 de junio de 2012, protegen correctamente a las hembras gestantes de tiburón azul en el Pacífico Mexicano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio Noroeste del Pacífico Mexicano

La zona de estudio está delimitada por la costa y las coordenadas geográficas máximas y mínimas de los lances de pesca de palangre analizados, que se localizan entre las longitudes  $-123.125^{\circ}$  a  $-102.125^{\circ}$  y entre las latitudes  $14.125^{\circ}$  a  $32.125^{\circ}$  (Figura 8 y 9).

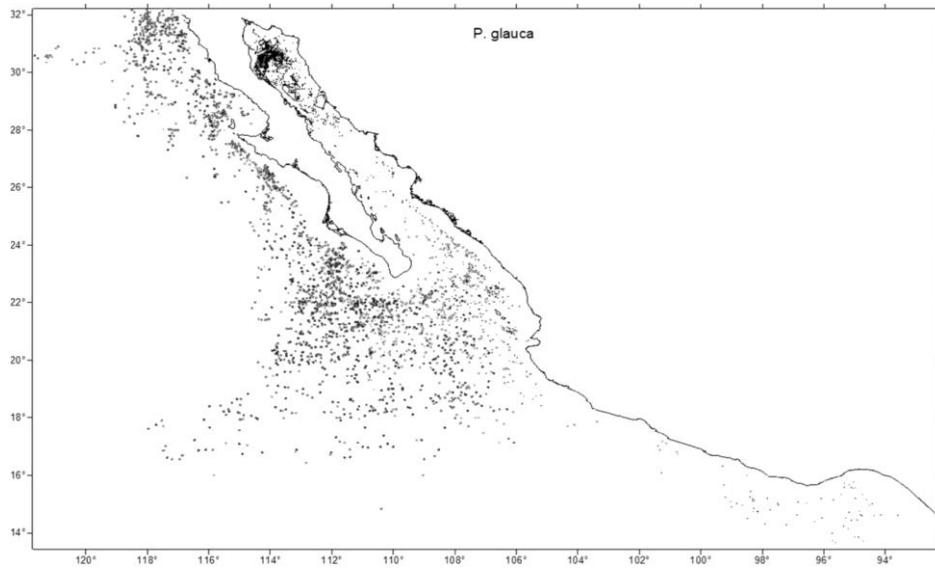


Figura 8. Localización de lances de pesca con captura de tiburón azul para 2006, 2007 y 2008.

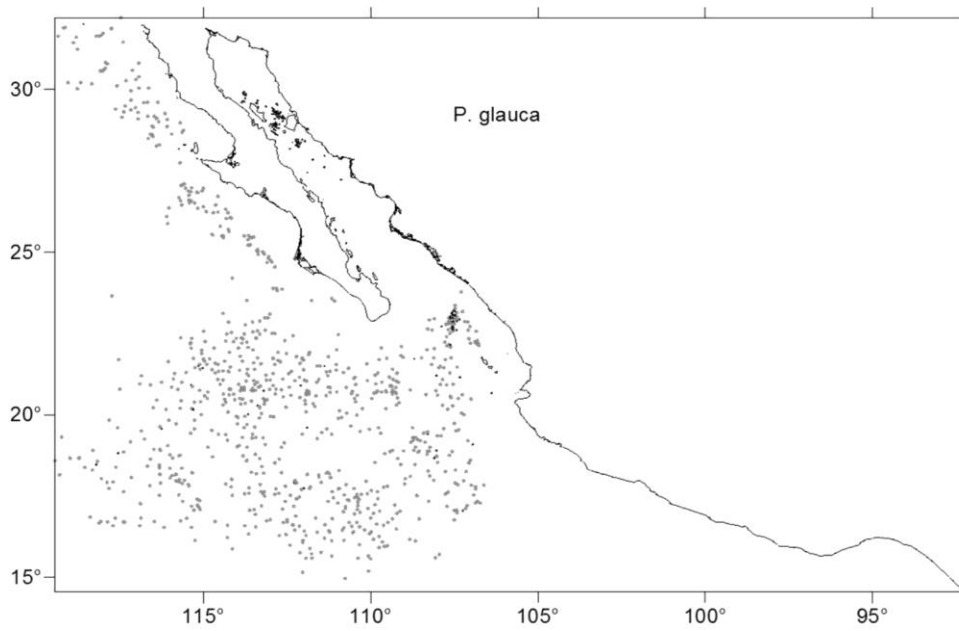


Figura 9. Localización de lances de pesca con captura tiburón azul para 2010.

## Bases de datos pesqueros

Los datos de captura de tiburón azul utilizados provienen del Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA/SAGARPA: <http://www.gob.mx/inapesca/>), a través del Programa de Observadores Científicos de Tiburón en el Pacífico Mexicano, financiado por el Fideicomiso de Investigación para el Desarrollo del Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y Protección de Delfines y Otros en torno a Especies Acuáticas Protegidas (FIDEMAR: <http://www.fidemar.org/>). Este programa de observadores inició sus operaciones regularmente en junio de 2006.

Las bases de datos de tiburón azul para el presente trabajo, están conformadas por los años 2006 a 2008 y 2010, ya que éstos son los años previos a la aplicación de un periodo de veda. En 2009 el Programa de Observadores a Bordo no operó en las flotas tiburoneras-espaderas del Pacífico noroeste por razones administrativas.

Para realizar la colecta de la información acerca de las capturas de *P. glauca*, los observadores van a bordo de las embarcaciones de la flota tiburonera-espadera del Pacífico Mexicano, llevan formatos de campo en los cuales se registran los datos sobre cada viaje. Los formatos de campo contienen, entre otros datos; el número de viaje, número de lance, fecha, registro de la hora de inicio, fin del calado y cobrado del lance de pesca, coordenadas de inicio y de término, el arte de pesca utilizado, las especies capturadas y aspectos biológicos como el sexo y estado reproductivo de los ejemplares, se incluyen formatos de campo en el Anexo 1. Posteriormente todos estos registros se capturaron en bases de datos digitales para su revisión, validación, almacenamiento y posterior uso (Tabla 2).

Tabla 2. Descripción de los campos que componen la base de datos utilizados en este trabajo:

<b>Campo</b>	<b>Descripción</b>
No	Número de registro
Día	Día de la captura
Mes	Mes de la captura
Year	Año de la captura
Viaje	Número del viaje
Lance	Número de lance
SST	Temperatura superficial del mar (obtenida posteriormente por satélite)
ARTE	Arte de pesca
HORAICA	Hora de inicio del calado
LONINCA	Longitud de inicio del calado

LATINCA	Latitud de inicio del calado
LONFINCA	Longitud final del calado
HORAFCA	Hora de fin del calado
LATFINCA	Latitud final del calado
P. glauca	Número de organismos de la especie
Sexo	Sexo de cada ejemplar muestreado
mad	Fase de madurez reproductiva del organismo

Variables consideradas en el estudio

Las variables a analizar en la presente investigación se dividen en 3 grupos que son: variables biológico-pesqueras, ambientales y temporales (Figura 10).

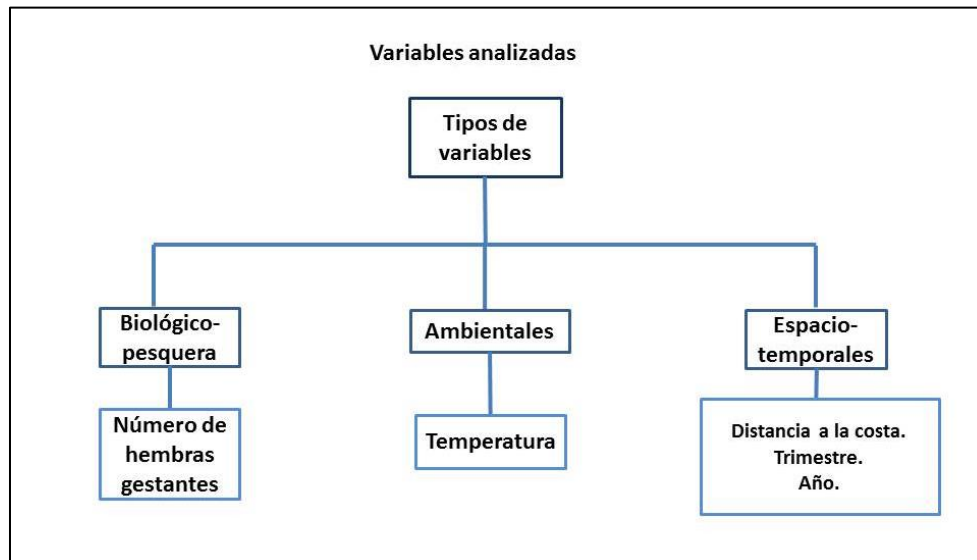


Figura 10. Variables analizadas, según su clasificación.

Variable biológico-pesquera

La variable biológico-pesquera, es el número de hembras gestantes (fase 5 en la escala de madurez), capturadas por lance durante los años 2006 al 2008 y 2010.

Variable ambiental

Se tomó en cuenta la temperatura superficial del mar (TSM) de manera exploratoria, esto con la finalidad de conocer si existe en forma gráfica, una correlación trimestral por año entre la



temperatura superficial del mar y la captura por lance de las hembras en período de gestación, en la zona del Noroeste del Pacífico Mexicano. Para lo anterior, se elaboraron gráficas que muestran la distribución de las capturas por lance de hembras grávidas (lances con y sin captura) y se calcularon sus promedios, en los trimestres disponibles de cada año (no todos los años cuentan con lances observados de los 4 trimestres). Asimismo, se promediaron los valores de TSM correspondientes a todos los lances observados por trimestre.

La obtención de los datos de temperatura se realizó mediante la página ERDDAP de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S.A.) de acceso gratuito (<http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>). Los datos provienen de análisis de alta resolución de la TSM y son producidos con una resolución temporal diaria y espacial equiangular de 0.25 grados (en longitud y latitud). Esta resolución geográfica resulta adecuada en caso de requerir relacionar la TSM con lances de pesca individuales, que habitualmente cubren distancias en el orden de decenas de millas náuticas.

Este producto emplea una técnica de interpolación óptima, la cual interpola y extrapola las observaciones de TSM obtenidas de diferentes fuentes, dando como resultado un campo suavizado completo, sin valores faltantes. Las fuentes de datos son los Radiómetros Avanzados de muy Alta Resolución (AVHRR, por sus siglas en inglés), a bordo de distintos satélites, así como plataformas de observación *in situ* (buques y boyas). Una vez obtenidos los datos de temperatura, se unieron a la base de datos completa, por medio del lenguaje y ambiente de cómputo R, versión 3.3.2 (R Core Team, 2016).

#### Variables espacio-temporales

En esta investigación se incluyeron en los análisis la distancia más corta a la costa continental y el trimestre en que se realizaron los lances de pesca. La distancia a la costa se calculó mediante el método propuesto por Sparre y Venema (1997, pág 351). Se modelaron las capturas de hembras gestantes de tiburón azul, para conocer la relación con la distancia a la costa en la que se encuentran y las zonas donde se localizan o concentran por trimestre, así como la incidencia en las zonas en los periodos de veda establecidos.

## **Análisis gráfico trimestral de capturas por lance de hembras gestantes y temperatura**

Utilizando el programa Surfer 13 se realizaron gráficas utilizando el método de krigaje que ayuda con la interpolación de las isóclinas en función de los datos.

### **Análisis exploratorios con suavizadores gráficos**

Con respecto a la relación entre la captura por lance y la distancia a la costa, antes de aplicar algún modelo GAM se realizaron análisis exploratorios previos, mediante suavizadores gráficos, con el propósito de observar la existencia de alguna tendencia general.

Lo anterior se realizó con un suavizador lowess (locally weighted scatterplot smoother), para gráficas de dispersión, el cual consiste en una regresión polinomial ponderada localmente (locally weighted polynomial regression). Produce estimaciones locales de la variable de respuesta (hembras gestantes por lance), en intervalos sucesivos de la variable predictor (distancia de la costa), delimitados por "nudos" (knots). Cuando todas esas estimaciones puntuales se unen con una línea continua, se obtiene una estimación gráfica de la tendencia media de la relación (Fridley, 2017).

