



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación.

Unidad Académica Sisal, Yucatán

ESTIMACIÓN DE LA EDAD Y CRECIMIENTO DEL
TIBURÓN MARTILLO *Sphyrna zygaena* (Linnaeus,
1758) CAPTURADO EN LA COSTA DE BAJA
CALIFORNIA SUR, MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN MANEJO SUSTENTABLE DE ZONAS COSTERAS

PRESENTA

LEONORA SEVILLA URIBE

DIRECTOR DE TESIS

DRA. KATHERIN SOTO LÓPEZ

ASESOR INTERNO

M. EN C. MARIBEL BADILLO ALEMÁN



Sisal, Yucatán. 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

JURADO

Datos del alumno

Sevilla Uribe Leonora

leonora.sev@ciencias.unam.mx/leonora_sev@hotmail.com

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Manejo Sustentable de Zonas Costeras

1. Datos del tutor 1

Dra. Katherin Soto López

CICIMAR, IPN

La Paz, B.C.S.

3. Datos del sinodal 1

M. en C. Alfredo Gallardo Torres

Facultad de Ciencias, UNAM

Sisal, Yucatán

2. Datos del tutor 2

M. en C. Maribel Badillo Alemán

Facultad de Ciencias, UNAM

Sisal, Yucatán

4. Datos del sinodal 2

Dr. Jorge Alberto López Rocha

Facultad de Ciencias, UNAM

Sisal Yucatán

5. Datos del sinodal 3

Dr. Daniel Arceo Carranza

Facultad de Ciencias, UNAM

Sisal, Yucatán

Datos del trabajo escrito

Estimación de la edad y crecimiento del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) capturado en la costa de Baja California Sur, México.

quita el mérito de todo lo que has avanzado.” “Tú progreso sigue siendo valioso incluso si es más lento que el de alguien más” “Toda persona tiene la capacidad de cambiar su destino si tiene la suficiente valentía de luchar por aquello que desea más que cualquier otra cosa” “Pronto todo tendrá sentido, mientras, vibra muy alto” “Si dejas que la percepción que la gente tiene de ti dicte tu comportamiento. Nunca crecerás como persona. Pero sí te mantienes abierto a la experiencia... a pesar de lo que otros piensen. Entonces aprenderás y crecerás.” “Nunca esperes que el mundo comparta tus sueños, a final de cuentas son sólo tuyos” “A veces las cosas con las que te comprometes, no les gustarán a todos. Luchar por lo que quieres... tiene su precio. Si quieres ser el mejor, tienes que hacer sacrificios... tal vez no todos a la vez.” “No sé cuántas oportunidades tienes de cambiar tu vida, ni cómo te alejas de ellas cuando te das cuenta que no son para ti. Para seguir buscando sabiendo que tu canción perfecta está allá afuera aunque no se haya escrito aún.” “La única forma de conquistar tus temores, es vivir peligrosamente, mirándolos a la cara.”

“No trabajo en algo porque crea que es importante. Trabajo en cosas que, para mí, son interesantes”.

Eugenie Clark. The Shark Lady

“Dejaré de culpar al mundo por no darme lo que quiero, sólo lo tomaré.” “El punto nunca fue cumplir el sueño, si no tener uno y darlo todo por ello.” “Si no apuntas a nada, nunca atinarás nada.” “¿En verdad es imposible?, ¿o eso te dice tu miedo?” “Y cuando sientas miedo de saltar, ese es el momento exacto en el que tienes que saltar. De lo contrario te quedarás en el mismo lugar toda tu vida.” “Si no arriesgas tu vida, no podrás crear un futuro.” “Viniste sin temores, no te arrepientas sin importar lo que suceda. Este es el duelo que querías.” “Ni Dios ni el diablo pueden ayudar a aquellos que no tienen deseos de pelear.” “Ser fuerte no se trata solamente de tener poder, se trata de nuestro espíritu.” “Los milagros solo le suceden a las personas que no se rinden.” “Los débiles no deciden nada, ni siquiera cómo mueren.” “Necesitas aceptar el hecho que no eres el mejor, ten la voluntad para luchar y ser mejor que cualquiera que enfrentes.” “Deja de llorar por lo que has perdido y lucha por lo que aún conservas.” “Haz todo desde el amor.”

“Los tiburones son animales hermosos y si tienes la suerte de ver muchos de ellos, eso significa que estás en un océano saludable. Debes tener miedo si te encuentras en el océano y no ves tiburones”.

“No te condices a ti mismo, no te culpas por algo... siempre se puede abrir camino...” “Ama tu pasado. Pero sigue el viaje.” “La vida es un eterno dejar ir. Solamente con las manos vacías podrás agarrar algo nuevo.” “Bloqueamos nuestros sueños, cuando permitimos que el miedo sea mayor que nuestra fe.” “Lo importante en la vida no es un punto, sino una coma.” “Tuve que sobrevivir en aguas en las que nunca antes nadé. Claro que no soy el mismo.” “No te preocupes por el futuro, sólo vive para que crezcan las flores y árboles.” “No dejes que la opinión de otros se convierta en tu realidad.” “Puedes controlar automáticamente, lamentándote de lo malo que has sido, sintiéndote culpable hasta morir, una pequeña parte de esa culpa hará nada para cambiar cualquier cosa del pasado.” “El gran placer de la vida es hacer lo que la gente dice que no puedes” “La tristeza es una rara expresión del amor” “Un mundo, un mundo se extiende frente a tus ojos sólo si eres libre... y si tus sueños infinitos son los que guían tu destino ve más allá de ellos, agitando la bandera de tus convicciones.” “Pasar por momentos difíciles te hace alguien más comprensivo, y eso no es lo mismo a ser alguien débil” “No vivas con falsedades ni miedos porque terminarás odiándote a ti mismo.” “Acepta las cosas que no puedes cambiar, ten el valor de cambiar las cosas que puedes y ten la sabiduría para conocer la diferencia.” “Los destinos son señales en el camino, donde terminan, depende de sus decisiones.” “Háblenme y lo olvidaré, enséñenme y lo recordaré, involúcrenme y aprenderé” “Si no está en tus manos cambiar una situación que te produce ese sufrimiento” “Todo el esfuerzo es inútil, si no crees en ti mismo.” “Los milagros sólo existen cuando crees en ellos como si todo el universo fuera tuyo” “Lo que tú haces marca una diferencia. Así que debes decidir la diferencia que quieres marcar en el mundo” “Los pasos más pequeños pueden abrir los senderos más brillantes” “Si vas a hacer algo, hazlo. Y si tienes miedo, hazlo con miedo.” “Vive para ti y no para los demás” “Lo que consume tu mente, controla tu vida” “No hables mal de ti mismo, porque el guerrero que esta dentro de ti escuchara tus palabras y se debilitará por ellas...” “Ella es ese tipo de mujer que se inventa otro universo si lo necesita.” “Pasa tu vida amando, no buscando amor. El mar no necesita buscar al agua” “No te quitaré nada que necesitas, atte: el universo/destino/karma” “Que tu compromiso contigo sea más fuerte que tus excusas.” “Trabajo lo suficiente para que un día tus ídolos se vuelvan tus colegas” “Ser real es el mejor favor que puedes hacerte” “Que el resultado no sea tu motivo y que tu apego no sea la in acción” “Llora corazón, pero no te romas.” “No escuches las opiniones de personas con las que no intercambiarías la vida” “El universo nunca te dice no... Lo que te dice es. No todavía, te espera algo mejor.” “Todos merecemos a alguien que esté perdidamente enamorado y orgulloso de nosotros, que nos admire y sea la persona más feliz del mundo, nos ame sin límites y nos permita ser.” “Fui asaltado por los recuerdos de las más pobres y las más firmes de mis alegrías; los olores del verano, el barrio que amaba de la tarde, la risa y los vestidos...” “Carpe Diem” “No nos perdonan nuestra felicidad y nuestros éxitos si no consentimos generosamente en compartirlos. Pero para ser feliz no hay que ocuparse demasiado en los otros. Luego, no hay salida posible: feliz y juzgado, o bien absuelto y miserable - AC” “Déjeme soñar, quiero pensar que tengo alas y vuelo. Permítanme sentir; que a veces siento que no siento nada y muero. Libérenme del silencio, que llevo dentro de mi un mar de palabras, y me ahogo.” “Sonríe. Igual todos estamos jodidos.” “Cuando tienes mala suerte, lo único que puedes hacer es enfrentarla, quejarte y poner excusas te hará lucir patético” “Un cerdito nunca puede ver el cielo porque no puede mirar arriba, la única forma que pueden hacerlo es cayendo. Caerse es otra forma de ver

“El arte es una magia que hace que las horas se desvanezcan e incluso los días, se disuelvan en segundos”

Leonora Carrington

“Desde que nace, lleva el peso de la gravedad sobre sus hombros, pero el hombre solo tiene que sumergirse para ser libre”.

Jacques-Yves Cousteau

DEDICATORIA

Por su inconmensurable amor, a mis padres.

Por permitirme perseguir cada uno de mis sueños, brindarme todas las herramientas con las que contaban y buscar todas aquellas que no.

A mi madre, que me inculcó la pasión por la cultura, los viajes, la aventura y sobre todo por el mar mucho antes de caminar o hablar.

A mi padre, que fomentó mi lado artístico, carisma y personalidad para transformarme en mi mejor versión.

Gracias Marina y Humberto por darme más que la vida, más de lo que merecía y comprendía.

Por enseñarme que las limitaciones no son reales cuando se trata de perseguir mis metas y sueños, que atreverme a hacer cosas nuevas implica éxitos, fracasos, necesarios para crecer y vivir.

A mi familia tan grande y pequeña para compartir una sola página.

Para mi familia Uribe y Sevilla.

Para aquellas personas que amé y me amaron, que ya no se encuentran físicamente conmigo, que siempre esperaron grandes cosas para mí. Gracias por creer en mí. Abuela Alicia Ambriz, maestra Raquel Job.

“Por si regresas a preguntarme, por fin terminé, perdona la espera abuelo Jorge”.

A mis queridos amigos, por su confianza en mi cuando me fue más difícil, por compartir la alegría y tristeza de la vida. Por cada consejo incondicional, charla y recuerdo invaluable.

Gracias por cruzarse en mi camino.

A mis sueños, metas, aspiraciones; alcanzadas y por cumplir.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente en un ambiente lleno de cultura y ciencia como lo es la UMDI, Sisal.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN por proporcionarme los medios para realizar el presente trabajo. Así como al “Proyecto Tiburones y Rayas”, al Dr. Felipe Galván y a la decana la Dra. Rosa Isabel Ochoa por brindarme la oportunidad y las herramientas para cumplir mi ambición de trabajar con tiburones.

A los profesores que me acompañaron en esta travesía, me motivaron con su trayectoria y conocimientos. Sobre todo a los que me compartieron su pasión por los peces y las pesquerías, Jorge Rocha, Maribel Badillo, Marco Ponce, Carlos Rosas, Daniel Arceo, Héctor Cisneros, Adolfo Sánchez... Así como a los maestros y doctores que me guiaron en este trabajo y brindaron su tiempo para completar esta investigación.

A mi tutora, la Dra. Katherin Soto por su guía y capacidad para compartir su pasión por los tiburones.

A los pescadores, hombres y mujeres que he conocido a lo largo de mi trayectoria académica, de los que he aprendido y sobre todo a los que participan de proyectos como el presente. Así como a la familia que me recibió en Sisal, que compartió su vida conmigo y a la amistad que permanecerá por generaciones.

A mis amigas y amigos que me acompañaron en cada etapa universitaria con todo tipo de aventuras, diversión y amistad; pasados, presentes y los que espero permanezcan en el futuro
(Nayeli Patlán, Yax, Erika, Soul, Mariel, Pily, Marco, Brenda, Dajely, Xavi, Yami, Acis). 정

Al Dr. Torres Salazar y a la escritora Olga Cota por haber apostado su confianza y sobre todo por reavivar la mía en un momento difícil.

A mi familia, por permitirme soñar y perseguir el anhelo de ser puma universitaria desde mi niñez. Por sus palabras de aliento y por su fe inamovible en mí.

RESUMEN

En México, la pesca artesanal de elasmobranquios es una actividad económica importante que brinda empleo y alimento a las comunidades costeras. Baja California Sur, representa uno de los estados más importantes en términos de producción pesquera, con actividades tanto en el Océano Pacífico como en el Golfo de California. El tiburón martillo *Sphyrna zygaena* o cornuda prieta (Linnaeus, 1758), es una especie de gran importancia para el comercio nacional e internacional, sin embargo, es una de las especies menos estudiadas.

Por lo cual, en el presente trabajo se estimó la edad y el crecimiento de *S. zygaena* capturada en la costa del Golfo de California, por medio del análisis de bandas de crecimiento presentes en las vértebras. Esto, con el objetivo de incrementar la información biológica de la especie y generar resultados que contribuyan en la gestión pesquera de la especie y favorezca el manejo sustentable de los tiburones.

Durante el periodo de febrero de 2018 a noviembre de 2021, se procesaron un total de 51 organismos de los cuales 38 corresponden a machos y 27 a hembras del tiburón martillo *Sphyrna zygaena*. Se ajustaron dos modelos de crecimiento para la determinación de los parámetros, el modelo de von Bertalanffy de tres parámetros, junto con su ecuación modificada, así como el modelo de Gompertz tradicional y su forma modificada, estos se compararon a partir del criterio de Akaike con el objetivo de determinar el modelo con el mejor ajuste a los datos.

Se obtuvo un intervalo de tallas que comprende desde los 70 cm a 186 cm de longitud total (LT). Se registró un intervalo de edades de 3 a 11 años con una formación de las bandas de crecimiento anual lento.

El modelo más adecuado para el crecimiento por sexos combinados de la especie fue el de dos parámetros de Gompertz ($L_{inf}= 216.91$, $k= 0.1125$). En el caso de las hembras y machos, el modelo que mejor describió su crecimiento fue el de dos parámetros de Gompertz con los siguientes parámetros: $L_{inf}=292.11$, $k=0.0826$ para hembras y para machos $L_{inf}=173.122$, $k=0.1551$.

Los resultados del presente estudio aportan información biológica de la especie de tiburón martillo cornuda prieta, *Sphyrna zygaena* para el desarrollo del manejo sustentable efectivo de la pesquería de tiburones en México.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS	4
INTRODUCCIÓN	6
ANTECEDENTES	8
<i>Pesquería del tiburón en Baja California Sur (BCS). Importancia económica.</i>	8
<i>Sphyrna zygaena, conocimiento actual en biología y ecología</i>	11
<i>Edad y crecimiento</i>	13
<i>Estatus y amenazas actuales</i>	18
<i>Medidas de manejo: conservación y gestión de esfirnidos en México</i>	18
JUSTIFICACIÓN	20
HIPÓTESIS	22
OBJETIVO.....	22
<i>Objetivos específicos</i>	22
METODOLOGÍA.....	23
<i>Área de estudio</i>	23
<i>Trabajo de campo</i>	24
<i>Procesamiento y acondicionamiento de muestras</i>	25
ANÁLISIS DE DATOS.....	27
Estructura de tallas	27
Relación talla del organismo y radio de la vértebra.....	27
Lecturas de bandas de crecimiento. Precisión del conteo de edad	27
Porcentaje de bordes.....	28
Índice de incremento marginal	28
Modelo de crecimiento.....	29
Comparación de modelos	32
Contraste de modelos. Pacífico, Atlántico	32
RESULTADOS	33
Estructura de tallas	33
Relación talla del organismo y radio de la vértebra.....	34
Lecturas de bandas de crecimiento. Precisión del conteo de edad	35
Porcentaje de bordes.....	37
Índice de incremento marginal	39

Modelo de crecimiento.....	40
Comparación de modelos.....	45
Contraste de modelos. Pacífico, Atlántico.....	46
DISCUSIÓN.....	49
OPORTUNIDADES PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS TIBURONES	60
CONCLUSIONES.....	64
RECOMENDACIONES.....	65
GLOSARIO.....	67
BIBLIOGRAFIA.....	68
ANEXOS.....	81
Artes de pesca empleadas en la captura de tiburón	81
Medidas morfométricas usadas para tiburones	82
Edades y grupos observados.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción pesquera "cazón y tiburón" durante el 2020 en diferentes estados de México. Elaboración propia, fuente: Anuario estadístico de Pesca y Acuicultura, 2020	9
Figura 2. Estructuras del tiburón <i>S. zygaena</i> en vista ventral y lateral. Elaboración propia, revisada.	11
Figura 3. Registro de parámetros de crecimiento empleados por diferentes autores (L_{inf} = longitud infinita, k = constante de crecimiento, t_0 = edad estimada en longitud cero, L_0 = longitud a la edad cero) en los modelos de von Bertalanffy y Gompertz por sexos y para sexos combinados (n = número de muestras).....	17
Figura 4. Mapa de la zona de estudio donde se muestra la localidad denominada como "San Bruno" y Santa Rosalía también conocido como "La Dársena". BCS, México	24
Figura 5. Fotografía de un corte sagital de una vértebra de <i>S. zygaena</i> , observada bajo luz transmitida en un medio húmedo para el conteo de bandas. RV= radio de la vértebra. Distancias medidas en la vértebra 1a) última banda, 1b) penúltima banda.....	26
Figura 6. Modelos utilizados en la estimación del crecimiento de <i>S. zygaena</i> en la costa del Golfo de California.	31
Figura 7. Frecuencia de tallas (LT) de <i>S. zygaena</i> en el Golfo de California 2018 - 2021.....	33
Figura 8. Relación entre el radio (mm) de la vértebra y la longitud total (cm) de <i>S. zygaena</i> en el Golfo de California, 2018 -2021.	34
Figura 9. Relación entre el radio de la vértebra (mm) y la longitud total (cm) de <i>S. zygaena</i> para machos y hembras en el Golfo de California, 2018 -2021.	35
Figura 10. Variación promedio en las lecturas de marcas de crecimiento entre lectores. Barras de error estándar	36
Figura 11. Variación promedio intralector de la segunda y tercera lectura de bandas. Barras de error estándar.	37
Figura 12. Frecuencia mensual de la formación de bordes hialinos (bandas blancas) y opacos (bandas negras). Eje secundario; temperatura superficial del Mar (°C) (TSM) (NOOA, 2021). ...	38
Figura 13. Contraste de la frecuencia mensual de la formación de bordes hialinos (bandas blancas) y opacos (bandas negras) del presente estudio y Moran Villatoro (2018) para <i>S. zygaena</i> en el Golfo de California. Eje secundario; Temperatura promedio superficial del Mar (°C) (TSM) (NOOA, 2021).	39
Figura 14. Incremento marginal promedio mensual (mm) vértebras de <i>S. zygaena</i> . Eje secundario; TSM (°C). Barras de error estándar.	40
Figura 15. Estructura de edades. Frecuencia de edades por sexo para <i>S. zygaena</i> , considerando una formación anual de bandas por año.	41
Figura 16. Parámetros de crecimiento estimados del modelo von Bertalanffy, Gompertz de dos y tres variables para machos, hembras y sexos combinados de <i>S. zygaena</i> . v.B. = von Bertalanffy	42
Figura 17. Modelos de crecimiento para hembras y machos de <i>S. zygaena</i> en el Golfo de California, 2018-2021.	43
Figura 18 (a) y 19 (b). Modelo de crecimiento para (a) hembras y (b) machos de <i>S. zygaena</i> en el Golfo de California, 2018-2021.	44

Figura 20. Criterio de Akaike (AIC) de <i>S. zygaena</i> en el Golfo de California 2018-2021.	45
Figura 21. Parámetros estimados anteriormente y del presente estudio (L_{inf} , k y t_0/L_0) para <i>S. zygaena</i> 2004 - 2022	47
Figura 22. Comparación de las curvas de crecimiento para machos a partir del modelo de 2 von Bertalanffy en el Golfo de California (presente estudio) y 3 von Bertalanffy estimadas por Coelho et al. (2011) para el Atlántico, Falconí (2015) en las costas de Puerto López- Ecuador (Pacífico) y Garza (2004) en las costas de Baja California Sur (Golfo de California y Pacífico mexicano), además del modelo 3 von Bertalanffy para las hembras de la cornuda prieta <i>Sphyrna zygaena</i>	48
Figura 23. Representación gráfica de un palangre en vista panorámica. Calado pelágico /de deriva (arriba) y calado de fondo (abajo). Vista global: anzuelo con carnada conectado con brazoladas (bolseras, cuerdas auxiliares) a la línea principal. Fuente: FAO, (Bjordal, 2005).	81
Figura 24. Representación gráfica de una red agallera y su principio de captura (vista panorámica), red de deriva (arriba) y calado de fondo (abajo). Fuente: FAO, (Bjordal, 2005).	82
Figura 25. Medidas morfométricas recolectadas de los tiburones capturados de <i>S. zygaena</i> . Elaboración propia, revisada.	82
Figura 26. Antecedentes de los grupos de edad estimados en trabajos previos de <i>S. zygaena</i>	83

INTRODUCCIÓN

Los tiburones son uno de los grupos más antiguos. Habitan en los océanos del mundo desde hace más de 400 millones de años y pertenecen a un grupo variado de peces vertebrados que se caracterizan por poseer un esqueleto cartilaginoso que los identifica en la clase *Chondrichthyes* que, junto con las rayas, conforman la subclase de los elasmobranquios (Camhi et al., 1998; Instituto de Biología. UNAM., 2011).

Como depredadores en el ecosistema, moldean directa o indirectamente las poblaciones vegetales y animales del ecosistema, por lo que cumplen un rol ecológico crucial para el equilibrio de las comunidades marinas (Munroe et al., 2014; Ruppert et al., 2016), sin embargo, poseen una estrategia reproductiva *k* que los caracteriza como animales longevos de lento desarrollo, que sumado a su baja fecundidad y madurez sexual tardía los hace vulnerables a alteraciones antropogénicas, como la sobrepesca (Stevens et al., 2000; Rigby et al., 2014).

La explotación mundial de tiburones para satisfacer la demanda de consumo ha escalado a niveles considerables que ponen en duda el estado de salud de las poblaciones de tiburones en diferentes regiones del mundo. En la actualidad, se conocen más de 400 especies de tiburones de las cuales, un tercio de las poblaciones se consideran en peligro de extinción (UICN, 2009).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en 2018, señala a México como uno de los cinco países con mayor índice de captura de “tiburón y cazón” (DOF, 2022). A lo largo de la zona costera de México, la pesca artesanal o ribereña de elasmobranquios se ha desarrollado como una actividad económica importante para las comunidades costeras (Castillo-Géniz et al., 2017) por lo cual, cumple un papel fundamental para la mitigación de la pobreza y la seguridad alimentaria, al proporcionar medios de vida y alimento a una población que continúa en aumento. El incremento demográfico implica una mayor presión ambiental en los recursos marinos (FAO, 2018, 2020).

En el litoral del Golfo de California, se pueden encontrar alrededor de 40 especies de tiburón de las cuales 27 son explotadas comercialmente, *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) figura entre las más abundantes (Castillo-Géniz et al., 2017), considerada como la segunda especie de tiburón martillo con mayor índice de captura la cual, se encuentra actualmente en estado vulnerable en la lista roja de especies amenazadas (IUCN) (Pérez-Jiménez, 2014; Rigby et al., 2019).

El estado de Baja California Sur (BCS) cuenta con 2,200 km de litoral costero, de los cuales 63% corresponden al Océano Pacífico y 37% al Golfo de California (INAFED, s/f) por lo cual, la demanda de productos pesqueros representa un recurso importante para su desarrollo económico.

El interés por conservar y proteger a las poblaciones de tiburones crece cada día en México y en el mundo, prueba de ello, es la implementación de acuerdos (CITES), leyes (NOM-059-SEMARNAT-2010, NOM-029-PESC-2006), iniciativas (suprimir prácticas de aleteo en México) y programas de difusión para la conservación de tiburones por parte de organizaciones gubernamentales, públicas y privadas. Es así que, estos esfuerzos para mejorar la gestión de las pesquerías, deben cumplir con las necesidades de cada especie, de la zona y deben contemplar al sector económico en todas sus etapas (Lluch-Cota et al., 2006; Jorgensen et al., 2022).

El aporte de información en la historia de vida de las especies es indispensable en la toma de decisiones y en la elaboración de políticas públicas. La adecuada estimación de la edad y crecimiento es esencial para la evaluación pesquera en la aplicación de modelos estadísticos (por ejemplo: en la evaluación del stock de una población, en la estimación de la talla de primera madurez, la tasa de crecimiento y mortalidad, etc) que a su vez, es primordial en la evaluación de la dinámica poblacional. Es así que, por medio de la creación de medidas de manejo y conservación fundamentadas en investigaciones de esta índole que tengan por objeto desarrollar un manejo responsable, se favorezca la conservación de las poblaciones de tiburones saludables y a las comunidades tiburonerías económicamente activas (Dulvy et al., 2017).

Con base en lo anterior, se establece la necesidad de aportar información sobre algunos de los rasgos de la historia de vida del tiburón martillo *Sphyrna zygaena*, como lo es la edad y crecimiento, de modo que el presente trabajo contribuya a la información actual, así como en la elaboración de futuros planes de manejo y en la toma de decisiones que competen a la conservación de la cornuda prieta.

ANTECEDENTES

Pesquería del tiburón en Baja California Sur (BCS). Importancia económica.

A nivel internacional, México ocupó el segundo lugar en la producción de tiburones y es considerada como una de las pesquerías nacionales más importantes con un total de 42,004 toneladas durante el 2020 (CONAPESCA, 2020).

La pesca de tiburón en la región de BCS se caracteriza como una actividad oportunista (dirigida a varias especies). Actualmente, de acuerdo al anuario estadístico de pesca, BCS se posiciona a nivel nacional como el segundo estado con mayor producción pesquera con un total de 7,628 toneladas de “tiburón y cazón”¹ durante el 2020, lo que representa el 18% de la producción del país, mientras que a nivel estatal la captura de tiburón se ubica como la tercera pesquería más importante destinada a consumo nacional o de exportación (*Figura 1*) (CONAPESCA, 2020).

¹ El término “cazón” descrito en el Anuario Estadístico de Pesca comprende a todas las especies de tiburones menores a 1.5 metros de longitud total. Es decir que se pueden encontrar especies de tiburón adulto que no sobrepasan dicha talla.