### **Modelos estadísticos**

Los Modelos Aditivos Generalizados (GAM por sus siglas en inglés), propuestos por Hastie y Tibshirani (1990), son extensiones semi-paramétricas de los modelos lineales generalizados (GLM, por sus siglas en inglés, propuestos por Nelder y Wedderburn en 1972). En el análisis de GAM la única suposición subyacente hecha es que las funciones son aditivas y que los componentes son suavizados. Un GAM, como un GLM, utiliza una función de enlace para establecer una relación entre la media de la variable de respuesta y una función de 'suavizado' de las variables explicativas. La fuerza de los GAM es su capacidad para hacer frente a relaciones no lineales y no monotónicas entre la respuesta y el conjunto de variables explicativas. Un suavizador describe la tendencia media de la variable de respuesta, por medio de una curva definida por segmentos con base en polinomios. Las funciones que producen estas curvas de suavizamiento se denominan "splines". Los datos determinan la naturaleza de la relación entre la respuesta y el conjunto de

variables explicativas en lugar de asumir algún tipo de relación paramétrica o lineal (Guisan *et al.*, 2002).

Criterio de Información de Akaike

Criterio de información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés), combina la teoría de máxima verosimilitud, información teórica y la entropía de información y es definido por la siguiente ecuación:

$$AIC = -2 * \log Lik + 2K$$

Este criterio tiene en cuenta los cambios en la bondad de ajuste y las diferencias en el número de parámetros entre dos modelos. Los mejores modelos son aquellos que presentaron el menor valor de AIC. El método le permite determinar qué modelo es más probable que sea correcto y cuantificar cuánto más probable. A diferencia de la prueba F, que sólo puede utilizarse para comparar modelos anidados, el método de Akaike puede utilizarse para comparar modelos anidados o no anidados (Motulsky-Christopoulos, 2003).

## **Planteamiento de modelos GAM**

### **Modelo inicial de captura en función de la distancia a la costa**

El modelo GAM general para analizar el número de hembras gestantes solamente en función de un suavizador de la distancia a la costa, tuvo los siguientes planteamientos alternativos:

```
gam(NoFV ~ s(Dist), family= poisson)
```

```
gam(NoFV ~ s(Dist), family= negbin(c(0.1,1)), optimizer="perf")
```

Dónde:

gam() es la función que produce el ajuste del modelo a los datos.

NoFV es la variable de respuesta del modelo, que representa el Número de hembras gestantes (fase 5) por lance.

s(Dist) es la función de suavizamiento de la distancia al punto más cercano de la costa.

family= establece la estructura del error residual aleatorio como tipo Poisson o binomial negativa [negbin()], en ambos casos con función de enlace logarítmica (por default).

$c(0.1,1)$  acota un intervalo donde buscar el valor óptimo del parámetro adicional ("theta") de la distribución de error binomial negativa.

`optimizer="perf"` define un procedimiento ("performance") para optimizar el valor del parámetro adicional "theta".

### **Modelo definido en función de la distancia a la costa, trimestre y su efecto mutuo de interacción.**

El análisis del número de hembras preñadas en función de la distancia a la costa, el trimestre y un efecto de interacción entre ambos, tuvo los siguientes planteamientos alternativos:

```
gam(NoFV ~ trim +te(Dist, by= trim), family= poisson)
```

```
gam(NoFV ~ trim +te(Dist, k= 3, by= trim), family= negbin(c(0.1,1)), optimizer="perf")
```

Dónde:

trim es el efecto (paramétrico) del factor trimestre.

te() se refiere al "producto tensor" de interacción anisotrópica entre la variable continua de distancia a la costa y el factor de trimestre.

K=3 especifica el número adecuado de "nudos" (knots) en el suavizamiento para 4 niveles del factor de trimestre (Fridley, 2017).

### **Software empleado**

La descarga y sistematización de los datos de TSM, así como los análisis estadísticos en general, se realizaron en el lenguaje y ambiente de cómputo R, versión 3.3.2 (R Core Team, 2016). Para aplicar los Modelos Aditivos Generalizados, se usó el paquete mgcv en R (Wood, 2006).

## RESULTADOS

### Análisis gráfico trimestral de capturas por lance de hembras gestantes y temperatura

Con respecto al análisis de temperatura, en la Figura 11 se puede observar que las temperaturas más frías se concentran en el trimestre uno (invierno) y dos (primavera), las cuales se elevan hacia el trimestre tres (verano) y cuatro (otoño) con un intervalo desde los 19°C hasta los 25°C. Cabe destacar que durante el periodo de estudio el año 2006 presentó los promedios de temperaturas más bajas, mientras que 2010 presentó las más elevadas.

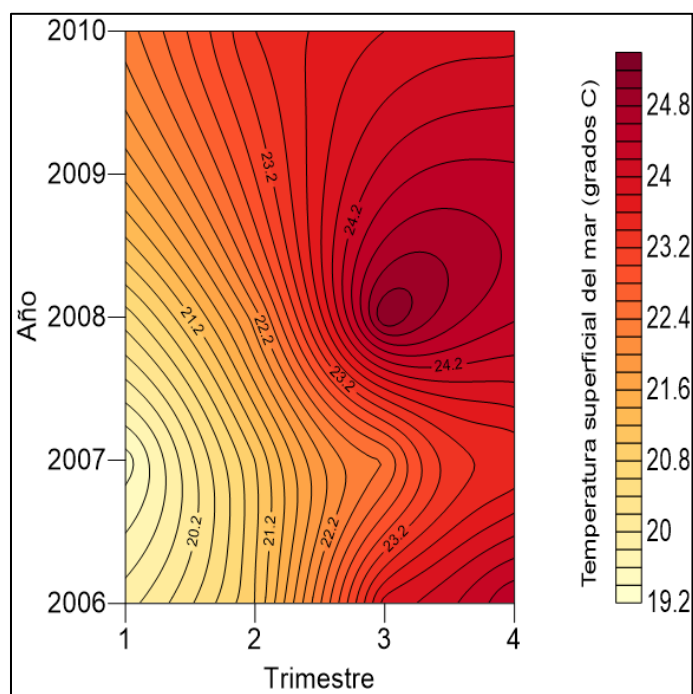


Figura 11. Comportamiento de la temperatura con respecto al trimestre y los años de estudio.

Durante 2006 las capturas se realizaron entre los 21°C hasta los 24.6°C de temperatura promedio. El trimestre con mayor número de captura por lance fue el cuarto correspondiente al otoño, con una temperatura de 24.6°C. Se observa para el trimestre 2 (primavera) el promedio de captura es de 0.09 hembras gestantes por lance, una captura máxima de 1 hembras por lance. En el trimestre 3 (verano) que la mayoría de los lances tienen en promedio captura de 0.73 hembras y una captura máxima de 7 hembras gestantes por lance. En el trimestre 4 el promedio de capturas por

lance es de 2.19 hembras con un máximo de 17 hembras capturadas por lance siendo este trimestre el que mayor captura de hembras obtuvo para este año. En el caso del primer trimestre no se tiene información de capturas, ya que el programa de Observadores comenzó en el trimestre dos de ese año (Figura 12).

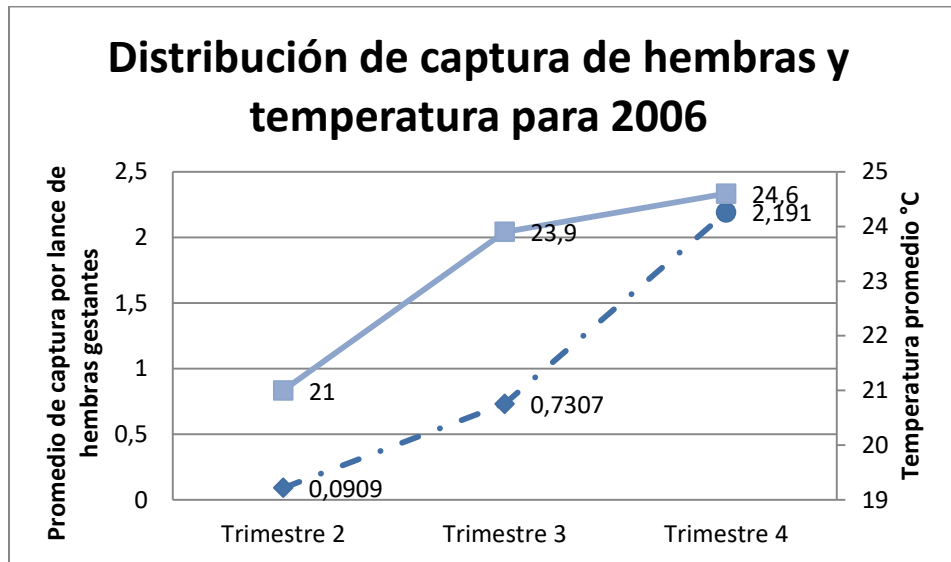


Figura 12. Distribución trimestral de captura por lance de hembras gestantes y temperatura promedio para 2006.

Para 2007 el mayor número de captura se realizó en los trimestres uno y cuatro, con temperaturas de 19.3°C y 23.4°C. En el trimestre 1 (invierno) el promedio de captura es 1.22 hembras gestantes con un máximo de 11 hembras gestantes capturadas. El trimestre 2 (primavera) muestra un promedio de captura de 0.292 hembras con un máximo de 4. En el trimestre 3 (verano) el promedio de captura es de 0.56 hembras gestantes por lance, un máximo de 7 hembras gestantes por lance. Para el trimestre 4 (otoño) el promedio de capturas es de 2.43 hembras por lance, un máximo de 18 (Figura 13).

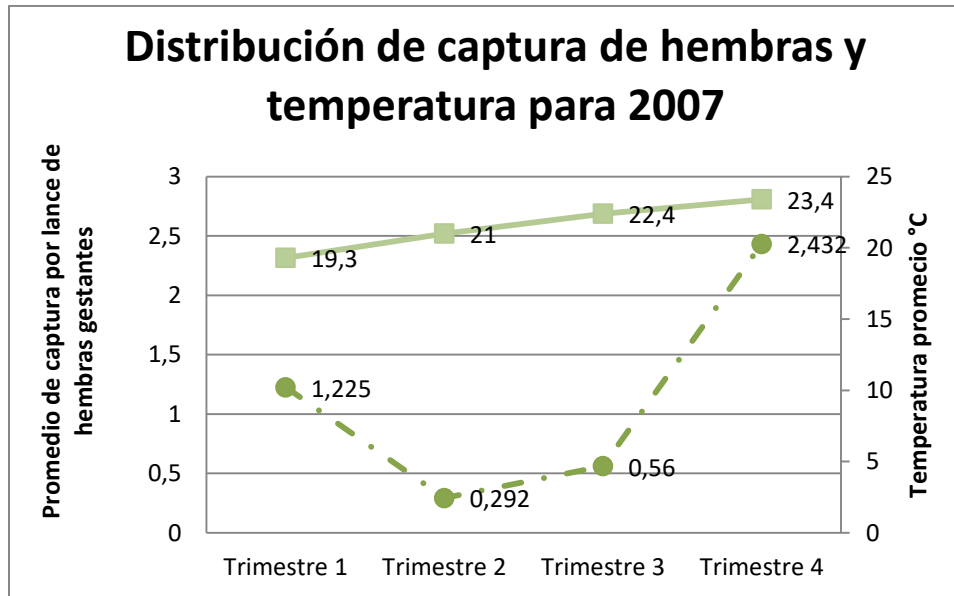


Figura 13. Distribución trimestral de captura de hembras y temperatura promedio para 2007.

Para 2008, se observa que el mayor número de capturas fue durante el trimestre 1 (invierno) con una temperatura de 20.5°C. En general las capturas se realizaron ente los 20.5°C y los 25.2°C. En el trimestre 1 (invierno) el promedio de capturas por lance es de 0.78 hembras gestantes, un máximo de 6. El segundo trimestre (primavera) muestra un promedio de 0.38 hembras capturadas y un máximo de 4 hembras por lance. En el trimestre 3 (verano) se observa un promedio de 1.31 hembras gestantes por lance, un máximo de 13. Para el trimestre cuatro (otoño) no se cuenta con información de capturas ya que se detuvo el programa de Observadores para este trimestre (Figura 14).