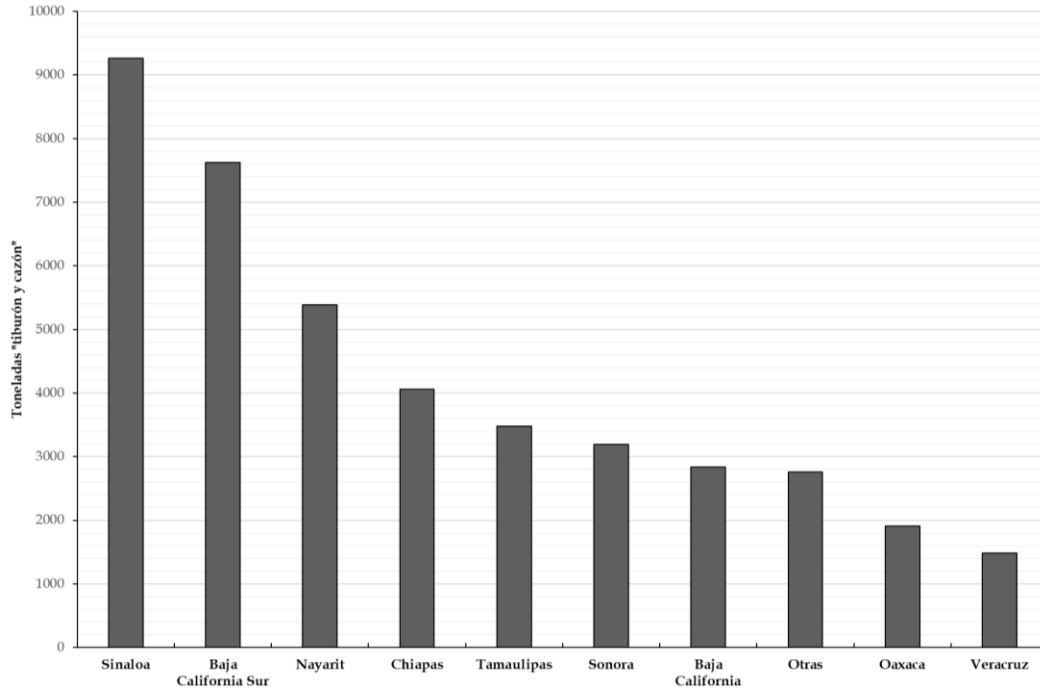


Figura 1. Producción pesquera "cazón y tiburón" durante el 2020 en diferentes estados de México. Elaboración propia, fuente: Anuario estadístico de Pesca y Acuicultura, 2020

En la zona del Pacífico mexicano operan tres clases de flota: embarcaciones de altura, mediana altura y artesanales (menores). En BCS se compone principalmente de embarcaciones ribereñas o artesanales (3,955 activas en 2020) y en menor medida de embarcaciones mayores (19 activas en 2020).

La pesca artesanal se caracteriza por embarcaciones menores a 10.5 m de eslora y representan cerca del 40% de la producción nacional (Arreguín-Sánchez et al., 2004; CONAPESCA-INP, 2004; CONAPESCA, 2020). En la pesca artesanal se utiliza una gran variedad de artes de pesca que dependen de la región y la época del año, en BCS se desarrolla a partir del uso de dos herramientas; redes o palangre (Bizzarro et al., 2009; Ramírez-Amaro et al., 2013) (*Revisar Anexos, figuras 23 y 24*).

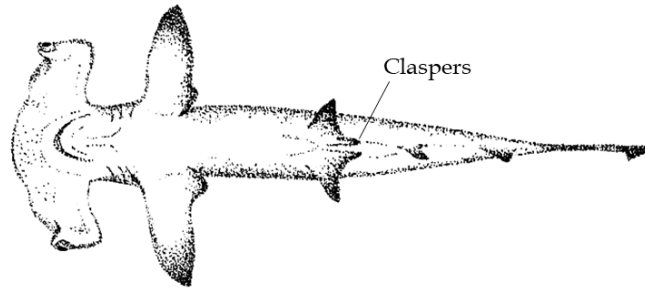
El tiburón como recurso pesquero, además del gran potencial alimenticio que proporciona carne de bajo costo, se distribuye en la capital del país y otras ciudades de gran importancia. Es así que además, se le asignan otras aplicaciones (Eriksson & Clarke,

2015) como es la de ornato con la venta de productos para decoración, tal como las mandíbulas o dientes. Otras propiedades se encuentran en las aplicaciones en farmacia; con el hígado de los tiburones como suplemento alimenticio y antiinflamatorio, o con el escualeno utilizado en algunos cosméticos. Por otra parte, el cartílago de tiburón se ha empleado en el tratamiento del cáncer, no obstante, esta aplicación no ha sido efectiva. Es así que, se puede considerar que en México se aprovecha prácticamente en su totalidad (piel, carne, hígado, vísceras, cartílago, mandíbulas) (Ostrander et al., 2004; Lewkowicz et al., 2006; Alifrangis & Stebbing, 2012). Sin embargo son principalmente las aletas de gran interés para el comercio internacional como un producto para exportación, sobre todo para el mercado asiático. En Asia, las aletas poseen un valor económico y cultural importante, como un producto lujoso, cuyo consumo se asocia al poder adquisitivo y a las relaciones sociales (Fabinyi, 2012).

Las aletas se pueden clasificar hasta en 30 categorías comerciales que determinan el precio y demanda de producto. La calidad de la sopa de aleta de tiburón es determinada a partir de la longitud, grosor y textura de la ceratotriquia (OCEANA, 2008). La clasificación más común corresponde al tamaño y color, donde las aletas negras se consideran de menor valor, mientras que las blancas poseen un mayor número de agujas o radios de ceratotriquia y por ende mayor calidad (Hau et al., 2018). Por otro lado, los consumidores también presentan una inclinación por el consumo de tiburones “raros”, lo cual permite identificar de forma puntual la preferencia por algunas especies (Zhou et al., 2021). Las aletas de tiburón del género *Sphyrna* son particularmente valoradas como un producto de primera calidad por su alta cantidad de agujas que producen una “sopa de calidad” (Rose, 1996; Castellanos et al., 2013; Eriksson & Clarke, 2015).

Sphyrna zygaena, conocimiento actual en biología y ecología

Vista ventral



Vista lateral

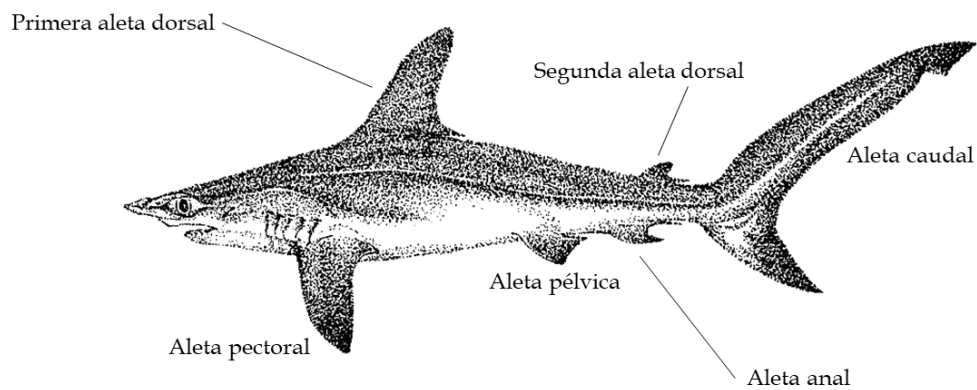


Figura 2. Estructuras del tiburón *S. zygaena* en vista ventral y lateral. Elaboración propia, revisada.

El tiburón martillo o cornuda prieta, *Sphyrna zygaena* es una especie semi - pelágica que pertenece a la familia *Sphyrnidae* y al orden de los *Carcharhiniformes*; posee un cuerpo alargado y comprimido, que se distingue de otras especies de martillo por la ausencia de muesca central en la cabeza y dos muescas profundas alineadas frente a cada orificio nasal (Figura 2), además posee un color gris pardo o aceitunado en el dorso y grisáceo a blanco en el vientre (Castellanos et al., 2013).

Compagno (1984) establece que la cornuda prieta presenta una distribución mundial en aguas tropicales y templadas, tanto en aguas oceánicas como costeras. Asimismo, señala la presencia de juveniles y neonatos en áreas cercanas a la costa.

Presentan migraciones estacionales, transitando en aguas poco profundas en etapas tempranas de su ciclo de vida a aguas más profundas conforme los individuos maduran (Salomón-Aguilar et al., 2009).

Este comportamiento ha sido descrito para la especie *Sphyrna lewini* (E. Griffith & C.H. Smith, 1834), donde los machos migran a aguas profundas a partir de los 160 cm de LT, mientras que las hembras migran desde los 115 cm de LT debido a que alcanzan con mayor rapidez su madurez sexual (Klimley, 1987).

Sin embargo, se advierte la presencia de hembras grávidas de *S. zygaena* cercanas a la costa que se atribuye a los periodos de alumbramiento como una probable estrategia reproductiva (Gonzalez-Pestana, 2018) es decir, que las hembras buscan la protección en aguas someras durante el periodo de alumbramiento, similar a lo observado para *S. lewini* (Salinas-de-León et al., 2017; Coiraton & Amezcua, 2020).

Con respecto a su alimentación, en sus primeras etapas de vida *S. zygaena*, se considera una especie generalista (Ochoa, 2006), mientras que en su etapa adulta se observa como un depredador especializado con una dieta compuesta principalmente por cefalópodos y en menor proporción de peces y crustáceos (Klimley, 1983; Estupiñán-Montaño et al., 2019).

Poseen una reproducción de tipo vivípara placentaria, es decir que su desarrollo embrionario completo ocurre en la placenta dentro del cuerpo de la madre. Se estima que su fecundidad está entre los 13 y 37 organismos con una talla de nacimiento aproximada de 50 a 61 cm de LT, similar al resto de las especies del género *Sphyrna* (Compagno, 1984; Helfman & Burgess, 2014).

Los organismos juveniles se encuentran en un intervalo de tallas de entre 136 - 140 cm de longitud furcal (LF); con un intervalo amplio en la talla de madurez para el Golfo de California que va de los 193.7 cm LT en machos y 200 cm LT para hembras (Nava Nava & Márquez-Farías, 2014), mientras que en aguas del pacífico ecuatoriano se reportan tallas de 190 cm y 225 cm respectivamente (Carrera-Fernández & Martínez-Ortíz, 2007).

Edad y crecimiento

“La edad se refiere a una descripción cuantitativa del tiempo que ha vivido un organismo, mientras que el crecimiento es el cambio en el tamaño del cuerpo o de una parte del cuerpo entre dos puntos en el tiempo, y la tasa de crecimiento es una medida del cambio en alguna métrica del tamaño de los peces en función del tiempo.”

- *DeVries and Frie (1996) (Goldman, 2005).*

Para la estimación de la edad en peces, comúnmente se recurre al análisis de la distribución de frecuencias en tallas (Salgado et al., 2005), al marcaje y recaptura de individuos (Rodríguez-Cabello et al., 2009) o al estudio de los patrones y cambios de estructuras calcificadas (marcas de crecimiento), siendo este último una estimación directa de la edad (NOAA Fisheries, 2020).

La observación de marcas de crecimiento a finales del siglo XIX, se realizó a partir de escamas, huesos y otolitos (Panfili et al., 2001); estas estructuras sólidas poseen patrones periódicos o cuasi periódicos de acumulación de calcio como consecuencia de cambios estructurales durante el ciclo de vida de los organismos. Sin embargo, en los condriictios (rayas y tiburones) el inicio de las investigaciones sobre las marcas de crecimiento en vértebras o espinas se inició a mediados del siglo XX (Cailliet & Goldman, 2004).

La evaluación de la periodicidad de la formación de anillos de crecimiento en las vértebras es un método directo de estimación de la edad que se realiza a partir de la observación de patrones de bandas denominadas hialinas y opacas. Estas bandas corresponden a la acumulación de material calcificado en las vértebras que ocurre a medida que los organismos envejecen, produciendo áreas concéntricas que pueden reflejar las temporadas de deposición (Cailliet & Goldman, 2004; Cailliet et al., 2006). El tamaño de los tiburones en el nacimiento, así como la longitud máxima a alcanzar, dependerá de la adquisición y consumo de energía empleada para realizar actividades, por lo que el desarrollo de los organismos se verá afectado tanto por factores conductuales, fisiológicos, nutricionales y ambientales (Goldman, 2005; Gómez Márquez et al., 2020).

Existen varias técnicas de preparación de las vértebras para la observación de las bandas de crecimiento, por lo cual se elige la técnica que favorezca más su observación (luz; reflejada o transmitida, tinción, radiografías, nitrato de plata). Las bandas de crecimiento se presentan en el cuerpo calcáreo y suelen ser visibles en la zona *intermedialia*, empezando a partir de la marca de nacimiento. Estas marcas tienden a presentarse con un cambio de ángulo a lo largo de la cara central de las vértebras o a lo largo de la interfaz entre los intermediarios (Goldman, 2005).

Los estudios sobre el crecimiento proveen información esencial para el entendimiento de las características de las especies, como es en la evaluación de la dinámica y estructura poblacional de especies explotadas. Esta información permite definir la tasa de crecimiento, la tasa de mortalidad, productividad y longevidad anual que se utilizan en una gran variedad de modelos estadísticos, que a su vez, son esenciales para un manejo exitoso de las pesquerías (Goldman, 2005; Smart et al., 2013; Gómez et al., 2020; Jorgensen et al., 2022).

El análisis de la edad y crecimiento a partir de diferentes modelos, facilita la obtención de múltiples resultados que permitan reducir el error de selección de un único modelo que podría no presentar el mejor ajuste a los datos analizados (Smart & Grammer, 2021). Los modelos más utilizados corresponden al modelo sigmoideo de Gompertz (1825), que considera un decremento en la tasa de crecimiento individual conforme a la edad de los organismos y por otra parte, el modelo de Von Bertalanffy (1935) que asume el crecimiento a partir de variables fisiológicas y bajo condiciones ambientales constantes. Ambos modelos, corresponden al cálculo de dos o tres variables; la longitud asintótica o máxima que es la variable dependiente L_{inf} , la constante de crecimiento k y la variable independiente edad o tiempo cuando la longitud es teóricamente igual a cero t_0 , que también puede ser sustituida por la talla conocida de nacimiento L_0 (Goldman, 2005).

Con respecto a los trabajos en la zona del Golfo de California (GC) y el Océano Pacífico (OP) sobre la edad y crecimiento de *S. zygaena*, destaca el de Garza (2004) quien realizó el primer estudio en esta zona a través del análisis de bandas de crecimiento de 39

organismos provenientes de la captura con palangre durante el año 2000 – 2002, donde registró que los organismos de entre 110 y 283 cm de LT presentaban edades de entre 1 y 18 años. A partir del modelo von Bertalanffy (v.B.), el autor no encontró diferencias significativas entre machos y hembras, ni entre las zonas del estudio.

A continuación a nivel mundial, Chow en 2004, determinó la edad y crecimiento de *S. zygaena* para un total de 166 organismos reportado por el International Scientific Committee for Tuna and Tuna-like Species in the North Pacific Ocean (Kwang-Ming & Wen-Pei, 2011).

Asimismo, en la zona de Kerala en la India, Manjusha et al en 2011 estimaron los parámetros de L_{inf} y k de *S. zygaena* a partir de la herramienta FisSAT ELEFAN -1 con el uso de datos preliminares.

Entre los estudios realizados para el Océano Atlántico, se encuentra el de Coelho et al. (2011), quienes utilizan técnicas de tinción en las vértebras para distinguir las bandas de crecimiento y el modelo de von Bertalanffy para estimar los parámetros de crecimiento. En el 2017, Rosa et al, realizan una comparación de la edad y crecimiento de *S. zygaena* con otras especies de tiburones martillos, ampliando la cobertura espacial del estudio previo de Coelho.

Por otra parte, Falconí (2015) en las costas de Ecuador estimó una edad máxima para las hembras de *S. zygaena* de 17 años a una talla de 161 cm de LT y de 11 años para los machos a una talla de 194 cm de LT. Este autor reportó que la formación de las bandas de crecimiento es anual y determinó al modelo von Bertalanffy como el más adecuado para sexos separados (*Figura 3*).

En la costa occidental de BCS, Morán (2018) reportó durante un estudio realizado entre 2013 y 2017 el registro de 69 hembras y 63 machos, con un rango de tallas de 66 a 292 cm de LT. Encontró diferencias significativas de las tallas entre sexos, mostrando un dimorfismo sexual en la especie. El modelo de crecimiento que brindó un mejor ajuste en este estudio fue el logístico de tres parámetros que utiliza información biológica como la

longitud máxima teórica. La diferencia en la tasa de crecimiento por año fue mayor para las hembras que para los machos en los primeros años de vida. Asimismo, este autor sugiere que a partir de los 7.8 años de edad las hembras alcanzan la madurez sexual mientras que los machos la alcanzan a los 8 años de edad así como la formación de las bandas de crecimiento anual.

Figura 3. Registro de parámetros de crecimiento empleados por diferentes autores (L_{inf} = longitud infinita, k = constante de crecimiento, t_0 = edad estimada en longitud cero, L_0 = longitud a la edad cero) en los modelos de von Bertalanffy y Gompertz por sexos y para sexos combinados (n = número de muestras).

Referencia	Ubicación	n	Modelo	L_{inf} (cm)	k	t_0/L_0	Intervalo de tallas (cm)
Morán (2018)	Costa Occidental de Baja California Sur	132	Logístico -3	H= 338.51 M= 349.59	0.18 0.16	7.8/50 LT 8/50 LT	66 -292 LT
Rosa et al. (2017)	Océano Atlántico Ecuatorial Oriental	291	2 v.B. Dahl -Lea quadratic modified	H= 293 M= 285	0.09 0.09	55LT - 43 LF	126 - 253 LF
Wray-Barnes (2016)	Nueva Gales del Sur, Australia	144	3 v.B.	298.5 H= 302.2 M= 340.7	0.07 0.06 0.06	50-61 LT	109 - 284 LT
Falconí (2015)	Puerto López-Ecuador	102	3 v.B.	327.3 H= 356 M= 225.49	0.059 0.053 0.09	-2.45	54 - 283 LT
Coelho et al. (2011)	Océano Atlántico Ecuatorial Oriental	139	3 v.B.	278 H= 285.2 M= 272	0.06 0.07 0.06	-8.3 -7.3 -9.4	136 -233 LF
Manjusha et al. (2011)	Kerala, India	200	v.B.	365.25	0.23	-	55 - 185 LT
Garza (2004)	Golfo de California Océano Pacífico. Baja California Sur	39	3 v.B.	301.62 H=303.8683 M= 299.339	0.139 0.1441 0.1399	-2.45 -2.1229 -2.9912	110 - 283
Chow (2004)	Noreste de Taiwan, Océano Pacífico	166	-	H= 375.2 M= 358.8	0.111 0.128	-1.31 -0.72	-

Estatus y amenazas actuales

Con el objetivo de preservar la integridad y diversidad de la naturaleza, la *Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN)*, desarrolla una herramienta que permite conocer el estado de la biodiversidad y el conocimiento existente, denominada como la Lista Roja de Especies Amenazadas (IUCN, 2022). Como consecuencia de la baja productividad biológica y el aumento de las capturas de tiburón que superan la capacidad de reclutamiento, muchas especies de tiburones se encuentran en alguna categoría de amenaza, *S. zygaena* considerada como especie en estado “vulnerable” (Rigby et al., 2019).

La pesca de tiburones, como se ha mencionado anteriormente, es una de las causas principales de mortalidad, sin embargo tanto para los tiburones y muchas otras especies marinas, la contaminación se suma como un factor de estrés notable, agravado por otras variables como la pérdida de hábitat y el cambio climático. Las amenazas relacionadas con el clima, incluyen efectos fisiológicos que derivan del calentamiento, la acidificación, y desoxigenación de los océanos (Jorgensen et al., 2022).

Medidas de manejo: conservación y gestión de esfírnidos en México

El manejo y planeación integrada de los recursos costeros en México, ha permitido la creación de políticas puntuales para la conservación de tiburones que dependen de criterios generales como la protección, gestión participativa y sustentable (Sorensen, 1997; Vázquez, 2011).

La Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) ha demostrado ser una herramienta efectiva para la regulación del comercio internacional de tiburones con la implementación de permisos y el registro de productos de tiburón, en donde *S. zygaena*, se encuentra listada en el apéndice II (CITES, s/f; Jorgensen et al., 2022). Este compromiso internacional para la conservación, se complementa con la legislación nacional que regula las actividades pesqueras implicadas en la cadena de valor.

En la gestión de tiburones, la NOM-029-PESC-2006 promueve la pesca responsable de tiburones y rayas al establecer criterios específicos para la captura de las especies de tiburón, como son las zonas y artes de pesca permitidos para la captura (Mora & Geiger, 2019). Por otra parte, la aplicación de temporadas de veda de tiburones y rayas en el litoral del Pacífico Mexicano ha permitido la recuperación y protección de una gran variedad de especies. A partir del 2012, en México se estableció una veda trimestral, en el Océano Pacífico el periodo de veda para tiburones y rayas inicia a partir del 1 de mayo al 31 de julio (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). La implementación de las vedas, restringe la captura de ciertas especies y beneficia particularmente a los tiburones costeros ya que coincide con su temporada de reproducción (Shiffman & Hammerschlag, 2016).

Por otra parte, el Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México (PANMCT) permite asegurar la ordenación, aprovechamiento y conservación sostenible a largo plazo de los tiburones, rayas y especies afines con la participación de diversos sectores dedicados a la evaluación de las poblaciones, conservación y difusión del conocimiento (CONAPESCA-INP, 2004; Ramirez-Amaro et al., 2013). Particularmente el estado de Baja California Sur, ha manifestado su interés por preservar la calidad de los recursos para el sustento económico del estado y la conservación de los servicios ambientales.

A pesar de los esfuerzos nacionales e internacionales dedicados a la generación de conocimiento y protección de los tiburones, los tiburones martillo son un grupo que se encuentran en un estado de conservación vulnerable a crítico, de modo que se requiere la aplicación de medidas efectivas de regulación y planes de manejo que promuevan el aprovechamiento sustentable y, que además, tengan por objeto motivar la mitigación del impacto sobre la mortalidad por pesca con acciones fundamentadas en la investigación de las especies (Mora & Geiger, 2019; Dulvy et al., 2021; Jorgensen et al., 2022).

JUSTIFICACIÓN

La pesca de tiburones en México, aporta considerables volúmenes de captura, los productos derivados del tiburón son de gran interés para el consumo nacional e internacional, donde particularmente las aletas del género *Sphyrna* son de gran valor comercial (Castillo-Géniz et al., 1998; Lam & Sadovy De Mitcheson, 2011).

La pesca de tiburón en el estado de BCS, contribuye en gran medida a la economía del estado y de muchas familias que dependen de la pesca (Castillo-Géniz et al., 1998; Galli, 2007; Ivanova et al., 2017). En la toma de decisiones se requiere información biológica que sustente las medidas de regulación y conservación actuales, sin embargo, las lagunas en la investigación biológica de las especies son un gran obstáculo en las evaluaciones pesqueras y por ende en la toma de decisiones (Furlong-Estrada et al., 2017; Jorgensen et al., 2022).

Particularmente en los estudios de elasmobranquios, la ausencia de organismos adultos como consecuencia de su captura en etapas tempranas, dificulta la obtención de muestras pertenecientes a todas las etapas de desarrollo de la especie, especialmente para las especies de tiburones amenazadas, en donde la cornuda prieta no es la excepción (Smart et al., 2013; Campana, 2014).

El estudio de la edad de los tiburones es fundamental para el conocimiento de la dinámica poblacional de las especies, ya que este factor permite estimar otras variables biológicas como es la tasa de crecimiento, mortalidad o productividad; elementos importantes en el conocimiento de la historia de vida, por lo tanto la generación de información como la edad de los organismos y las tasas de crecimiento de cada especie son esenciales para una adecuada evaluación y administración de las pesquerías (Salgado Ugarte et al., 2005; Furlong-Estrada et al., 2014, 2017; Yokoi et al., 2017).

Aunque la edad y crecimiento ha sido estudiada a nivel mundial para *S. zygaena*, aún existe incertidumbre en la comprensión de la historia de vida de la especie, además, ha sido poco estudiada para México y el golfo de california (Gallagher & Klimley, 2018).

Por lo anterior, es de importancia complementar la información actual y con ello, proporcionar datos que ayuden en la evaluación de la pesquería de tiburones y que tenga por objeto, promover el adecuado manejo y gestión del recurso en el tiempo.







HIPÓTESIS

A semejanza de otros elasmobranquios, suponemos que en *S. zygaena* las hembras presenten tallas mayores a los machos asociado al proceso reproductivo y al rápido crecimiento que tienden a mostrar en sus primeras etapas de vida. En cuanto al crecimiento, se espera demostrar que la periodicidad de formación de las bandas de crecimiento en las vértebras de ejemplares de *S. zygaena* provenientes del Golfo de California, sea anual.

OBJETIVO

Determinar la edad y estimar los parámetros de crecimiento en ejemplares del tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*), capturados en la parte media del golfo de California durante el periodo de 2018 a 2021, a partir del conteo de bandas de crecimiento en vértebras.

Objetivos específicos

-  Conocer la estructura de edades de la población mediante de los datos obtenidos a través del análisis las bandas de crecimiento en vértebras.
-  Analizar la relación entre el radio de las vértebras y la longitud total de los organismos.
-  Determinar la periodicidad de la formación de bandas de crecimiento como método indirecto de estimación de la edad del organismo.
-  Estimar el crecimiento de machos y hembras bajo los modelos de crecimiento (von Bertalanffy y Gompertz).
-  Determinar si existe diferencia en el crecimiento entre sexos en esta especie.
-  Comparar las curvas de crecimiento estimadas con respecto a las descritas anteriormente para la especie.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El área de estudio corresponde a dos localidades pertenecientes al municipio de Mulegé, BCS en la costa del Golfo de California (*Figura 4*).

El Golfo de California presenta una plataforma continental estrecha y generalmente rocosa, con una profundidad máxima superior a los 3000m. Posee características hidrográficas que conducen a una alta productividad primaria, las cuales se ven afectadas por la interacción con la corriente superficial de California de aguas cálidas (Wyrтки, 1965; Santamaria-Del-Angel et al., 1994). Presenta una marcada variabilidad estacional con una mayor surgencia en la costa continental en invierno y cercanas a la península en menor intensidad durante el verano (Santamaria-Del-Angel et al., 1994; Makarov & Jiménez-Illescas, 2003)

A continuación se describen brevemente las dos localidades del área de estudio.

Santa Rosalía - La Dársena: La zona con esta denominación se ubica en la localidad conocida como Santa Rosalía, corresponde a la cabecera municipal del municipio de Mulegé (Límites geográficos: latitud 27° 20' 21"N / longitud 112° 05' 48"O). Localizada a 555 km al norte de la capital del estado, La Paz. Se caracteriza por su riqueza mineral con precipitaciones escasas (SEMAR, s/f). Su población se compone de 22,473 habitantes (2015) con actividades económicas enfocadas principalmente en la pesca, minería y el comercio local (Instituto Sudcaliforniano de Cultura, 2022).

San Bruno: La localidad costera conocida como San Bruno, (Límites geográficos: latitud 27° 9' 48.80"N / longitud 112° 9' 35.60"O) corresponde a uno de los campamentos pesqueros de Santa Rosalía. Se encuentra a 26.4 km al sureste del puerto y 527 km al noroeste de La Paz. Cuenta con un total de 739 habitantes de los cuales el 49% son mujeres y 51% son hombres. Su principal actividad económica se concentra en la pesca o caza de animales (INEGI, 2020).