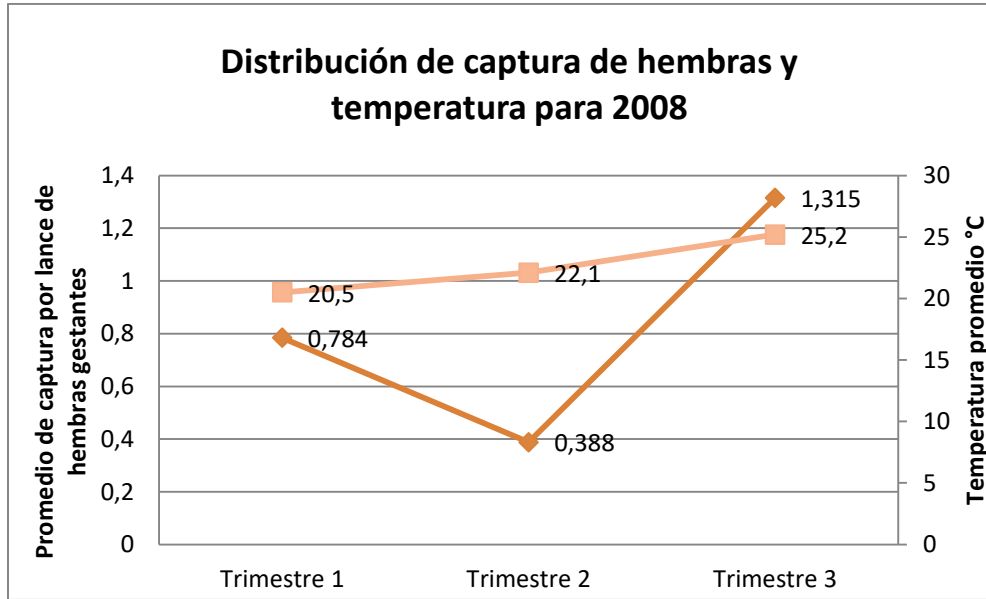


Figura 14. Distribución trimestral de captura de hembras y temperatura promedio para 2008.

En 2010 la temperatura promedio fue de 22.3°C a 23.9°C. Para el trimestre uno (invierno) el promedio de hembras capturadas por lance es 1.22, con un máximo de 7 hembras gestantes por lance. El trimestre dos (primavera) presenta un promedio de 0.72 hembras por lance, un máximo de 23 hembras gestantes por lance. En el trimestre 3 (verano) se observa una captura promedio de 0.54 hembras, un máximo de 7 hembras gestantes por lance. Para el cuarto trimestre (otoño) se observa un promedio de 1.75 hembras gestantes por lance, un máximo de 14 hembras por lance (Figura 15).



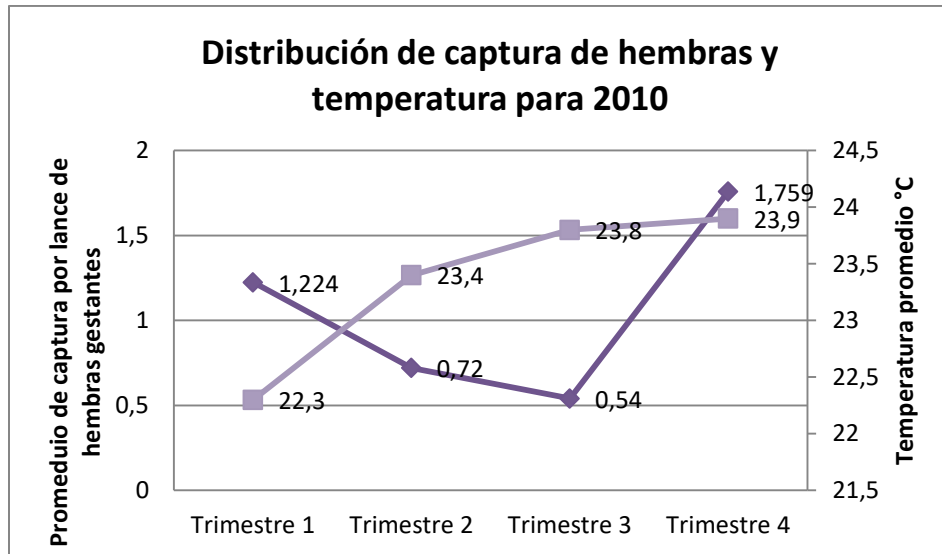


Figura 15. Lances con captura de hembras por trimestre y promedio de temperatura

## Modelo general en función de la distancia a la costa

### Análisis exploratorio con suavizador gráfico

El suavizador gráfico muestra de manera general que la distancia tiene una influencia en la captura por lance de hembras gestantes, alcanzando un máximo entre las 100 millas (185 km) y 200 millas (370 km) de la costa (Figura 16B). En la figura 16A se muestra la distribución general de la captura de hembras gestantes por lance.

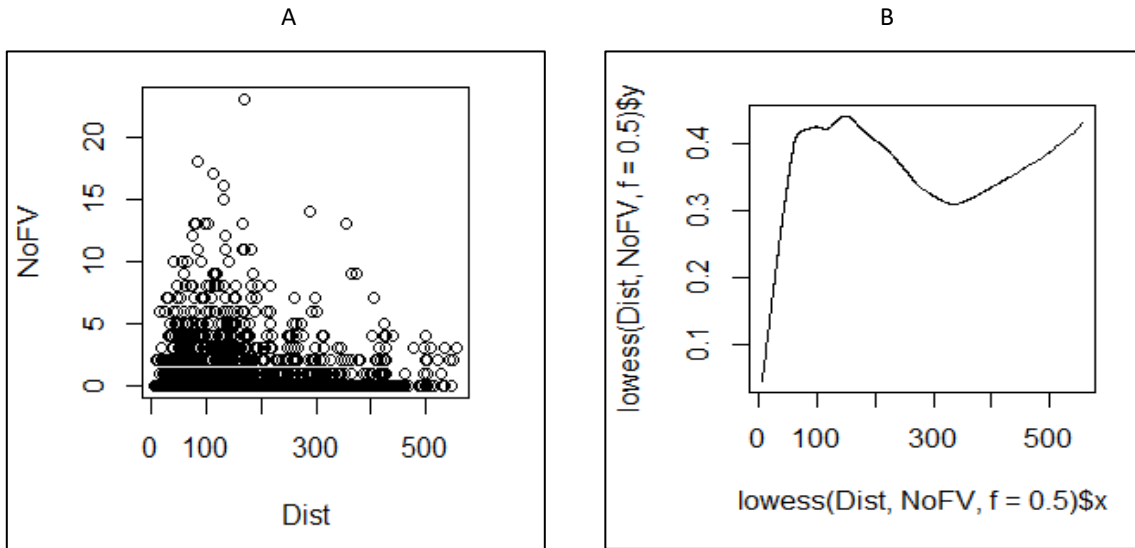


Figura 16. A: Gráfica de dispersión de hembras gestantes por lance. B: Gráfica del suavizador lowess que muestra la tendencia media.

## Selección del mejor modelo GAM

El Criterio de Información de Akaike (AIC) se calculó usando la función `AIC()` del programa R y muestra que el modelo que se ajusta de mejor manera a los datos observados es el modelo binomial negativo (Tabla 4), al presentar el menor valor del AIC (5,069.37).

El AIC se calcula mediante  $AIC = -2 * \log\text{-likelihood} + k * npar$

Donde;

*log-likelihood* es el logaritmo de la verosimilitud (la función AIC extrae este valor de cada modelo; también es una salida en los resultados del ajuste del modelo)

$k = 2$  y *npar* representa el número de parámetros en el modelo ajustado.

Tabla 4. Valores de AIC para dos estructuras de error del GAM en función de distancia a la costa.

Estructura de error	Grados de libertad	AIC
Poisson	18.35	6,234.93
Binomial negativa	16.59	5,069.37

#### Resultados del modelo binomial negativo

Al realizar el análisis de GAM utilizando la distancia y el trimestre para conocer la influencia que ejercen en la captura de hembras gestantes, se muestra una tabla con los coeficientes paramétricos (Tabla 5). En el trimestre 1 (Intercept) el valor de P no es significativo, esto indica que para este trimestre no existe una influencia de las capturas en función de la distancia a la costa y el trimestre de captura. Con respecto al trimestre 2, 3, y 4 si existieron diferencias significativas por lo tanto si existe una influencia de la distancia a la costa y la captura de hembras gestantes que es diferente en cada uno de los trimestres. En el análisis de los resultados obtenidos de los modelos considerando el valor de la significancia (P) menor a 0.05 indica que con un 95% de confianza podemos considerar que existe una relación significativa entre el número de hembras gestantes y la distancia a la costa, esta relación depende del trimestre del año. En este caso la desviación explicada es un valor pequeño 4.15%, pero los valores de P nos permiten explicar de manera significativa los resultados encontrados.

Tabla 5. Análisis de GAM coeficientes paramétricos del modelo binomial negativo:

	edf	Ref.df	F	Valor de P
S(Dist)	7.471	8.423	7.77	2.14X10 <sup>-10</sup>

La gráfica del modelo GAM nos permite observar la tendencia media de los datos con un intervalo de confianza del 95%, el área gris señala la incertidumbre de los datos, conforme aumenta la distancia, la incertidumbre se hace mayor (Figura 16). El comportamiento general de las capturas por lance de hembras gestantes tiene un máximo entre las 100 millas (185 km) y las 200 millas (370 km). La captura de hembras gestantes disminuye a partir de esta distancia y un poco más hacia las 300 millas (555 km). En el intervalo desde la línea de costa y esta última distancia, el intervalo de confianza del 95% de la predicción del modelo es relativamente estrecho a distancias

mayores a 300 millas, la amplitud del intervalo de confianza aumenta rápidamente y la predicción del modelo no puede considerarse confiable en este intervalo.

Al igual que en el análisis gráfico exploratorio, se comprueba que la mayor captura por lance de hembras gestantes se realiza entre 100 (185 km) y 200 millas (370 km) y que pasando las 300 millas (555 km) disminuyen (Figura 17).

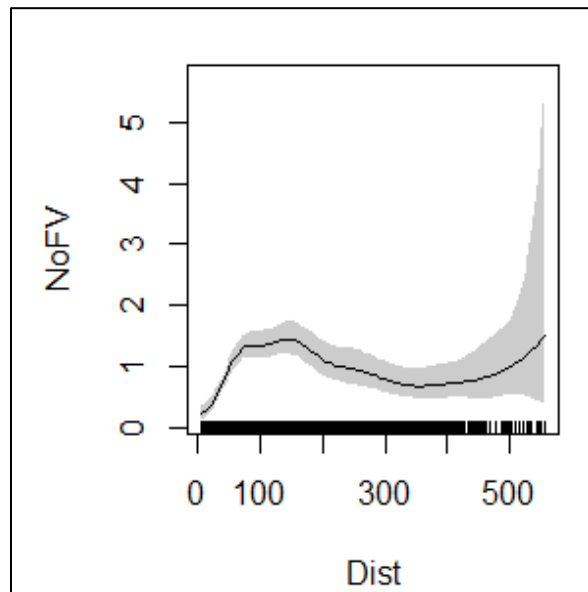


Figura 17. Ajuste del modelo GAM por distancia de la costa, a las hembras gestantes capturadas por lance.

En la Figura 18 se puede observar el comportamiento de los residuales, ajustándose casi por completo a la línea de cuantiles teóricos.

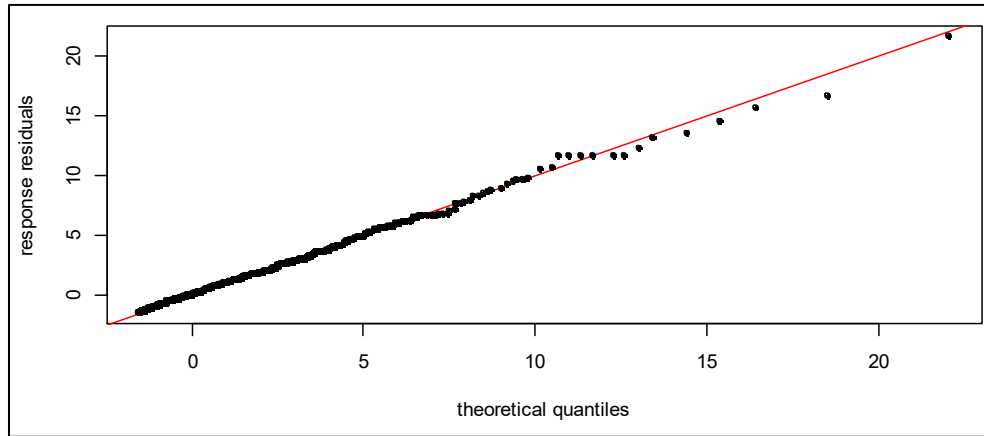


Figura 18. Análisis de residuales del modelo GAM general.