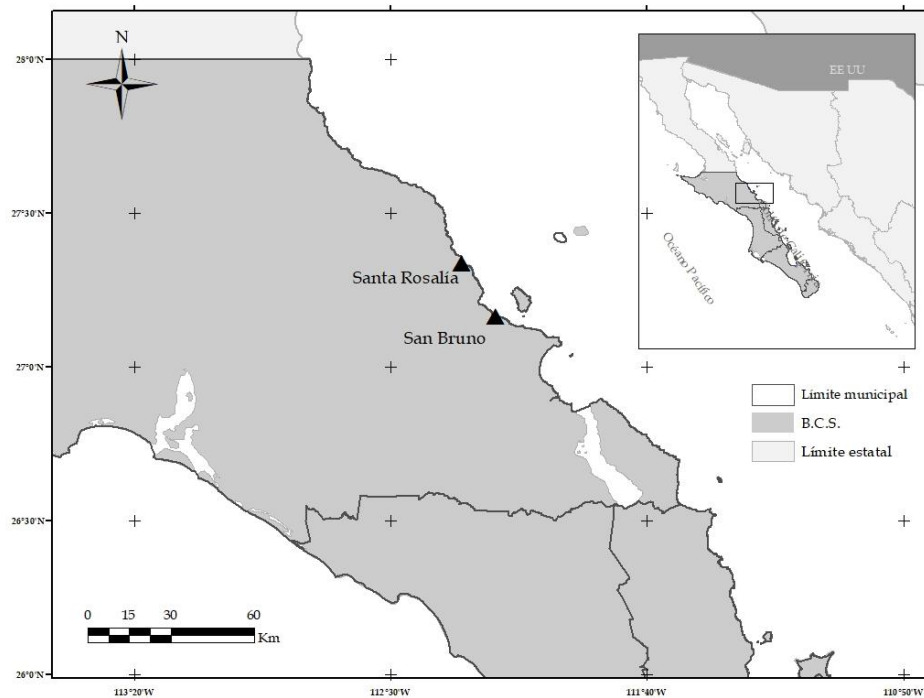


Figura 4. Mapa de la zona de estudio donde se muestra la localidad denominada como "San Bruno" y Santa Rosalía también conocido como "La Dársena". BCS, México

Trabajo de campo

Se realizaron 9 visitas a los campos pesqueros para recolectar los ejemplares capturados de la pesca artesanal en el periodo de 2018 a 2021 durante las temporadas de febrero (2), septiembre (3), octubre (1) y noviembre (3). Se capturaron a partir del uso de redes instaladas cerca de la costa durante periodos nocturnos y retiradas al amanecer.

La colecta de muestras corresponde a los programas de investigación realizados en laboratorio de Ecología de Peces del proyecto "Tiburones y Rayas CICIMAR" del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). Se realizó el reconocimiento de los organismos con el apoyo de claves de identificación y se procedió a la toma de datos morfométricos, como la longitud total (LT), la cual fue medida desde el inicio del morro hasta la parte terminal de la aleta caudal y la longitud precaudal (LPC) (Compagno, 1984)(Véase Anexo, figura 25).

La extracción de las vértebras se realizó a partir de un corte en la región anterior a la primera aleta dorsal y en algunos casos de la región más cercana a la cabeza, esto de acuerdo a la posibilidad de colecta en campo, priorizando las de la parte media del organismo. Se procedió al almacenaje y congelamiento de trozos del troncho correspondientes a 65 tiburones colectados, para posteriormente trasladarse a las instalaciones de CICIMAR-IPN, Unidad La Paz.

Procesamiento y acondicionamiento de muestras

Limpieza. Las vértebras fueron descongeladas y se retiró el exceso de tejido muscular, también se separó el *arco hemal* y *neural* con ayuda de un bisturí y cuchillos.

De cada organismo del cual se tenía más de una vértebra de muestra, se seleccionaron la mitad de las muestras para ser sometidas en tratamientos de agua hirviendo en un periodo de 10 a 15 min. Las muestras restantes fueron sumergidas en cloro en un periodo de 2 a 5 min para posteriormente retirar el exceso con agua corriente, esto con el objetivo de procurar vértebras de mayor claridad y limpieza para obtener una mejor lectura de las bandas de crecimiento (Officer et al., 1995). En organismos de los que se tenía una única vértebra, fueron tratadas con agua hirviendo con el objetivo de preservar la muestra para futuros estudios y comprometer al mínimo la muestra empleando la técnica menos abrasiva utilizada por otros autores para los estudios de edad y crecimiento.

Los grupos de vértebras de un mismo ejemplar fueron separados individualmente y debidamente etiquetadas hasta el momento de ser seccionadas.

Corte. De cada organismo, se seleccionó una a dos vértebras. En aquellos con los que se disponía de más de una vértebra fueron seleccionadas al azar para ser seccionadas. Las vértebras restantes de los tiburones fueron almacenadas para futuros trabajos en las instalaciones de CICIMAR - La Paz.

Se midió el diámetro vertebral de cada muestra seleccionada y el grosor de las vértebras anterior y posterior al corte mediante el uso de vernier. Las vértebras fueron cortadas por

su plano sagital utilizando una sierra doble de baja velocidad IsoMet (Buehler), se determinó un espesor de corte óptimo para la lectura de bandas de crecimiento de 0.3 a 0.4 mm para todas las muestras a través del foco central.

Lectura y conteo de bandas de crecimiento en vértebras. Para la estimación de la edad de los organismos se procedió a la lectura y conteo de bandas de crecimiento de las vértebras. Para ello cada sección o corte de las vértebras fue colocado en un medio húmedo (agua) y luego se observó en un microscopio estereoscópico ZEISS (Discovey V12) utilizando luz transmitida. Asimismo, cada muestra fue fotografiada y medida con ayuda del software ZEN 3.5. Se registró la medida de la distancia desde el radio central en línea perpendicular; desde el foco hasta el inicio del cuerpo calcáreo (RV), del radio a la última banda (1a) y a la penúltima banda (1b) (Figura 5).

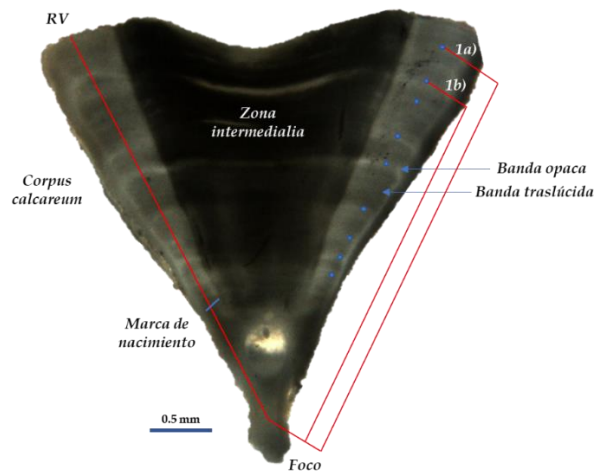


Figura 5. Fotografía de un corte sagital de una vértebra de *S. zygaena*, observada bajo luz transmitida en un medio húmedo para el conteo de bandas. RV= radio de la vértebra. Distancias medidas en la vértebra 1a) última banda, 1b) penúltima banda.

Para cada vértebra se contabilizó el número de anillos en dos ocasiones y para verificar la consistencia de los conteos se realizó una tercera lectura por un observador externo.

ANÁLISIS DE DATOS

Estructura de tallas

La frecuencia de tallas se realizó a intervalos de 6 cm de LT. Se representó gráficamente a partir de un histograma segregado por sexo, se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (95% confianza) con el objetivo de comparar las distribuciones de tallas por sexo (Garza, 2004; Zar, 2010; Morán, 2018).

Relación talla del organismo y radio de la vértebra

Los valores del radio total (RV) de la vértebra fueron medidos desde el foco u origen hasta el margen del *corpus calcareum* con el uso de la herramienta Scale bar en el programa ZEN 3.5 2002-2011. Se procedió a realizar un análisis de regresión lineal para determinar si existe relación entre las variables de longitud total (LT) y el RV.

Lecturas de bandas de crecimiento. Precisión del conteo de edad

Para evaluar la precisión de las lecturas de bandas, el porcentaje se representó a partir del análisis de sesgo entre lectores; se evaluó estadísticamente mediante el error promedio porcentual (APE) (Beamish & Fournier, 1981):

$$APE_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \right] \times 100\%$$

Donde R es el número de veces que se leyó la muestra, N el número total de individuos, X_{ij} es la edad determinada para el organismo j y X_j el promedio de las edades determinadas para el organismo.

Para estimar la variación entre lecturas, se evaluó a partir de la prueba estadística Chang (1982) conocida como *coeficiente de variación* (CV.), el cual consiste en:

$$CV_j = 100 \times \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{X_{ij} - X_j}{R - 1}}}{X_j}$$

Donde X_{ij} es la edad i determinada para el pez j , X_j es el promedio de las edades determinadas para el pez j y R corresponde al número de veces que se contrastaron las muestras.

Porcentaje de bordes

El análisis de borde se realizó a partir de la observación de la última banda bajo cuatro criterios; banda hialina completa o formándose (blanca), u opaca completa o formándose (negra). El porcentaje de frecuencia se agrupó mensualmente en bandas opacas y hialinas para su representación gráfica (Okamura & Semba, 2009).

Además, se incluyeron los datos promedio de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Golfo de California recopilados de la base de datos NOAA ERDDAP (NOAA, 2021), esto con el objetivo de identificar variaciones en la temperatura durante el periodo de estudio que pudieran modificar la deposición de calcio.

Índice de incremento marginal

Se aplicó el análisis del Incremento Marginal (IIM) que compara el ancho de la última banda en desarrollo con el ancho del último par de bandas completamente formado, con el objetivo de identificar la periodicidad de formación de las bandas y determinar si la formación de las marcas de crecimiento es uniforme, anual o bianual. Este análisis se realizó a partir de la siguiente ecuación (Okamura et al., 2013):

$$IIM = \frac{RT - rn}{rn - r_{n-1}}$$

Donde RT corresponde al radio de la vértebra, rn el radio del foco a la última marca de crecimiento y r_{n-1} el radio correspondiente a la penúltima marca de crecimiento. Los valores promedio se representaron por mes de captura.

Modelo de crecimiento

Los estudios de edad y crecimiento se analizan de forma habitual utilizando la función de crecimiento de von Bertalanffy, por tanto, es uno de los modelos más estudiados y aplicados en investigaciones recientes de la misma índole. Sin embargo, presenta ciertas limitaciones que pueden representar de forma deficiente el crecimiento de tiburones, particularmente en las etapas más tempranas del ciclo de vida, por lo cual, adicionalmente se aplican otros modelos como el de Gompertz y los modelos logísticos que han reportado significativamente mejores estimaciones (Gamito, 1998; Cailliet et al., 2006).

Se utilizaron dos modelos para describir el crecimiento de *S. zygaena*, los parámetros iniciales con los que se empezaron a estimar los modelos se obtuvieron a partir de la consulta bibliográfica y haciendo uso de la función del programa Excel, se aplicó la función *solver* de máxima verosimilitud (Cailliet & Goldman, 2004).

El primer modelo fue la función de crecimiento de tres parámetros de **von Bertalanffy**:

$$L_t = L_{inf}(1 - e^{-k(t-t_0)})$$

Esta función se basa en la premisa biológica de que el tamaño de un organismo depende de la resultante de dos fuerzas opuestas: anabolismo y catabolismo, además asume condiciones ambientales constantes (von Bertalanffy, 1938).

Dónde $L(t)$ es la longitud en función del tiempo (t), L_{inf} es la longitud asintótica teórica y k es la constante de crecimiento.

Además, se aplicó la ecuación para dos parámetros, donde L_0 se utilizó en la longitud máxima de talla al momento del nacimiento para la especie aplicado por (Morán, 2018) de 50 cm.

$$L_t = L_{inf}(1 - be^{-kt}), b = (L_{inf} - L_0 / L_{inf})$$

El uso de la talla de nacimiento L_0 en t_0 constituye un método sólido propuesto por Holden (1974) como una ecuación alternativa al modelo de crecimiento base de von Bertalanffy (Cailliet et al., 2006).

El segundo modelo empleado, fue el de tres parámetros de **Gompertz** que asume un decremento exponencial en la tasa de crecimiento con relación a la edad, lo cual corresponde a la ecuación (Gompertz, 1825; Katsanevakis, 2006).

$$L_t = L_{inf} \exp^{-\exp(-k(t-t_0))}$$

Posteriormente se utilizó el modelo de dos parámetros Gompertz que se aplicó de acuerdo a la ecuación:

$$L_t = L_0(\exp^{G(1-\exp^{-kt})})$$

$$G = \ln\left(\frac{L_{inf}}{L_0}\right)$$

Donde L_t corresponde a la longitud total del organismo, L_{inf} la longitud máxima teórica, k la constante de crecimiento, t el tiempo en años y inf el punto de inflexión. La constante de crecimiento del modelo corresponde a G .

Figura 6. Modelos utilizados en la estimación del crecimiento de *S. zygaena* en la costa del Golfo de California.

Modelo	Función
3 von Bertalanffy.	$L_t = L_{inf}(1 - e^{-k(t-t_0)})$
2 von Bertalanffy	$L_t = L_{inf}(1 - be^{-kt}),$ $b = (L_{inf} - L_0 / L_{inf})$
3 Gompertz	$L_t = L_{inf} \exp^{-\exp(-k(t-t_0))}$
2 Gompertz	$L_t = L_0 e^{G(1-e^{-kt})}, G = \ln\left(\frac{L_{inf}}{L_0}\right)$

Con el objetivo de comparar las curvas de crecimiento entre sexos se implementó la prueba de probabilidad de Kimura (1980), que permite comparar el ajuste de cada curva de acuerdo a la ecuación:

$$X^2 = N * \ln \frac{\sum SDC}{SDC HyM}$$

Donde N corresponde al número de muestras, $\sum SDC$ la sumatoria de la diferencia de cuadrados segregada de hembras y machos, SDC y HyM a la diferencia de cuadrados del modelo ajustado para sexos combinados.

Comparación de modelos

Para la selección del modelo con mejor estimación se utilizó la prueba de máxima verosimilitud de Kimura para comparar los parámetros de crecimiento entre sexos, junto con el criterio de Akaike (AIC) que evalúa el desempeño de los modelos que presentan tamaños de muestra pequeños (Okamura & Semba, 2009), la aplicación de la prueba se realizó con el programa estadístico Rstudio que emplea el siguiente criterio.

$$AIC = n \times \ln(MSE) + 2k$$

$$\Delta AIC_c = AIC_i - AIC_{min}$$

Donde MSE corresponde al cuadrado medio de los residuales, k es el número de parámetros en el modelo, AIC_i el valor de AIC en el modelo, AIC_{min} el valor del modelo elegido y n que corresponde al número de funciones de crecimiento analizadas.

$$w_i = \frac{e\left(\frac{\Delta AIC}{2}\right)}{\sum_{r=1}^R e\left(\frac{\Delta AIC}{2}\right)}$$

El modelo más efectivo se seleccionó a partir del valor más bajo estimado de AIC_c . Se emplearon las diferencias (Δ) entre el ΔAIC_c de cada modelo, además del peso de Akaike (w_i) y el AIC_{min} para jerarquizar el resto de los modelos.

Contraste de modelos. Pacífico, Atlántico

Se realizó una comparación de las curvas de crecimiento estimadas en el presente estudio con las estimadas previamente por los autores Coelho et al. (2011) para el Atlántico, Falconí (2015) en las costas de Puerto López- Ecuador (Pacífico), Garza (2004) en las costas de Baja California Sur (Golfo de California y Pacífico mexicano) y Morán (2018) costa occidental de Baja California Sur (Pacífico). Posteriormente, se implementó la

comparación de las curvas de crecimiento estimadas en el presente estudio y los parámetros observados anteriormente para la especie.

RESULTADOS

Estructura de tallas

Se muestrearon un total de 65 tiburones *S. zygaena* (machos, hembras) durante 2018 a 2021 de los cuales 38 fueron machos (M) y 27 hembras (H). Se obtuvo una proporción sexual de 1.42M : 1H, con un porcentaje de 58.46% machos y 41.53% hembras. La talla más frecuente para ambos sexos fue de 125 cm LT con una talla promedio de 125 cm LT. Sin embargo, no se recopilaron las vértebras de todos los organismos.

En consecuencia, para este estudio se procesaron 51 vertebras correspondientes a organismos de tallas de 70 cm LT a 186 cm LT. (Figura 7).

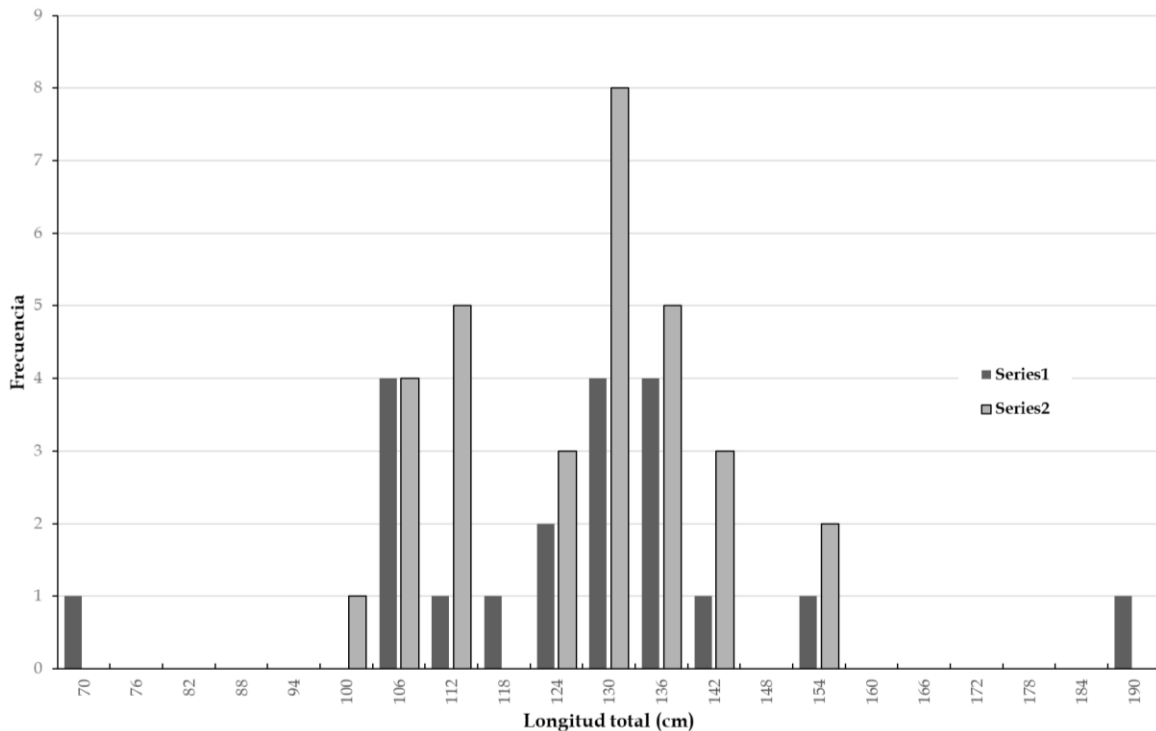


Figura 7. Frecuencia de tallas (LT) de *S. zygaena* en el Golfo de California 2018 - 2021

La talla más frecuente fue de 136 cm LT para hembras y 125 cm LT para machos. Las hembras presentaron un intervalo de tallas de entre 70 - 186 cm LT con una longitud promedio de 124.17 cm LT, mientras que los machos mostraron tallas que variaron entre 99 - 151 cm LT con una longitud promedio de 123.33 cm LT. No se encontraron diferencias significativas en la distribución por tallas entre sexos.

Relación talla del organismo y radio de la vértebra

Se estimó una relación lineal entre el crecimiento de la vértebra y el crecimiento somático para sexos combinados ($R^2=0.4232$, $p<0.05$), lo que sugiere un crecimiento de la longitud total proporcional al radio de la vértebra (Figura 8).

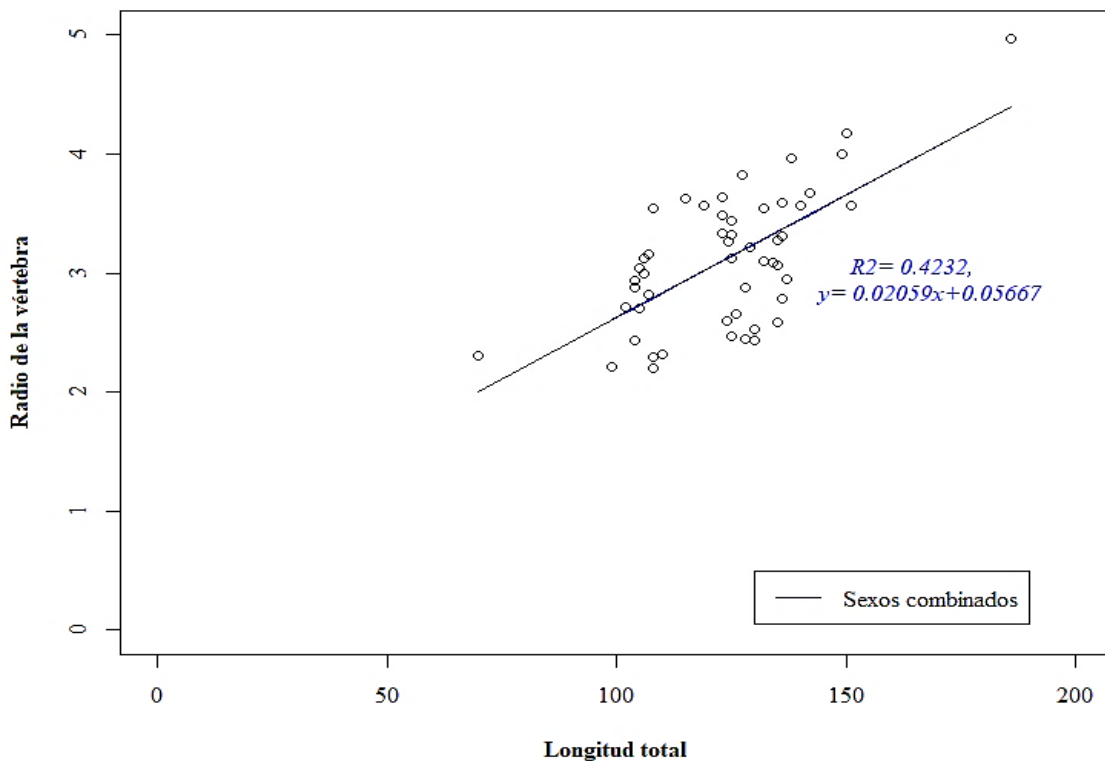


Figura 8. Relación entre el radio (mm) de la vértebra y la longitud total (cm) de *S. zygaena* en el Golfo de California, 2018 -2021.

Posteriormente, se realizó la relación entre LT - RV para ambos sexos para realizar una comparación entre las rectas de la relación radio-LT entre machos y hembras, la cual tuvo una respuesta de carácter lineal. No se encontraron diferencias significativas entre machos y hembras (ANCOVA, $p > 0.05$). Asimismo, la relación para hembras ($R^2 = 0.5036$, $p = 0.0004$) y machos ($R^2 = 0.3626$, $p = 0.0003$) (Figura 9) presentó un ajuste significativo.

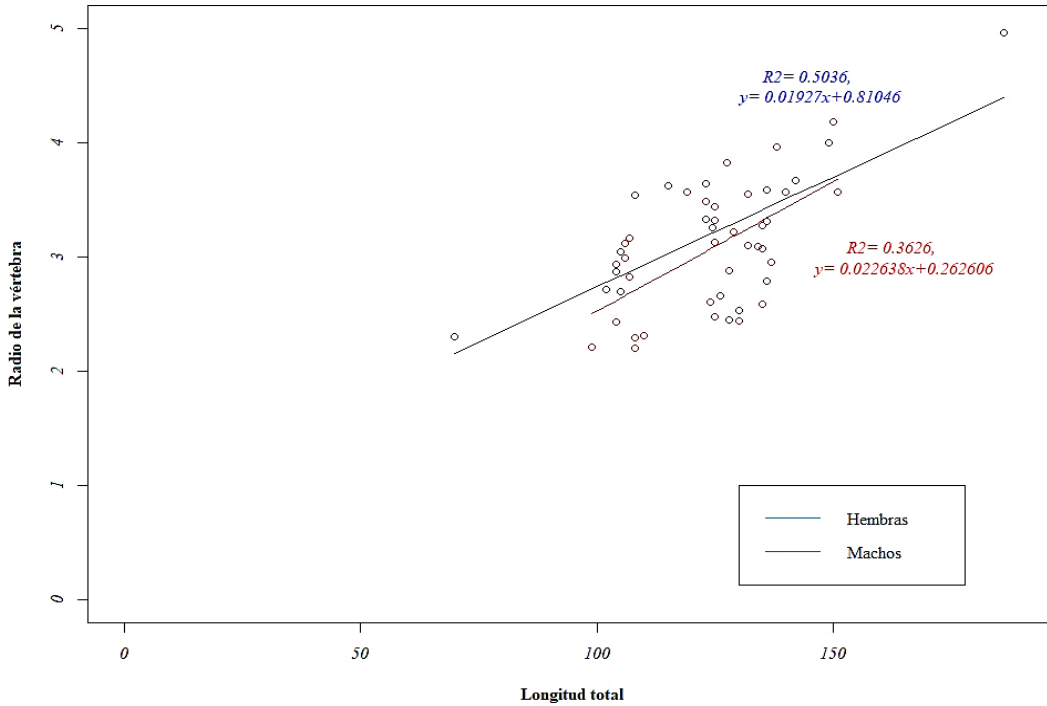


Figura 9. Relación entre el radio de la vértebra (mm) y la longitud total (cm) de *S. zygaena* para machos y hembras en el Golfo de California, 2018 -2021.

Lecturas de bandas de crecimiento. Precisión del conteo de edad

El coeficiente de variación (CV) inter - lector presentó un porcentaje del 9.05%, mientras que el porcentaje de error promedio (APE) se determinó en un 7.73%. Se observó un error en el conteo de bandas de crecimiento, con una sobreestimación entre las lecturas de bandas seis y ocho (Figura 10).

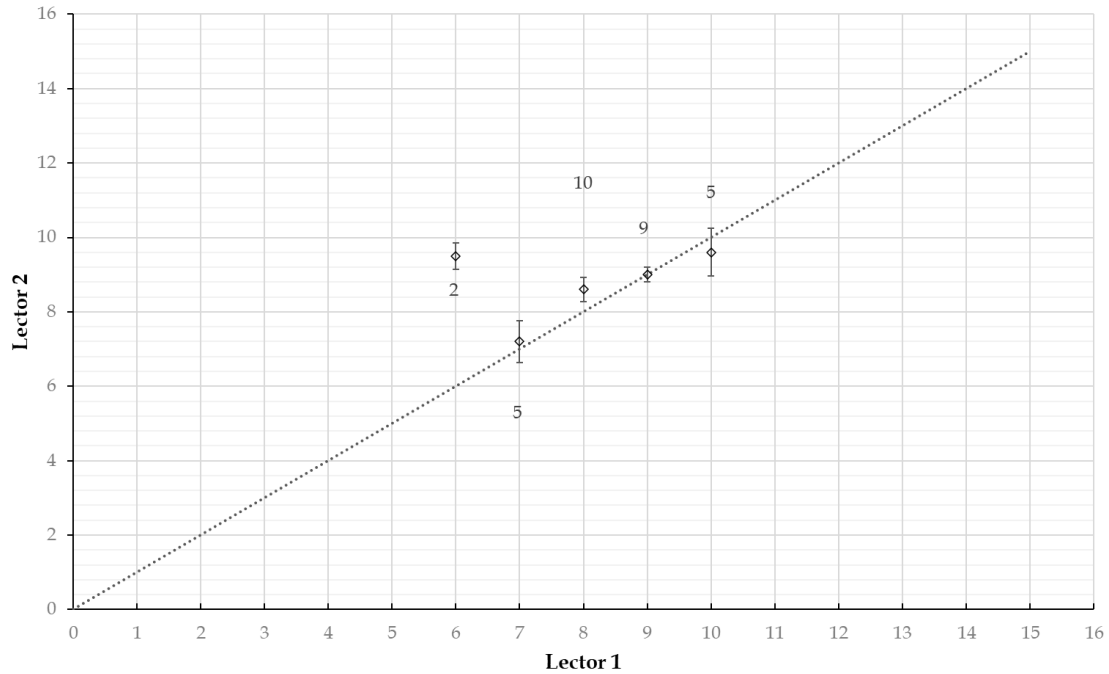


Figura 10. Variación promedio en las lecturas de marcas de crecimiento entre lectores. Barras de error estándar

El coeficiente de variación (CV) intra - lector y el error promedio (APE) observado para la primera y segunda lectura fue de 8.62% y 8.21% respectivamente, mientras que para la lectura 2 y 3 se observó una disminución significativa para ambos valores, el CV 5.59% y el APE 4.75% que puede asociarse a la mejora en el aprendizaje de la observación de bandas. El análisis arrojó una gran variación en las lecturas mayores a diez marcas, mostrando una sobreestimación de la segunda lectura con respecto a la tercera (Figura 11).