Por otra parte, la Figura 19 muestra el resultado del análisis exploratorio de la proporción de hembras gestantes dentro del total de hembras capturadas por lance, con respecto a la distancia de la costa, mediante una gráfica de dispersión (Figura 16A) y con un suavizador lowess, el cual muestra la tendencia media (Figura 19B).

Esta distribución del porcentaje de hembras gestantes en el total de hembras capturadas por lance, con respecto a la distancia de la costa, es semejante a la distribución del número de hembras gestantes por lance (Figura 16B y 17) y muestra que este porcentaje también alcanza un máximo ente 100 (185 km) y 200 millas (370 km) de la costa (Figura 19A).

Lo anterior indica claramente que la mayor concentración de hembras gestantes que se observan entre 100 y 200 millas de la costa, no se debe simplemente a un aumento en las capturas totales de hembras por lance, sino que hay un aumento neto de hembras gestantes por lance.

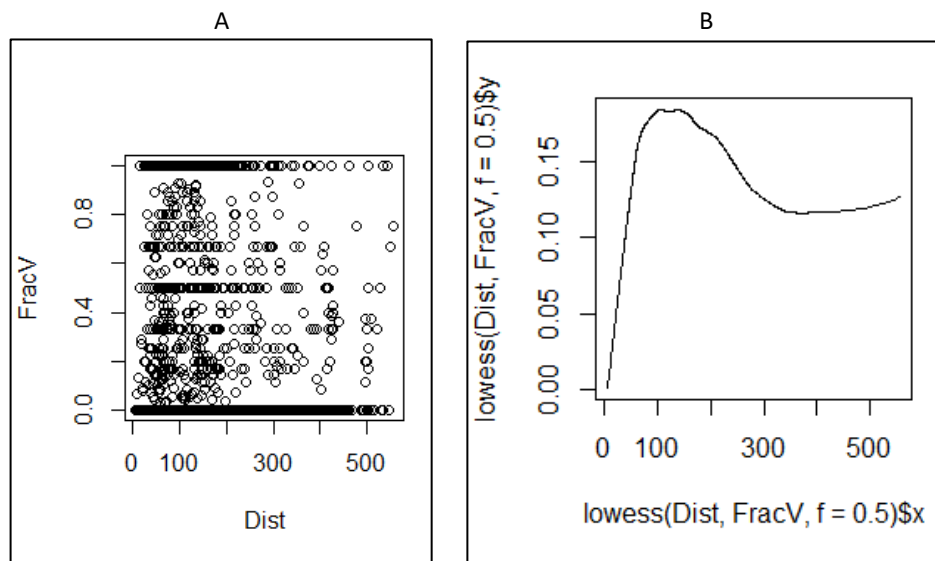


Figura. 19. Fracción (%) de hembras gestantes respecto al total de hembras capturadas por lance y distancia a la costa. A: Gráfica de dispersión. B: Suavizador lowess que muestra la tendencia media.

### Modelo en función de la distancia a la costa y el trimestre, con efecto de interacción

Selección del mejor modelo GAM

El Criterio de Información de Akaike (AIC) muestra que el modelo que se ajusta de mejor manera a los datos observados es el modelo binomial negativo (Tabla 6), al presentar el menor valor del AIC (5,069.4).

Tabla 6. Valores de AIC para dos estructuras de error del GAM en función de distancia a la costa, trimestre y efecto de interacción.

Estructura de error	Grados de libertad	AIC
Poisson	18.35	6,234.93
Binomial negativa	11.78	5,069.37

## Resultados del modelo GAM binomial negativo en función de la distancia a la costa, trimestre y efecto de interacción

Al analizar el GAM por trimestre, se puede observar el comportamiento de los datos que se analizaron y la tendencia (predicción) que calculan los suavizadores, con intervalos de 95% de confianza.

Probando la influencia de la distancia a la costa y el trimestre, el análisis de GAM revela que en el trimestre uno (invierno) no hay diferencias significativas en la captura por lance al variar la distancia a la costa. Para los trimestres 2, 3 y 4 (primavera, verano y otoño), la distancia a la costa sí influye en forma estadísticamente significativa en la captura por lance de hembras gestantes, aunque sólo de manera marginal en el cuarto trimestre ( $p= 0.04$ ) (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de GAM en términos del suavizador de distancia por trimestre.

	edf	Ref.df	F	P-value
te(Dist):trim1	1.104	1.197	1.756	0.1500
te(Dist):trim2	1.977	1.999	20.668	$9.94 \times 10^{-10}$
te(Dist):trim3	1.848	1.977	3.022	0.0402
te(Dist):trim4	1.857	1.979	14.586	$3.49 \times 10^{-06}$

La Figura 20 muestra las gráficas de la predicción del modelo que incluye la interacción de la distancia a la costa y el trimestre. La predicción del primer trimestre (Figura 20A) es una línea cercana a la horizontal, lo que indica que los datos disponibles no aportan evidencia de la existencia de una relación significativa entre la distancia a la costa y la captura por lance de hembras preñadas durante este trimestre; de ahí la significancia mayor a 0.05 para la interacción a este nivel del factor trimestre ( $p= 0.15$ , Tabla 7). En el resto de los trimestres aparece claramente un máximo de capturas por lance de hembras preñadas entre las 100 y 300 millas náuticas (185 – 555 km), a partir de la costa (Figura 20 B, C y D). En el verano y el otoño (Figura 20 C y D), el intervalo de confianza del 95% de la predicción se amplía más allá de ésta última distancia, posiblemente debido al menor número de datos y a la variabilidad de los mismos. Es notable que el máximo en la captura por lance de hembras preñadas en el otoño es considerablemente mayor

que para los trimestres precedentes (alrededor de 5 hembras gestantes por lance en promedio), indicando un intervalo de distancia a la costa de entre 200 y 300 millas (370 – 555 km), donde se presenta una alta agregación de hembras en estado de gestación.

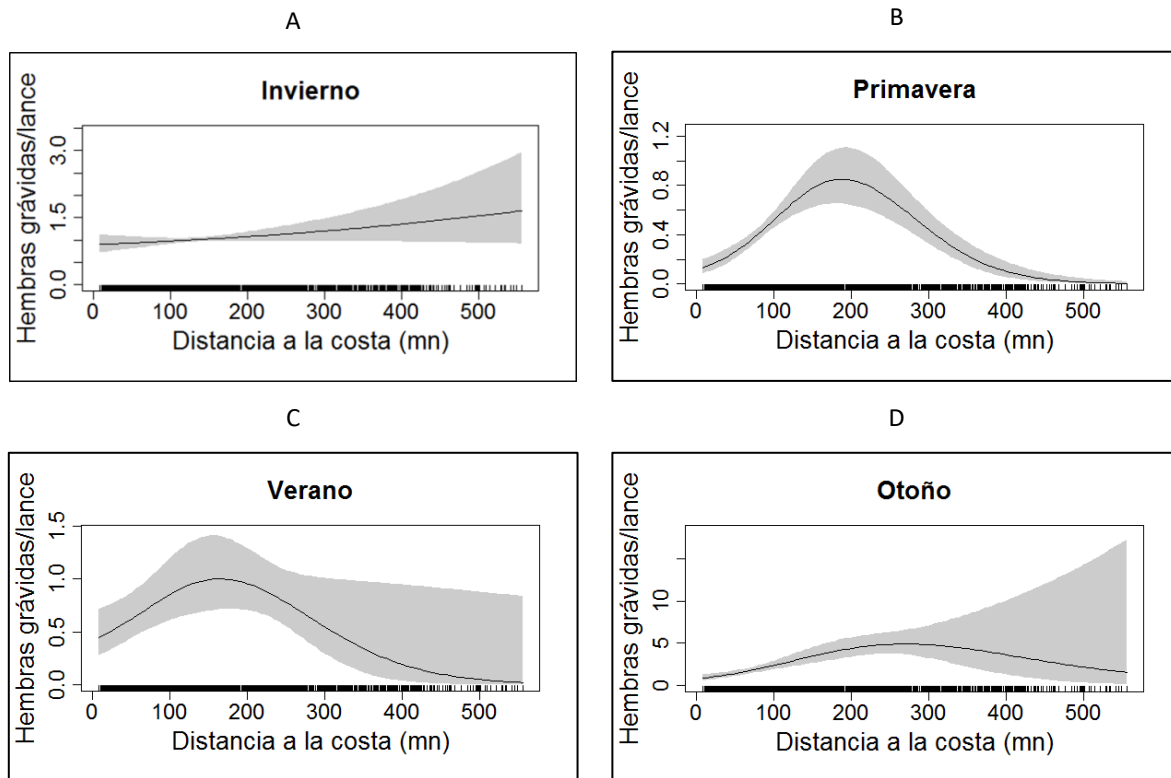


Figura 20. Ajuste del modelo GAM por distancia de la costa y trimestre, a las hembras gestantes capturadas por lance. Nótese las escalas verticales variables.

Con respecto al análisis de los datos agrupados por trimestre, los cuantiles de los residuales del modelo GAM, se ajustan casi por completo a los de una distribución normal, lo cual significa que el modelo es adecuado y describe razonablemente las observaciones (Figura 21).



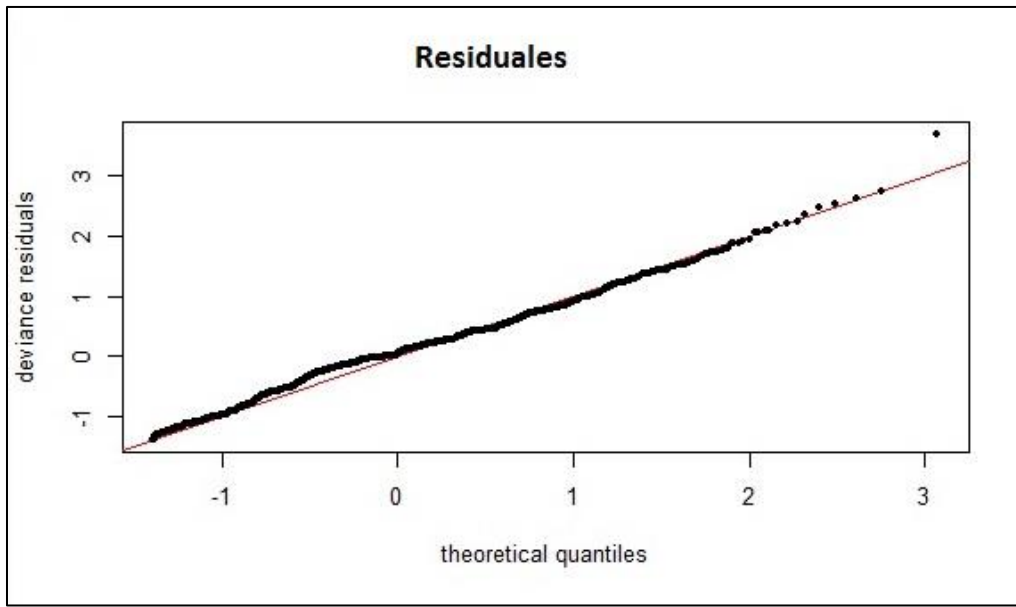


Figura 21. Análisis de los residuales de los valores ajustados por distancia de la costa, trimestre y su efecto de interacción con el modelo GAM.

En la Figura 22 se observa de manera general el comportamiento del promedio de capturas por lance a lo largo del estudio, en el trimestre 4 (otoño) durante los cuatro años se evidencia la mayor cantidad de capturas con al menos un promedio de 1.5 capturas por lance, el trimestre dos (primavera) presenta una disminución con al menos 0.5 capturas promedio por lance, observándose un aumento gradual para el trimestre tres (verano) con un valor de 1, para el trimestre uno (invierno) se observa una disminución marcada de la captura promedio de hembras gestantes.

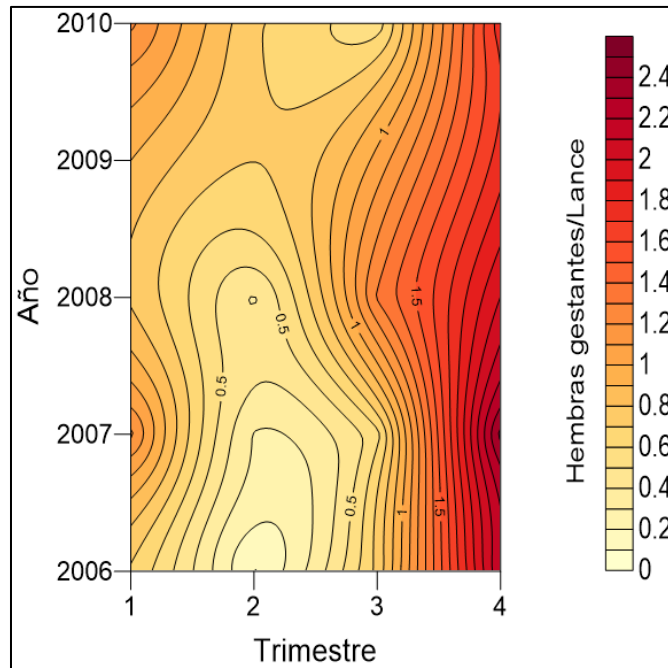


Figura 22. Distribución de la captura de hembras gestantes de tiburón azul, para todos los años por trimestre.

Para analizar las capturas de hembras gestantes a lo largo del Pacífico Mexicano, se realizaron cuatro mapas donde se muestran todos los lances con captura de hembras gestantes agrupadas por trimestre. Para el trimestre 1 que corresponde al invierno (meses 1, 2, 3) las capturas se encuentran un tanto alejadas de la costa como cerca de ella, se puede apreciar una gran concentración de lances alrededor del Archipiélago de Revillagigedo y algunos lances con captura pasando los 115° de longitud oeste, en este caso se encontraron capturas constantes que van desde menos de 50 millas, zonas muy cercanas a la costa y muy pocas capturas a 500 millas (Figura 23).

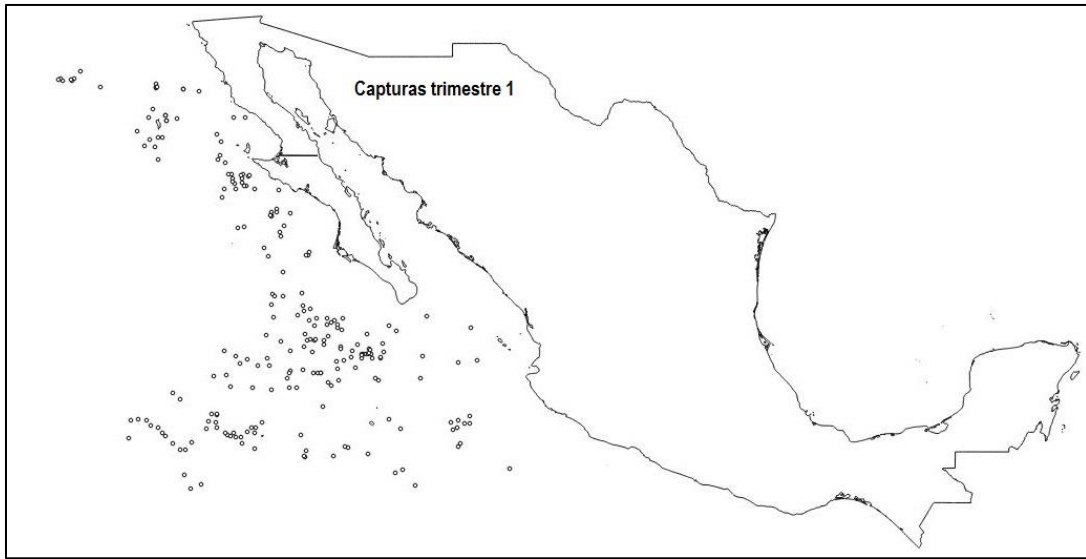


Figura 23. Lances con captura de hembras gestantes de tiburón azul para el trimestre uno (invierno).

En el trimestre 2 que corresponde a la primavera (meses 4, 5, 6), no se observa una concentración de capturas, los lances con captura se muestran dispersos a lo largo del Pacífico Mexicano, se aprecian lances con capturas lejos de la costa pasando los 115° longitud, entre las 500 y 550 millas (Figura 24).

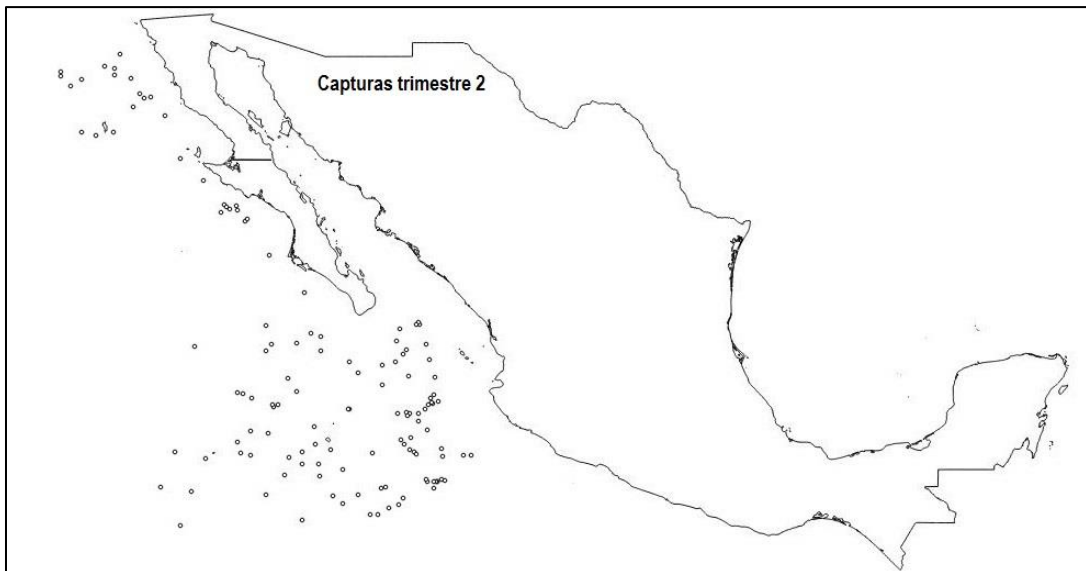


Figura 24. Lances con captura de hembras gestantes de tiburón azul para el trimestre dos (primavera).

Trimestre 3 verano (meses 7, 8, 9) se observa una disminución en los lances con captura y se encuentran concentrados alrededor del Archipiélago de Revillagigedo y hacia el sureste de la Península de Baja California, hacia el Mar de Cortes (Figura 25).

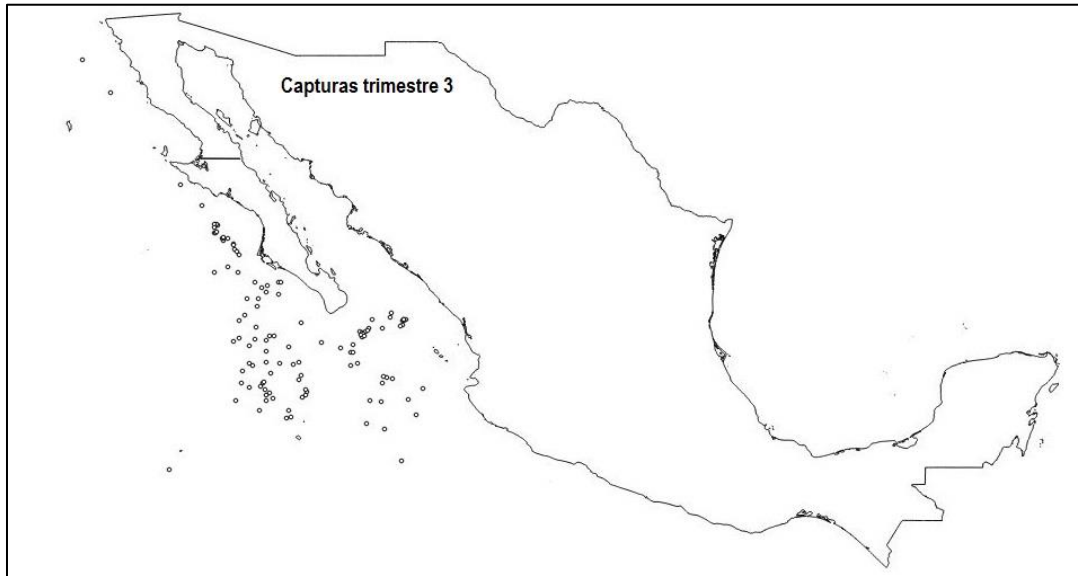


Figura 25. Lances con captura de hembras gestantes de tiburón azul para el trimestre tres (verano).

Con respecto al trimestre 4 correspondiente al otoño (meses 10, 11, 12), se observan zonas considerables de lances con captura de hembras gestantes y un gran grupo de alta concentración al norte del Archipiélago de Revillagigedo y hacia el suroeste de Baja California Sur, en este caso, casi todos los lances obtienen captura con un aumento de hasta cuatro hembras gestantes por lance, esto nos habla de la gran cantidad de organismos capturados de la especie para este trimestre (Figura 26).

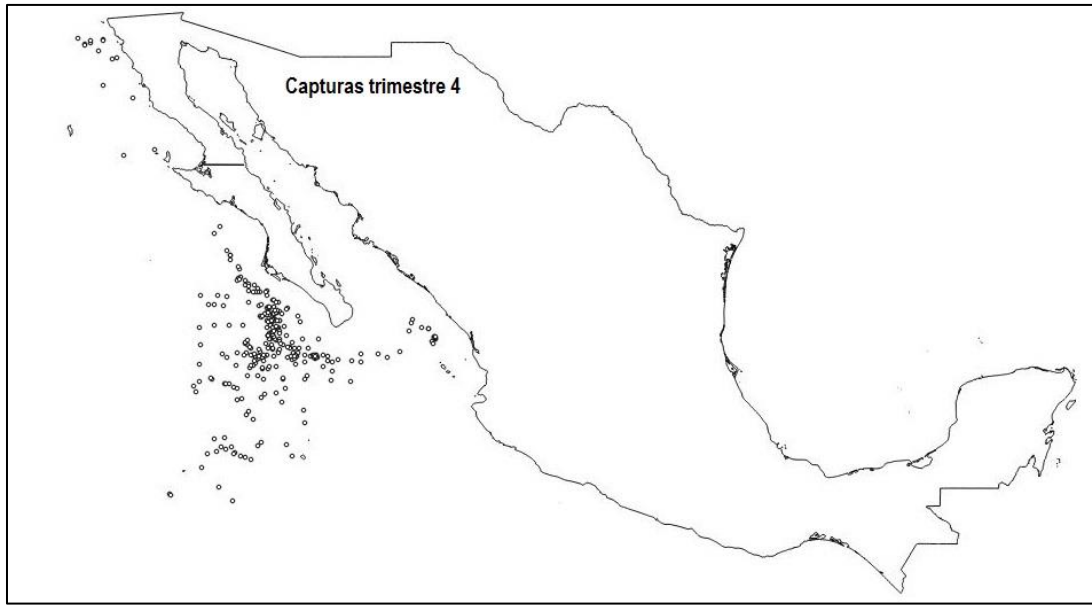


Figura 26. Lances con captura de hembras gestantes de tiburón azul para el trimestre cuatro (otoño).

En general existe una presencia importante de hembras gestantes en la zona comprendida entre los 110° y los 115° de longitud oeste y entre los 20° y 23° de latitud norte, esta área se encuentra al norte del Archipiélago de Revillagigedo y parte de la zona sur de la Península de Baja California.