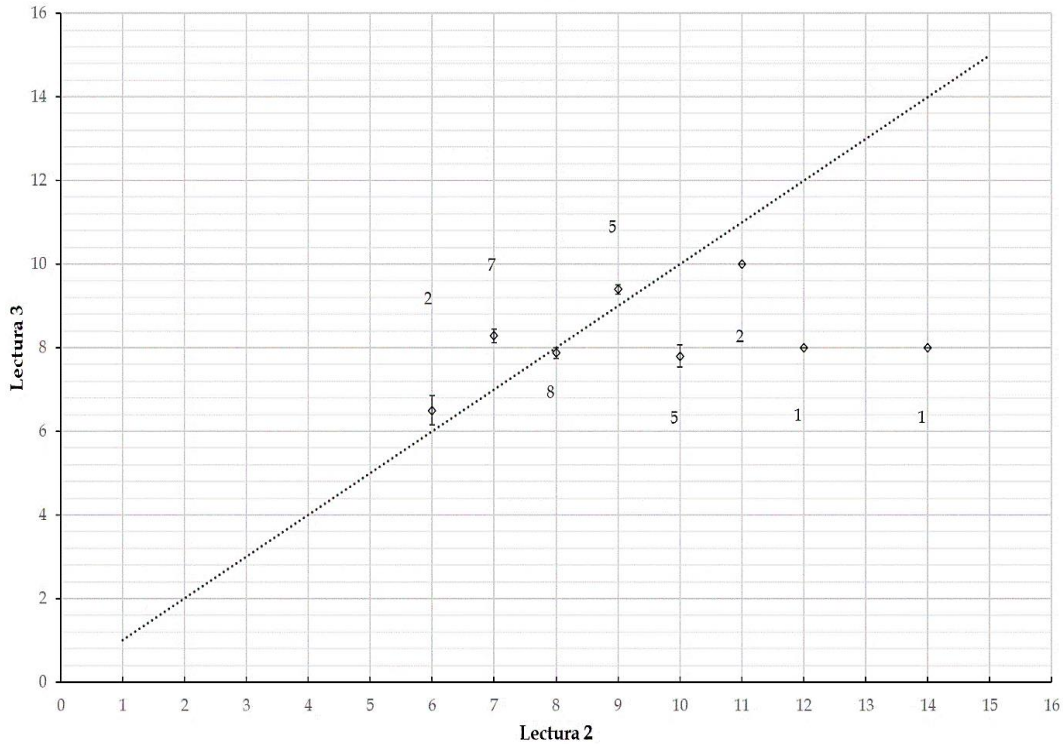


Figura 11. Variación promedio intralector de la segunda y tercera lectura de bandas. Barras de error estándar.

Porcentaje de bordes

La periodicidad estacional en la formación de bandas de crecimiento fue definida a partir de las características de la vértebra durante cuatro meses (Figura 12). Se observó un periodo de formación de bandas hialinas (blancas) durante el mes de septiembre y noviembre (Otoño) con una TSM promedio de 29.4° a 24.4° C respectivamente, mientras que la mayor frecuencia de bordes opacos (negras) se presentó durante el mes de febrero (Invierno) con una TSM promedio de 19.25°C.

Gráficamente, el patrón de formación de borde sugiere la aparición de bandas opacas asociado a la temperatura más baja reportada (Febrero-invierno), así como la presencia de bandas hialinas durante las temporadas más cálidas observadas (otoño).

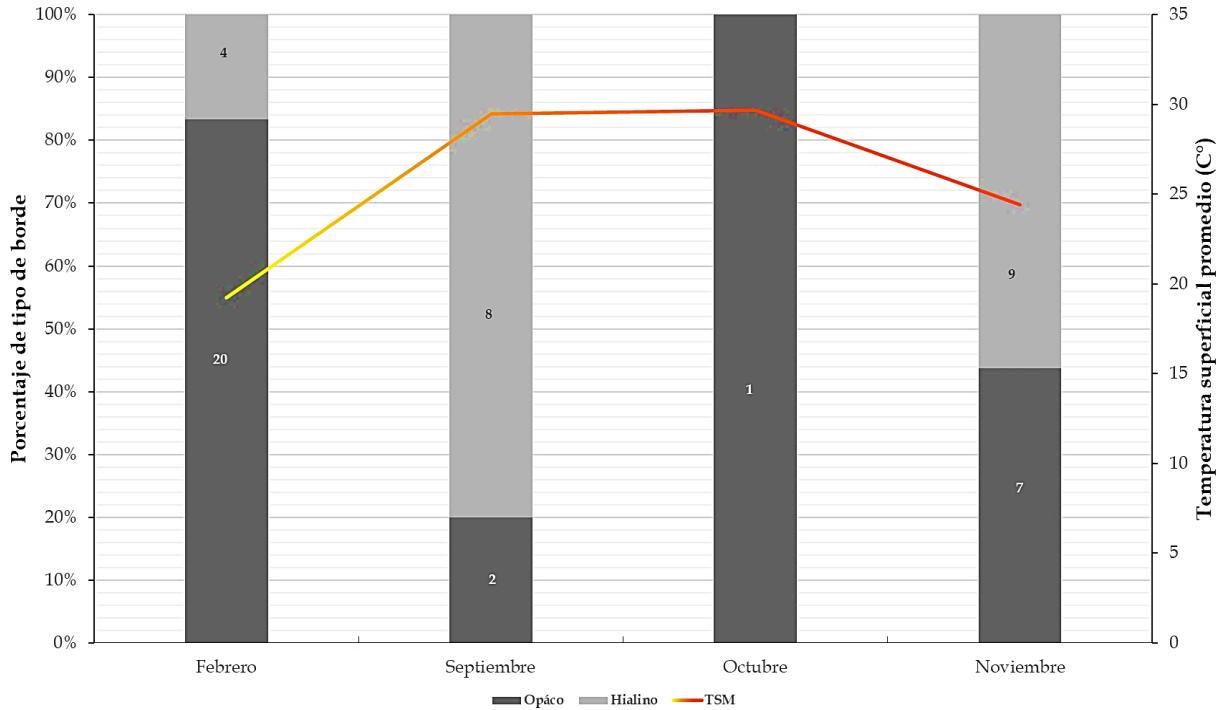


Figura 12. Frecuencia mensual de la formación de bordes hialinos (bandas blancas) y opacos (bandas negras). Eje secundario; temperatura superficial del Mar (°C) (TSM) (NOOA, 2021).

Ante la falta de un periodo anual completo, para analizar la formación de bandas en el presente estudio, se realizó un arreglo del periodo observado y el elaborado por Morán en 2018 para la costa occidental de BCS, esto con el objetivo de comparar la variación temporal anual del contraste entre ambos estudios. Como resultado, se obtuvo un periodo de formación más amplio con temperaturas ligeramente menores durante Octubre y Noviembre (Otoño) (Figura 13).

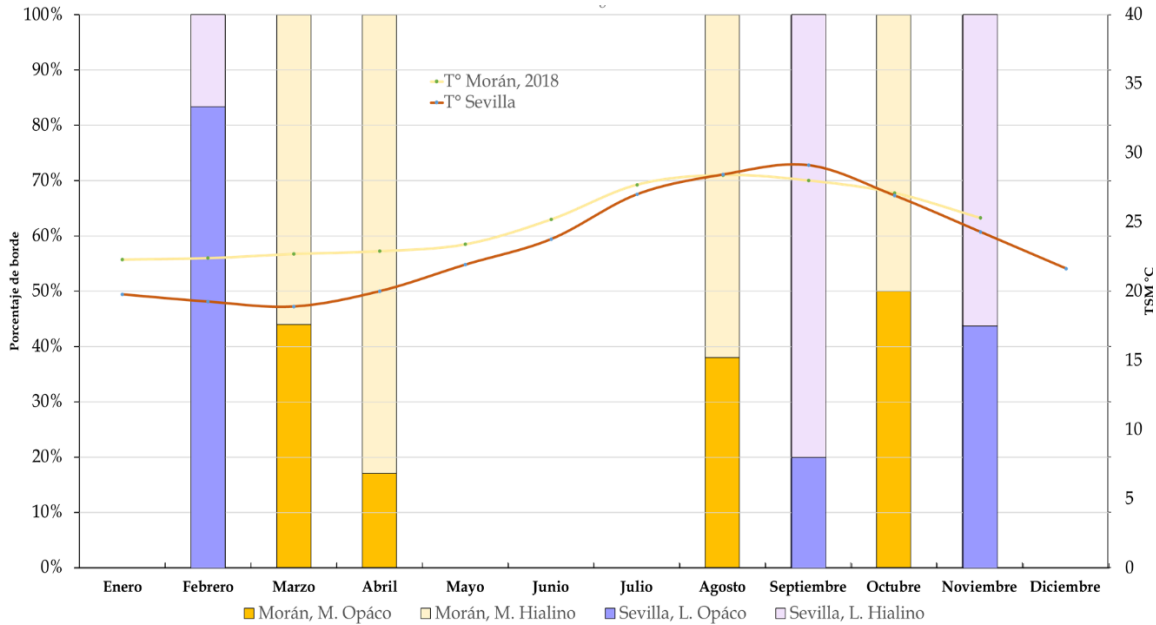


Figura 13. Contraste de la frecuencia mensual de la formación de bordes hialinos (bandas blancas) y opacos (bandas negras) del presente estudio y Moran Villatoro (2018) para *S. zygaena* en el Golfo de California. Eje secundario; Temperatura promedio superficial del Mar (°C) (TSM) (NOOA, 2021).

Este resultado sugiere una mayor deposición de las bandas opacas en las temperaturas más cálidas registradas (29.11°C), con un patrón de crecimiento anual y una mayor deposición a partir del mes de Octubre (Otoño) que culmina con las temperaturas más frías en Febrero (Invierno).

Índice de incremento marginal

El IIM más bajo se presentó durante el mes de Septiembre (IIM= 0.651501) con una tendencia mayor de bordes opacos durante el mes de febrero (39.21%); gráficamente se observó un incremento considerable durante el mes de Octubre asociado al bajo número de muestras en este mes, ya que se recolectó una muestra única (Octubre, n=1) (Figura 14).

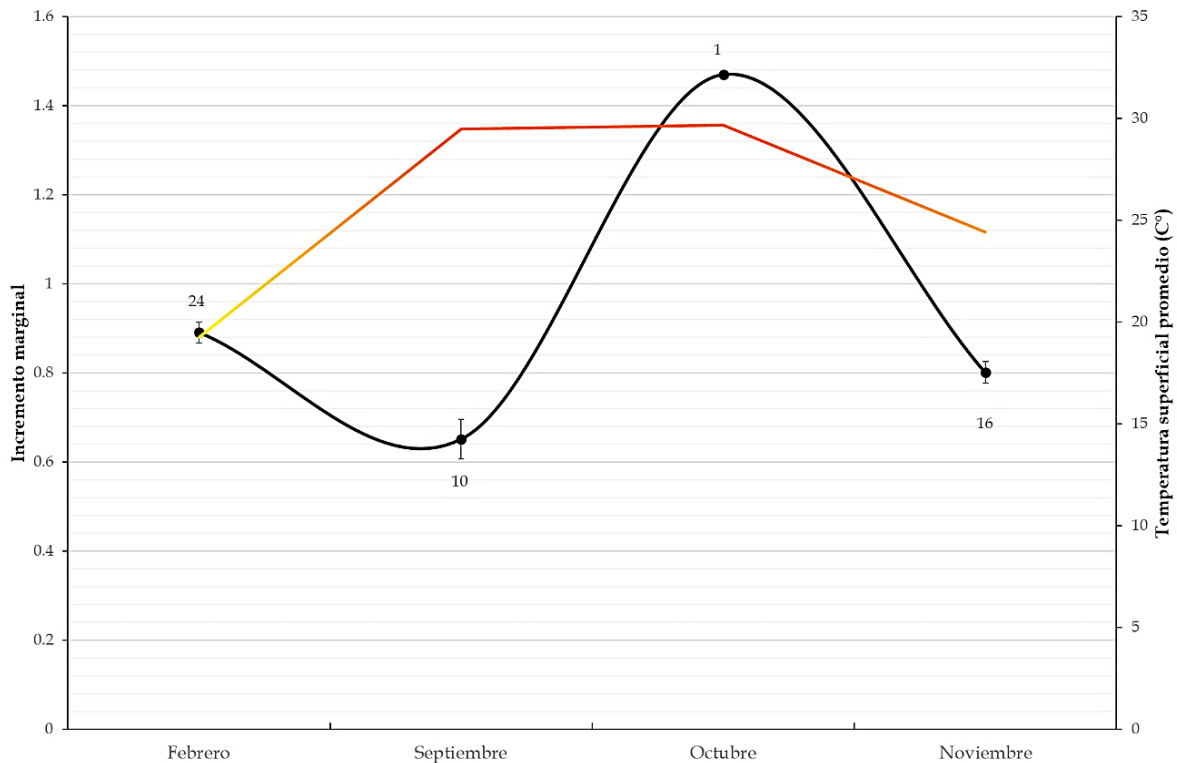


Figura 14. Incremento marginal promedio mensual (mm) vértebras de *S. zygaena*. Eje secundario; TSM (°C). Barras de error estándar.