## DISCUSIÓN

En el análisis de temperatura, se observó una mayor captura de hembras gestantes en las estaciones de invierno y marcadamente más altas en otoño. Como lo menciona Cruz Ramírez *et al.* (2012), el tiburón azul prefiere zonas con aguas templadas y con temperaturas no tan elevadas, esta especie presenta un patrón migratorio que va de norte a sur durante los meses de octubre-noviembre (otoño) y de sur a norte durante junio (verano) coincidiendo con la captura obtenida a lo largo del estudio, mayor número de individuos capturados para las estaciones templadas (otoño-invierno) y una menor captura para las estaciones cálidas y de mayor temperatura (primavera-verano). Es importante conocer y entender el comportamiento de la temperatura y la influencia que ejerce en este caso sobre el tiburón azul. En trabajos realizados en el Atlántico por Tavares, Ortiz y Arocha (2012), han resaltado que la distribución y los movimientos de los

tiburones azules, están fuertemente influenciados por la variación estacional de la temperatura del agua, condición reproductiva, la disponibilidad de presas y el sistema de corriente del Atlántico. La temperatura en este estudio se mantiene constante en promedio de un año a otro, con disminuciones en invierno (1) y aumentos hacia el otoño (4), esto coincide con la preferencia del tiburón azul a temperaturas de entre 14°C y 27°C. El año de 2006 es el año con temperaturas más bajas, mientras que el 2010 muestra las temperaturas más altas. En este estudio se obtuvo mayor captura entre 19°C y 25°C correspondiente con lo reportado por Holts *et al.* (2001) quien reporta que las capturas se realizan a un intervalo de temperatura de 14°C a 27°C. Es importante señalar que la estación con más captura fue el otoño, pues se capturaron poco más de dos hembras gestantes por cada lance en promedio, coincidiendo con el patrón migratorio que sigue esta especie de norte a sur como ya se mencionó anteriormente. El aumento de temperatura hacia el otoño podría ser un indicador de la preferencia de temperatura del tiburón azul, hacia esta estación y da paso a reforzar el cuidado de esta especie para esta temporada.

Relacionando la temperatura, en un estudio de Walsh (2001) realizado en las islas de Hawái con captura incidental de tiburón azul, se observó que la temperatura superficial del mar es el factor ambiental que mayor influencia ejerce en el tiburón azul, teniendo dos efectos importantes sobre el organismo, tanto en la parte metabólica por la demanda energética de sus traslados, como por la producción de respuestas de comportamiento, esto es el movimiento a través de gradientes en la columna de agua y que por lo tanto influye en su distribución. En las zonas cercanas a la costa se piensa que la temperatura del agua juega un papel importante en la determinación de los patrones de captura y distribución del tiburón azul (Nakano y Seki, 2002), en este caso la selección de temperatura beneficia a la especie pues el migrar a zonas más cálidas brinda zonas de reproducción, crianza y alimentación, como lo son las zonas cercanas a la costa, incrementando el reclutamiento de la especie. Nakano (1994) encontró que la preferencia de temperatura en el tiburón azul podría delimitar las zonas de crianza y las de alimentación ya que prefieren zonas de entre 15°C y 19°C y la región del Pacífico Norte es una zona con aguas muy productivas que les permite alimentarse.

En el análisis de captura seleccionando el mejor modelo por medio del GAM se obtuvo un mayor número de hembras gestantes cercanas a la costa entre las 100 (185 km) y 200 millas (370 km) y disminuye la captura conforme aumenta la distancia a la costa. Se observa que cuando los lances comienzan a alejarse de la costa aumenta la captura, de manera general hacia las 200 millas (370

km) la captura es constante. Pasando las 250 millas (465 km), la captura disminuye y se nota un aumento en la invertidumbre de las capturas. En el caso del trimestre uno donde no se encontraron diferencias significativas entre la captura junto con el trimestre y la distancia a la costa, esto puede deberse a que puede haber más factores que influyen en las capturas, como la profundidad, zonas de surgencia, influencia de las corrientes entre otras.

Resalta el caso del trimestre 4 (otoño), el trimestre con más capturas del estudio. En este trimestre se observa que la captura aumenta poco más de dos hembras gestantes por lance en promedio, hasta las 250 millas (465 km) que es donde aumenta la incertidumbre y disminuyen las capturas. Al ser el trimestre con más captura, serviría como un indicador confiable para proteger a la especie en este periodo, estableciendo la veda en estas fechas, para la zona del Archipiélago de Revillagigedo y sus alrededores, que es donde mayor concentración de lances se observan.

En el Océano Pacífico Norte, los tiburones azules presentan una segregación latitudinal por tamaño y sexo (Nakano 1994, Nakano & Seki 2003). Las zonas donde se encuentran los machos aparecen más al sur (áreas subtropicales y tropicales) que las de las hembras. Es decir, la especie se encuentra segregada por sexo y talla cuando no es época reproductiva. En trabajos del Atlántico se ha resaltado la importancia de la temperatura en la distribución de la especie. Kohler y Turner (2008) explican que en las regiones templadas, la distribución y los movimientos del tiburón azul están fuertemente influenciados por las variaciones estacionales en la temperatura del agua, junto con sus condiciones reproductivas y la disponibilidad de sus presas, reportando segregación por sexo y talla en los tiburones, encontrando una situación similar para el Pacífico Mexicano pues hay grandes concentraciones de hembras gestantes en zonas cercanas a la costa las cuales permiten su alimentación, así como el establecimiento de zonas de crianza.

Con respecto a la captura de hembras de tiburón azul de todos los años, se observa un patrón en la presencia tanto de hembras no gestantes como gestantes en la zona noroeste de la Península de Baja California y en la parte centro del Pacífico Mexicano asociados a las Islas Revillagigedo, lo cual indicaría una preferencia marcada por esas zonas a lo largo del año. Existen trimestres donde los puntos de captura de tiburón azul aumentan de manera marcada como lo es en el trimestre 1 (invierno) y 4 (otoño) donde se concentran los meses con mayor número de capturas a lo largo del estudio.

Acerca de la captura y el estado del tiburón azul en el Océano Pacífico Mexicano, es la segunda especie más importante de las pesquerías de palangre y red de enmalle alrededor del mundo después de *Carcharhinus falciformis* (tiburón sedoso o tunero). Este tiburón pelágico está siendo cada vez más capturado por varias pesquerías por la gran demanda y venta de sus aletas y el comercio en aumento de su carne, particularmente en naciones donde las flotas pesqueras operan en aguas oceánicas (Nakano y Stevens, 2008).

Al ser depredadores tope en muchas de las cadenas alimenticias y que mantienen en equilibrio a los océanos, en Vandeperre *et al.* (2014) hablan sobre la creciente preocupación en todo el mundo acerca de los depredadores pelágicos como lo son los tiburones azules pues se debe conocer el estado de la población y la sostenibilidad de sus pesquerías. Esto se debe principalmente al alto nivel de explotación experimentado por las especies y se ve reforzado por ejemplos en declinaciones poblacionales de otros tiburones pelágicos en todo el mundo.

Como resultado del análisis de capturas en México y con el fin de proteger a los tiburones y rayas en el Pacífico Mexicano, se establecieron periodos de veda para cuidar a las especies de la sobrepesca. El periodo de veda establecido para protección sin distinción de especie para los tiburones va del 01 de mayo hasta el 31 de agosto a partir del 11 de junio de 2012 para las aguas de jurisdicción nacional en el Océano Pacífico Mexicano (DOF, 2012). La veda fue establecida para los meses correspondientes a la primavera (meses 4-6 del año) y el verano (meses 7-8 del año) siendo los meses donde se obtuvieron menos capturas por lance de hembras gestantes a lo largo del presente estudio, por lo tanto la especie queda desprotegida en el otoño (meses 10-12 del año) que es donde más capturas de hembras gestantes se obtuvieron por lance. Esto, a largo plazo, puede perjudicar la estabilidad de la especie ya que posiblemente se estuviera afectando el reclutamiento. Esta situación no solo afectaría a la especie sino también a los pescadores, ya que se requeriría mayor esfuerzo de pesca para encontrar a estos organismos y una mayor inversión económica si comienzan a descender sus números. Si bien se sabe que el establecimiento de vedas es un proceso largo y difícil pues no sólo se debe proteger a la especie, sino que se debe de pensar en afectar lo menos posible al sector pesquero, con la información obtenida a lo largo de este estudio, se recomendaría replantear la veda para esta especie en particular, ya que se encuentra desprotegida y expuesta a una eventual sobreexplotación.



## CONCLUSIONES

El trimestre con mayor captura de hembras gestantes es el otoño.

La distancia a la costa en la que más capturas de hembras gestantes se obtienen va de las 100 millas (185 km) y hasta las 250 millas (462 km).

El otoño es la estación que obtuvo la mayor cantidad de capturas con poco más de dos hembras gestantes por lance, siendo el valor más alto de todos los trimestres.

Las hembras gestantes mayormente se encuentran en la zona comprendida entre los 110° y los 115° de longitud oeste y entre los 20° y 23° de latitud norte, correspondiente al norte del Archipiélago de Revillagigedo pudiendo esta ser una zona prioritaria para protección.

La distancia a la costa y el trimestre se encuentran relacionados con la captura y por lo tanto con la distribución de tiburón azul a lo largo del Pacífico Mexicano.

El periodo de veda actual no protege de manera satisfactoria al tiburón azul, lo cual hace vulnerables a la sobrepesca a las hembras gestantes en los periodos comprendidos en la estación de otoño que es en el trimestre donde hay mayor presencia.

Resulta importante analizar el volumen de pesca que se obtiene cada año no solo de tiburón azul, sino de cualquier especie para contribuir a la conservación de esta, para que puedan ser explotadas de manera sostenible en beneficio de los sectores pesqueros y también permitir a las especies recuperarse.

La temperatura se ve influenciada por la estacionalidad y esta a su vez, afecta la distribución de las poblaciones de *P.glauca*. Por lo tanto se determinó que la presencia de hembras gestantes en la zona de estudio presenta una distribución más cercana a la costa y un marcado aumento hacia el otoño. De tal manera que la protección de las hembras gestantes en las zonas cercanas a la línea de costa durante el trimestre 4 (otoño) asegura una mayor probabilidad de reclutamiento para la especie y la estabilidad de la misma dentro de la zona.

## PROYECCIONES

Se sugiere analizar si la distribución de hembras gestantes de tiburón azul incide con hembras de diferentes especies o bien si tienen algún tipo de interacción, compitiendo por los recursos de alimento, zonas de crianza, o nicho ecológico.

Para mejorar el entendimiento de las dinámicas poblacionales de otros pelágicos mayores y la repercusión que tiene la actividad pesquera sobre estos organismos. Se sugiere realizar un análisis de factores asociados a las pesquerías en la zona del Pacífico, con la finalidad de ampliar el conocimiento y proponer mecanismos óptimos para la explotación y captura mitigando en la medida de lo posible la presión de las actividades pesqueras sobre las poblaciones de la zona.

Se sugiere analizar la proporción de estadios de vida, para conocer qué fase de madurez se está afectando más al realizar la pesca y lograr protegerla, para favorecer a la especie.

El presente estudio se puede complementar de una mejor manera incorporando al análisis otros factores ambientales como la termoclina, profundidad, luminosidad, salinidad, inicio de calado y cobrado. De tal manera que nos permita conocer de manera más amplia la distribución no solo del tiburón azul sino de otros organismos pelágicos asociados a estas pesquerías.

De igual manera se sugiere analizar el número de lances que se llevan al cabo en el periodo de pesca, para conocer qué volumen de captura de tiburón se realiza en cada temporada.

Se recomienda realizar análisis constantes acerca de la distribución de las especies, pues así se puede conocer y prevenir la explotación en ciertas zonas importantes durante el ciclo reproductivo, no solo de este tiburón, sino de cualquier otra especie, colaborando con la explotación sustentable del recurso y permitir su conservación.

Se debe prestar atención al analizar los patrones migratorios de una especie en particular, lo cual servirá para conocer las zonas y fechas específicas en las que llegan a la costa del Pacífico y analizar de una mejor manera la distribución de los machos y hembras para poder protegerlos, dada la importancia de las zonas de crianza que contribuyen al reclutamiento de la especie.

Es importante realizar un estudio de zonificación específico para proteger las zonas donde se encuentra el mayor número de capturas, como un análisis por cuadrantes para conocer qué zonas son más vulnerables a la sobrepesca y colaborar con la protección del tiburón azul.

Se sugiere reconsiderar y analizar los periodos de veda establecidos, ya que el periodo de veda actual protege a los tiburones azules de mayo a agosto, y para estos meses que corresponden a la primavera y el verano el número de capturas es inferior, comparado con el otoño y el invierno, además de establecer la veda por zonas, en la parte Occidental de Baja California y asociadas mayormente al Archipiélago de Revillagigedo, donde se encuentra la mayor concentración de capturas a lo largo de todo el estudio entre los  $-110^{\circ}$  y los  $115^{\circ}$  de longitud y entre los  $20^{\circ}$  y  $23^{\circ}$  de latitud. Esto ayudaría con la conservación del recurso y su uso adecuado, pues el Océano Pacífico no solo brinda un espacio para que la especie complete su ciclo de migración también, brinda zonas de alimentación, alumbramiento y crianza que resultan ser muy importantes para la reproducción, además de los servicios ecosistémicos que brinda una especie depredadora en la regulación de las presas de las que se alimenta, colaborando con el balance de la cadena trófica a la que pertenece y ayudando a mantener todo un ecosistema en equilibrio.

## LITERATURA CITADA

Beck MW, Heck KL, Able KW, Childers DL, Eggleston DB, *et al.* 2001 **The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates.** *BioScience* 51: 633–641.

Bigelow K A, Boggs C H y He X. 1999. **Environmental effects on swordfish and blue shark catch rates in the US North Pacific longline fishery.** *Fish Oceanography* 8(3): 178-198.

Camhi M. D., Pikitch E. K. and Babcock E. A. Editores, 2008 **“Sharks of the Open Ocean: Biology, Fisheries and Conservation.”** Edit. Blackwell Publishing pp 174.

Canterla M., 1989. **Actividades pesqueras en los puertos del suroeste andaluz en la segunda mitad del siglo XV,** Actas: IX Jornadas de Andalucía y América, España.

Carrera-Fernández M, Galván F., Ceballos B. 2010. **Reproductive biology of the blue shark *Prionace glauca* (Chondrichthyes: Carcharhinidae) off Baja California Sur, México.** *Aqua, International Journal of Ichthyology* 16(3): 101-110.

Carrier J. C., Musick J. A., Heithaus M. R. 2012 **Biology of sharks and their relatives** CRC Press, pp. 666

Castillo Géniz, J. L., Márquez Farias, J. F., Cid del Prado Vera, A., Soriano Velásquez, S. R., Corro Espinosa, D. y Ramírez Santiago C. 2000. **Tiburones del Pacífico Mexicano (Pesquería Artesanal),** p. 125-151 En: *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México, Evaluación y Manejo*, Instituto Nacional de la Pesca, SEMARNAP, México.

Castillo-Géniz, J. L., Soriano-Velásquez, S. R., y Villaseñor-Talavera, R. 2008. **Capítulo No. 9 "Pesquerías mexicanas de tiburón en el Océano Pacífico",** 211-241. En: *Pesquerías Latinoamericanas*, Machii, T y Flores, O.J. (eds), Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, SAGARPA, México.

Castro, J. I. 1992., **The shark nursery of Bulls Bay, South Carolina, with a review or the nurseries of the southeastern coast of the Unites States.** *En: Environmental Biology of Fishes.* 38: 37-48.

Castillo Olguín E. 2005. **Estructura genética poblacional de dos especies de tiburones (*Carcharhinus falciformis* y *Sphyma lewini*) del Pacífico Mexicano,** Distrito Federal, Tesis de maestría en ciencias biológicas. Facultad de Ciencias, UNAM.

Compagno, L.J.V. 1973. *Carcharhinidae.* In: J.-C. Hureau and T. Monod (eds), **Check-list of the fishes of the north-eastern Atlantic and of the Mediterranean (CLOFNAM).** *Volume 1,* pp. 23-31. Unesco, Paris.

Compagno LJV. 1984. **Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2. Carcharhiniformes.** *FAO Fishery Synopsis* Rome. 125(4): 251-655.

Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2003. **México: Imagen desde el espacio**. Conabio, México.

Crawley Michael J. 2007 **The R book** Imperial College London at Silwood Park, UK 959pp. (229-231, 792).

Cruz-Ramírez, A. 2007. **Aspectos reproductivos del tiburón azul (*Prionace glauca*) y tiburón tunero (*Carcharhinus falciformis*) capturados por la flota palangrera de mediana altura del puerto de Manzanillo**, Col. Tesis Licenciatura Facultad de Ciencias-UNAM. 52 pp.

Csirke, J. 1980. **Introducción a la dinámica de poblaciones de peces**. FAO,Doc.Téc.Pesca,87pp.

De la Lanza, G. E. 1991. **Oceanografía de mares mexicanos**. AGT editor. México. 525pp.

DOF. 1986. Ley Federal del Mar. 1986. México. Publicado 8 de enero 1986.

DOF. 2007. SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION ACUERDO por el que se establece veda para la captura de todas las especies de mero en las aguas de jurisdicción federal del Golfo de México correspondientes al litoral de los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Publicado 14 de febrero de 2007.

DOF. 2009. SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION PROYECTO de modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento. 2009

DOF. 2010. SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION ACUERDO mediante el cual se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. Publicado 2 de diciembre de 2010.

DOF. 2012. SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION 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, publicado el 16 de marzo de 1994 para establecer los periodos de veda de pulpo en el Sistema Arrecifal Veracruzano, jaiba en Sonora y Sinaloa, tiburones y rayas en el Océano Pacífico y tiburones en el Golfo de México. Publicado 11 de junio de 2012.

DOF. 2015a. SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION PROYECTO de Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento. Publicado 11 de febrero de 2015.

DOF. 2015b. SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION DECRETO por el que se expide la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables. Publicado 04 de junio de 2015.

Espinosa H. 2004. **Pacífico Mexicano**. México. Revista Ciencias. Número 76 (octubre-diciembre) UNAM. pp. 14-21.

Fernandez Eguiarte A., Gallegos García A., Zavala Hidalgo S. 1993. **Oceanografía física de México**. Ciencia y Desarrollo. XVIII: 24-35.

Frankham R., Ballou D., Briscoe D. 2010. **Introduction to conservation genetics**. Cambridge University Press.

Fridley, J. 2017. **Quantitative Methods for Life Scientists. Lecture notes from Bio793: Plant Ecology / Niche modeling / Modeling in R**. Generalized additive models in R. Syracuse University. <http://plantecology.syr.edu/fridley/bio793/gam.html>

Furlong Estrada, E. 2000. **Caracterización de la captura de tiburón azul (*Prionace glauca*). (*Linnaeus, 1758*)**. Descargado en Ensenada B. C. Tesis de Maestría. CICESE, Ensenada, 61pp. Cite unas cosas de aquí, peor vienen en una tesis de Angélica Cruz Ramirez "Aspectos reproductivos."

Galeana-Villaseñor, I., Galván-Magaña, F., & Santana-Hernández, H. 2009. **Pesca con anzuelos en barcos palangreros del Océano Pacífico mexicano: efectos en la captura y peso de tiburones y otras especies**. Revista de biología marina y oceanografía, 44(1), 163-172.

Gallagher AJ, Orbesen ES, Hammerschlag N, Serafy JE 2014 **Vulnerability of oceanic sharks to pelagic longline bycatch**. Global Ecology and Conservation 1: 50-59.

Grant E.W., Marín L.S., Pedersen K.E. 2001. **Ecología y manejo de recursos naturales: Análisis de sistemas y simulación**. Edit. Agroamericana. Costa Rica pp 17-19.

Gubanov, Y. P. e Grigor'yev, V. N. 1975 **Observations of the distribution and biology of the blue shark *Prionace glauca* (*Carcharhinidae*) of the Indian Ocean**. J. Ichthyol., 15: 37-43.

Guisan A. Edwards Thomas C., Jr., Hastie Trevor. 2002. **Generalized linear and generalized additive models in studies**. Ecological Modelling. Elsevier Science. 157, 12 pp.

Gutiérrez Savala R. M., Cabrera Mancilla E. 2014. **"La pesca ribereña de Guerrero"** México. Instituto Nacional de Pesca, pp 41-42.

Hastie T. J. and Tibshirani R. J., 1990. **General Additive Models**. Edit. Chapman and Hall. 329 pp.

Holden MJ. 1974. **Problems in the rational exploitation of elasmobranchs populations and some suggested solutions**. En: Harden-Jones FR (ed). Sea Fisheries Research, pp. 113-137. John Wiley and Sons, Nueva York.

Holts DB, C Wilson y Ch G Lowe. 2001. **Blue shark. California's Living Marine Report**. California Department of Fish and Game, pp: 342-344.

Klimley AP 1987 **The determinants of sexual segregation in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini***. *Env Biol Fish* 18: 27–40.

Kohler, N.E., Turner, P.A., 2008. **Stock structure of the blue shark (*Prionace glauca*) in the North Atlantic Ocean based on tagging data**. In: Camhi, M.D., Pikitch, E.K., Babcock, E.A. (Eds.), *Sharks of the Open Ocean: Biology, Fisheries and Conservation*. Blackwell Publishing, Oxford, pp. 339e350.

Lara Lara, J. R., Arenas Fuentes V., Bazán Guzmán M. D. C., De La Cruz García Abad M., Díaz Castañeda V. M., Escobar Briones E., Gaxiola Castro G., Robles Jarero E. G., Sosa Avalos R., Soto González, Tapia García M. y Valdez Holguín J. E.. 2008 **“Los ecosistemas marinos.”** En: Soberón J. L. A., Halffter G. y Llorente J, Editores, "Capital Natural de México. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad". Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Litvinov FF 2006 **On the Role of Dense Aggregations of Males and Juveniles in the Functional structure of the Range of the Blue Shark *Prionace glauca***. *J Ichthyol* 46: 613–624.

MACE, G. M. and LANDE, R. 1991, **Assessing Extinction Threats: Toward a Reevaluation of IUCN Threatened Species Categories**. *Conservation Biology*, 5: 148–157.

McKinnell, S. and M.P. Seki. 1998. **Shark bycatch in the Japanese high seas squid driftnet fishery in the North Pacific Ocean**. *Fisheries Research* 39: 127-138.

Miranda Vázquez, L. A. 1996. **Análisis biológico-pesquero del tiburón azul (*Prionace Glauca Linnaeus, 1758*) en Ensenada, B.C** Tesis de maestría en ciencias. México. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

Motulsky H, Christopoulos A. 2003. **Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression**. Versión 4. San Diego CA: GraphPad PRISM®. URL: [www.graphpad.com](http://www.graphpad.com). 351p

Nakano, H. 1994 **“Age, reproduction and migration of blue shark in the North Pacific Ocean.”** *Bulletin of the National Research Institute of Far Seas Fisheries*, 31: 141-25

Nakano, H., Stevens, J., 2008. **The biology and ecology of the blue shark *Prionace glauca***. In: Camhi, M.D., Pikitch, E.K., Babcock, E.A. (Eds.), *Sharks of the Open Ocean: Biology, Fisheries and Conservation*. Blackwell Publishing, Oxford, pp. 140e151. Pratt, H.W., 1979. Reproduction in the blue shark, *Prionace glauca*. *Fishery Bulletin* 77, 445e470.

Narváez Pérez R. 2012 **Captura incidental de marlín rayado *Kajikia audax* (Philippi, 1887), Pisces: Istiophoridae, asociada a la pesca con palangre en el noroeste del Océano Pacífico Mexicano y su relación con la temperatura superficial del mar**. Tesis de licenciatura. México. Universidad Nacional Autónoma de México.

R Core Team. 2016. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

S-PLUS ® 8. 2007 **“Guide to Statistics, Volume 1**, Insightful Corporation, Seattle, WA. Estados Unidos. 381 pp.

Soriano-Velásquez, S.R., Acal-Sánchez D., Castillo-Géniz J.L., Vázquez-Gómez N., y Ramírez Santiago C. E. 2003. **Tiburones del Golfo de Tehuantepec**. *En: Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo. 2003-2004.* INP/SAGARPA 49 pp.

Soriano-Velásquez, S.R., Acal-Sánchez D., Castillo-Géniz J.L., Vázquez-Gómez N., y Ramírez Santiago C. E. 2004. **Tiburones del Golfo de Tehuantepec**. *En: Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo.* 2006. INP/SAGARPA 42 pp.

Sparre, P. y S. C. Venema. 1997. **Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual.** FAO Documento Técnico de Pesca N° 306.1 Rev. 2. 420 pp.

Surfer v13 2015. **Contouring Gridding and 3D Surface Mapping Software.** Golden software, LLC. Golden Colorado.

Tavares, R., Ortiz, M., & Arocha, F. 2012. **Population structure, distribution and relative abundance of the blue shark (*Prionace glauca*) in the Caribbean Sea and adjacent waters of the North Atlantic.** *Fisheries Research*, 129-130, 137–152.

Vandeperre F., Aires Da Silva A., Santos M., Ferreira R., Bolten A.B., Serrao S.R., Afonso P., 2014 **Demography and ecology of blue shark (*Prionace glauca*) in the centralNorth Atlantic.** *Fisheries Research*. 153 (2014) 89–102.

Vandeperre F., Aires-da-Silva A., Fontes J., Santos M., Serrão Santos R., Afonso P. 2014 **Movements of Blue Sharks (*Prionace glauca*) across Their Life History.** *PLoS ONE* 9(8): e103538. doi:10.1371/journal.pone.0103538

Vas Philip. 1990 **The abundance of the blue shark, *Prionace glauca*, in the western English Channel** *Environ Biol Fish* 29: 209. doi:10.1007/BF00002221

Vögler R., Beier E., Ortega-García S., Santana-Hernández H., Valdez-Flores J. 2012, **Ecological patterns, distribution and population structure of *Prionace glauca* (Chondrichthyes: Carcharhinidae) in the tropical-subtropical transition zone of the north-eastern Pacific.** *Marine Environmental Research* 73 pp. 37-52.

Walsh, A. & P. Kleiber, 2001. **Generalized additive model and regression tree analyses of blue shark (*Prionace glauca*) catch rates by the Hawaii-based commercial longline fishery.** *Fisheries Research* 53: 115- 131.

Wearmouth VJ, Sims DW., 2008. **Sexual segregation in marine fish, reptiles, birds and mammals: Behaviour patterns, mechanisms and conservation implications.** *Adv Mar Biol* 54: 107–170. [PubMed]



Wood, S. N. (2006). **Generalized additive models: An introduction with R**. Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC. 384 pp.

Young L. J., Young J. H. 1998. **Statistical Ecology**. Estados Unidos. Kluwer Academic Publishers. Pp 44-45.

Zeileis A., Kleiber C., Jackman S. 2007 **Regression Models for Count Data in R**. Research Report Series . Department of Statistics and Mathematics. Department of Statistics and Mathematics, WU Vienna University of Economics and Business, Vienna.

Zelterman D. 2002 **Advanced Log-linear Models Using SAS** Cary, NC: SAS Institute Inc. pp 197: 13-14.

Internet

FAO. 2014. "**FAO species catalogue Vol.4. Sharks of the world.**" An Annotated and Illustrated Catalogue of Shark Species Known to Date Part 2 - Carcharhiniformes. Compagno, L.J.V. 1984. FAO Fish. Synop., (125) Vol.4, Part 2 "**Species Fact Sheets *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758)**": <http://www.fao.org/fishery/species/2018/en>

FAO. 2014. "**Capítulo 2 Uso de medidas técnicas en la pesca responsable: regulación de artes de pesca**". BJORDAL Åsmund Instituto de Investigación Marina, Bergen, Noruega. <http://www.fao.org/3/a-y3427s/y3427s04.htm>

FAO. 2014. Imagen Maugeri S. "**La pesca con redes de enmalle caladas en el fondo**" <http://www.fao.org/docrep/004/x6936s/x6936s00.htm>

FAO. 2014. Rome. Perspectivas alimentarias "**OSCILACIÓN MERIDIONAL EL NIÑO (ENSO)**" <http://www.fao.org/docrep/007/j3877s/j3877s07.htm>

FRDC. 2014. Fisheries Research and Development Corporation. "**Hook and line**" Australia [http://fish.gov.au/fishing\\_methods/Pages/hook\\_and\\_line.aspx](http://fish.gov.au/fishing_methods/Pages/hook_and_line.aspx)

Fridley, J. 2017. "**Quantitative Methods for Life Scientists**". Lecture notes from Bio793: Plant Ecology / Niche modeling / Modeling in R. Generalized additive models in R. Syracuse University. <http://plantecology.syr.edu/fridley/bio793/gam.html>

INEGI. 2014. [http://cuentame.inegi.org.mx/hipertexto/zona\\_economica.htm](http://cuentame.inegi.org.mx/hipertexto/zona_economica.htm)

ITIS. 2014. Integrated Taxonomic Information System (ITIS) [http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=160424](http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=160424)

NOAA. 2014. National Oceanic and Atmospheric Administration, Fisheries <https://swfsc.noaa.gov/imagegallery/?moid=529>

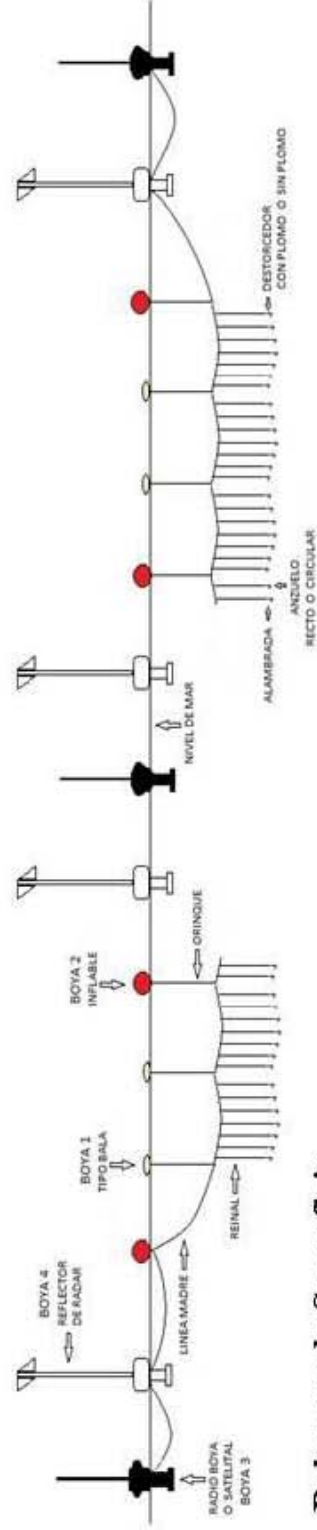
Ocean of know. 2014. "**Shark Distribution and Water Temperature**" <http://oceanofknow.org/tag/Tagmigrate/ddisttemp.html>

## **ANEXO 1**

## Programa de Observadores de Tiburón Definiciones

### Definiciones del formato biológico

Campo	Definición
No. Crucero	Numero del Crucero
No. Lance	Numero del lance
ID	Numero consecutivo de los individuos muestreados
Especie	Nombre científico de la especie
Tipo de anzuelo	Se refiere al anzuelo según su fabricación ( Recto o Circular)
Tamaño de anzuelo	Se refiere al tamaño del anzuelo según su fabricación
Zona de Enganche	1: Tiburón anzualeado en la Boca; 2: Tiburón con anzuelo tragado; 3: Tiburón anzualeado en alguna aleta; 4: Tiburón enganchado de otra forma.
L Total / LCuerpo	Longitud total o Longitud del cuerpo en las rayas
LFurcal / Ancho Disco	Longitud furcal o Ancho de disco en las rayas
LPrecaudal	Longitud patrón
MInf-Lfurcal	Distancia horizontal de la mandíbula inferior a la longitud furcal solo para picudos
Ojo-Lfurcal	Distancia horizontal del la orilla del lado posterior del ojo a la longitud furcal solo para picudos
Lclasper	Longitud desde la punta de la cloaca a la punta distal del clasper
Sexo	En tiburones: los que tienen clasper son machos, en picudos hay que observar la gonada
Peso	Peso entero
Edo. Madurez	Estado de madurez
No. Embriones	Numero total de embriones contenidos en los uteros (tiburones y rayas)
Vivo/muerto	Anotar si el organismo fue subido a cubierta vivo o muerto
Notas	Anotar los comentarios u observaciones pertinentes sobre el organismo



**Palangre de Superficie**

**Definiciones del formato de captura por lance**

<b>Campo</b>	<b>Definición</b>
No. Crucero	Numero del Crucero
No. Lance	Número del lance
Especie	Nombre científico de la especie
Captura total	Suma total del numero de organismos capturados en el lance
Peso total estimado	Suma total del peso estimado por especies capturados en el lance (kg)
Descartes totales	Son los individuos de cualquier especie que son devueltos al mar
Descartes vivos	Son los individuos de cualquier especie que son devueltos vivos al mar
Tipo y Tamaño de anzuelo	Se refiere al tipo y tamaño del anzuelo según su fabricación
Especie	Especie de carnada utilizada en el lance
Talla Promedio	Talla Promedio de la carnada en cm, utilizada en el lance
Peso total estimado	Total de peso de carnada utilizada en el lance por especie en kg

**Formato de Embarcación y Equipo**

<b>Campo</b>	<b>Tipos</b>
Casco	Acero y Fibra de Vidrio
Palangre	Superficie, Media Agua y Fondo
Línea madre (Material)	Monofilamento y multifilamento
Boya 1	Bala y Atunera (color amarilla)
Boya 2	Inflable y japonesa (cacahuete)
Boya 3	Radio boya y Satelital
Boya 4	Banderin y Reflector de Radar
Reinales (Piola/Cabo) Material	Monofilamento, Multifilamento y Cremona
Destorcedor	Con Plomo y Sin Plomo
Peso de Destorcedor	Únicamente de tipo Con Plomo
Orinque	Monofilamento, Multifilamento y Cremona







<b>Palangre</b>								
<b>Palangre</b>	Cant. Total		<b>Reinales</b>	Cant. Total		<b>Anzuelos</b>	Cant. Total	
	Tipo			Longitud			Tipo y Tamaño	
<b>Línea Madre</b>	Longitud	Millas		Piola/cabo	Material		Dimensiones (cm)	Largo-A
	Material	Tipo			Diámetro (mm)			Ancho-B
	Diámetro	mm		Alambrada	Longitud (cm)			Boca-C
<b>Boya 1</b>	Tipo				Diámetro (mm)			Prof.-D
	Cant. Total			Destorcedor	Tipo			<b>Orinque</b>
<b>Boya 2</b>	Tipo				Peso		Material	
	Cant. Total			Separación	m		Diámetro	
<b>Boya 3</b>	Tipo							
	Cant. Total							
<b>Boya 4</b>	Tipo							
	Cant. Total							

<b>Equipo Eléctrico</b>									
	Marca	Potencia (Kw)	Frecuencia (Khz)	Alcance (millas)		Marca	Potencia (Kw)	Frecuencia (Khz)	Alcance (millas)
Video Sonda					Radio VHF				
Ecosonda					Radiogoniómetro				
Sonar					Radio SSB				
Radar					Software para Boya Satelital				
GPS					Soft percepción remota (Imágenes satelitales)				
Faximil									





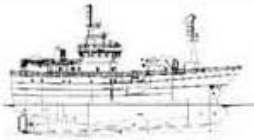
## Programa de Observadores de Tiburón

### Embarcación y Equipo



<b>No. Crucero:</b>	<input type="text"/>	<b>SALIDA</b>	<b>LLEGADA</b>
<b>Observador Científico</b>	<input type="text"/>	<b>Fecha</b>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<b>Hora</b>	<input type="text"/>
<small>Ap. Paterno Ap. Materno Nombre</small>	<input type="text"/>	<b>Puerto</b>	<input type="text"/>
<b>Nombre de la embarcación</b>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

### Características de la Embarcación

Casco		Autonomía	(días)	Cap. Agua Dulce	Lt
Calado	(m)	Capacidad de bodega	Ton.	Maquina Principal	HP
Eslora	(m)	Peso Bruto	Ton.		R.P. M.
Manga	(m)	Peso Neto	Ton.	Veloc. Máxima del Crucero	nudos
Puntal	(m)	Cap. Combustible	Lt	Cobra líneas	HP
		Cap. Aceite Lubricante	Lt		R.P.M.
		Cap. Aceite Hidráulico	Lt	Matricula del Barco	