La aplicación de la prueba estadística de Okamura, sugiere que la formación de bandas de crecimiento en las vértebras de *S. zygaena* en el Golfo de California es de tipo anual.

Modelo de crecimiento

Las edades estimadas correspondieron a ocho grupos de edad con organismos de entre 3 a 11 años. Para las hembras se identificaron 7 grupos de edad (de 3 a 11 años), la edad más alta estimada para hembras fue de 11 años (149 cm LT) mientras que para los machos se identificaron 5 grupos de edad (de 6 a 10 años), la edad más alta estimada para ellos fue de 10 años (151 cm LT). Vale la pena resaltar que durante el análisis de las marcas de crecimiento, a un organismo hembra de 186 cm se le asignaron 10 años (Figura 15).

La edad más frecuente observada fue de 9 años para hembras y de 8 años para machos.

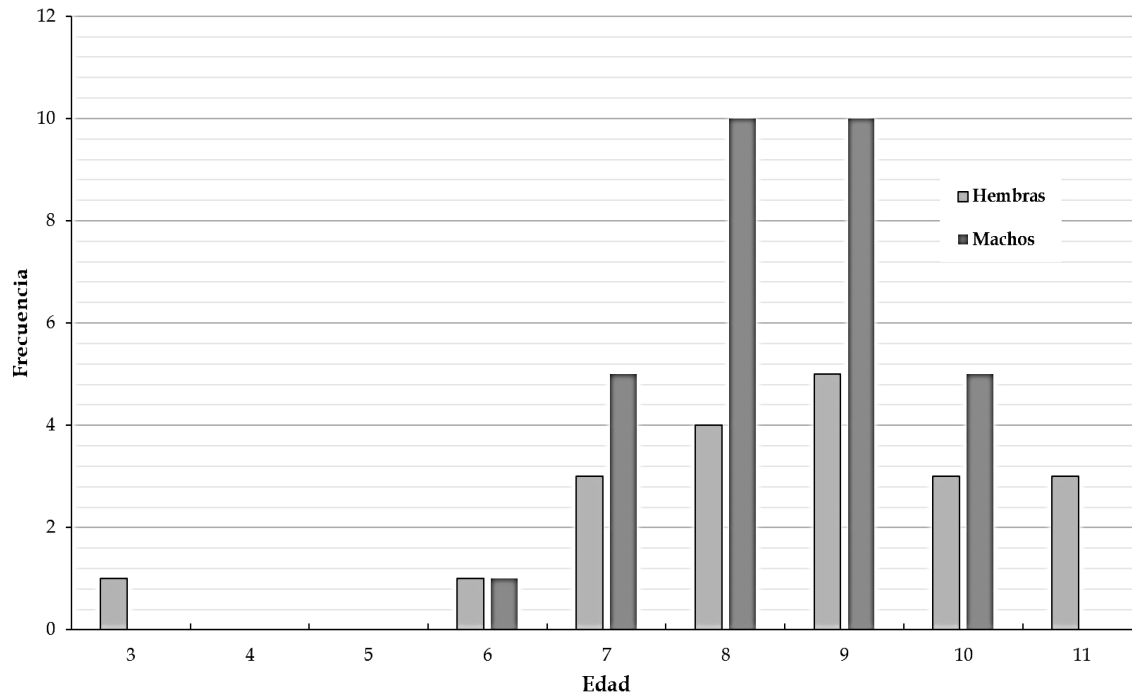


Figura 15. Estructura de edades. Frecuencia de edades por sexo para *S. zygaena*, considerando una formación anual de bandas por año.

Con la aplicación de la prueba de Kolmogorov Smirnov, se encontraron diferencias significativas en la distribución de edades entre sexos. De acuerdo a la aplicación de la prueba estadística de Kimura, se observaron diferencias entre los parámetros de crecimiento para machos y hembras.

Se ajustaron los cuatro modelos candidatos para cada conjunto de datos, donde se estimaron las curvas para sexos combinados, hembras y machos para los cuatro modelos propuestos. Los modelos de crecimiento se analizaron bajo un patrón de crecimiento lineal.

Figura 16. Parámetros de crecimiento estimados del modelo von Bertalanffy, Gompertz de dos y tres variables para machos, hembras y sexos combinados de *S. zygaena*. v.B. = von Bertalanffy

		L_{inf}	k	t_0	L_0 (cm LT)
Hembras	3 v.B.	373.55479	0.03448	-2.98714	
	2 v.B.	247.5974	0.06621	-	50
	3 Gompertz	220.97709	0.12125	4.17247	
	2 Gompertz*	292.11693	0.08261	-	50
Machos	3 v.B.	154.79792	0.12133	-2.93973	
	2 v.B.	219.09564	0.06780	-	50
	3 Gompertz	167.7812	0.09262	-2.1840	
	2 Gompertz*	173.12289	0.15512	-	50
Sexos combinados	3 v.B.	243.26224	0.06430	-2.52859	
	2 v.B.	474.41394	0.2229	-	50
	3 Gompertz	195.78544	0.13676	2.82192	
	2 Gompertz*	216.91029	0.11254	-	50

Para los datos de sexos combinados, se observó que el modelo de 2 von Bertalanffy presentó la longitud más grande y por consiguiente un coeficiente k alto. Por otra parte, la estimación con el modelo 3 Gompertz presentó valores positivos de t_0 y la longitud más baja observada (Figura 16).

Gráficamente, las curvas de crecimiento se localizaron por encima de los datos observados en el grupo de 3 años. Los modelos de dos variables presentaron longitudes de inicio mayores que aquellos con tres variables, con un patrón similar de crecimiento a partir de los 6 años y hasta los 10. El modelo de 2 Gompertz presentó un buen ajuste a los datos y fue significativo para machos, hembras y sexos combinados ($p < 0.05$) (Figura 17).

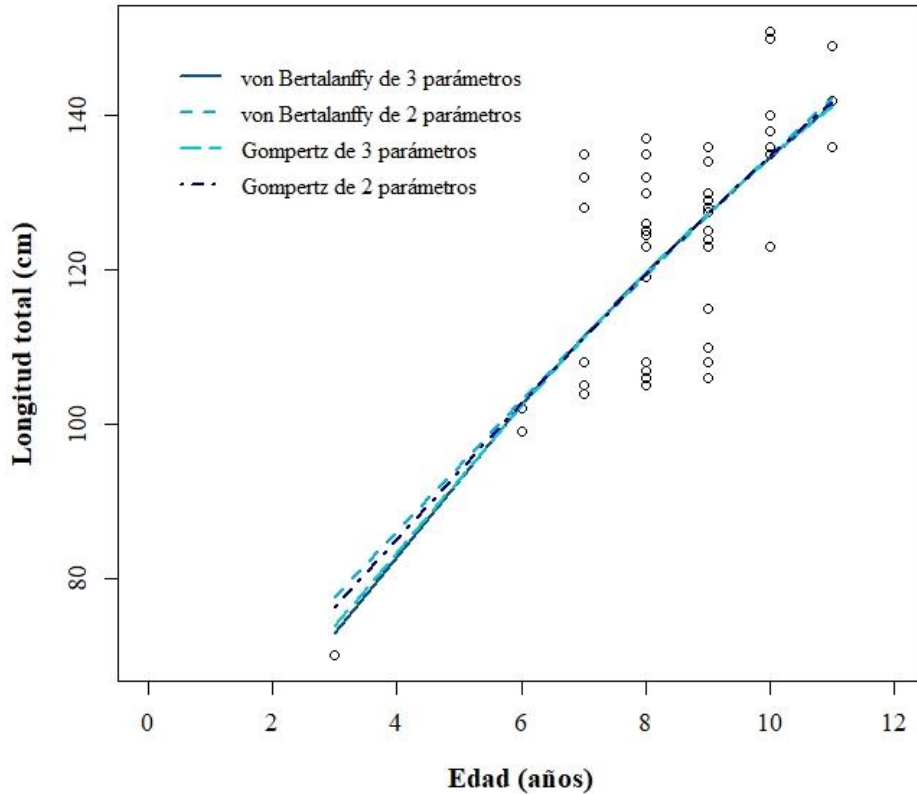


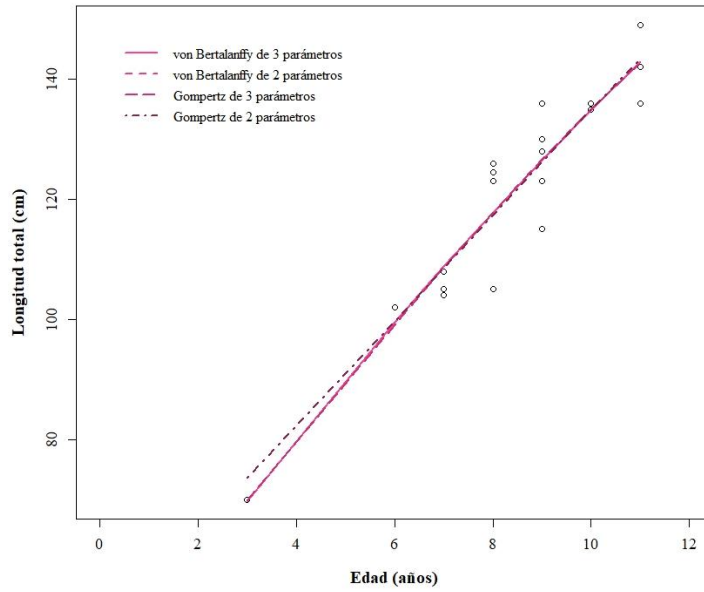
Figura 17. Modelos de crecimiento para hembras y machos de *S. zygaena* en el Golfo de California, 2018-2021.

Por otra parte, la estimación de la L_{inf} fue mayor para las hembras con respecto a los machos en todos los modelos aplicados (Figuras 18 y 19). Las hembras presentaron valores de la constante de crecimiento (k) más altos con el modelo 3 Gompertz y la longitud más baja observada con una tendencia positiva de t_0 (Figura 18 (a)), cabe destacar, que la presencia de una tendencia positiva del parámetro t_0 , probablemente ocasionado por la ausencia de organismos menores (<3 años), indicaría un sesgo en el muestreo, por lo cual, el parámetro t_0 que representa una edad hipotética en la longitud cero, fue estimado únicamente para el ajuste sin significado biológico. No obstante, dicho factor tiende a minimizar el valor de la L_{inf} y en consecuencia a sobrestimar el cálculo de k (Pauly, 1979; Oshitani et al., 2003).

La longitud más alta estimada se observó en las hembras con el modelo 3 von Bertalanffy con el factor k más bajo estimado, mientras que para los machos, los modelos de dos

variables presentaron el mejor soporte a los datos con longitudes bajas estimadas (Figura 19 (b)).

a)



b)

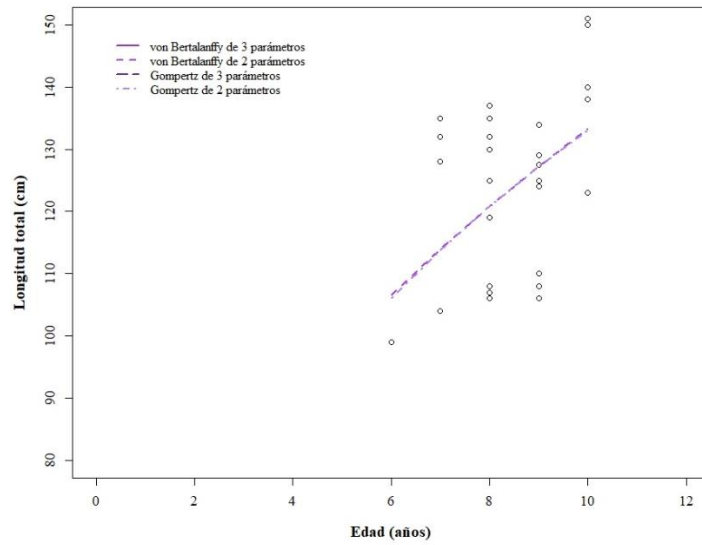


Figura 18 (a) y 19 (b). Modelo de crecimiento para (a) hembras y (b) machos de *S. zygaena* en el Golfo de California, 2018-2021.

Comparación de modelos

Los valores de AIC calculados para los modelos de crecimiento establecen que el modelo 2 von Bertalanffy presentó el mejor ajuste a los datos para sexos combinados, de igual forma el modelo 2 Gompertz presentó un buen ajuste. A continuación, el modelo de 2 Gompertz fue el más adecuado para las hembras con el valor de AIC más bajo estimado, el modelo 3 Gompertz también presentó un ajuste adecuado. Por otra parte, para los machos, el modelo 2 von Bertalanffy presentó el mejor ajuste sin embargo, el modelo 2 Gompertz se observó igualmente bueno con variaciones mínimas (Figura 20).

Figura 20. Criterio de Akaike (AIC) de *S. zygaena* en el Golfo de California 2018-2021.

		AIC _C	Δ	W_i
Hembras	3 v.B.	130.0103	0	0.237908
	3 Gompertz	129.9491	-0.061	0.245301
	2 Gompertz	128.4588	-1.551	0.516790
Machos	2 v.B.	249.2634	0	0.527721
	2 Gompertz	249.4063	0.1429	0.482145
Sexos combinados	3 v.B.	384.7627	0	0.147917
	2 v.B.	382.9857	-1.777	0.359658
	3 Gompertz	384.9414	0.1787	0.135274
	2 Gompertz	382.9997	-1.763	0.357149

La estimación de la edad para machos a partir del modelo de 2 variables de von Bertalanffy arrojó los siguientes valores; L_{inf} = 219.095 cm LT, con un valor de $k = 0.06780$. Con respecto a las hembras, a partir del modelo de 2 Gompertz, se estimaron valores de L_{inf} = 292.11 cm LT con un valor de $k = 0.0826$.

Ya que no hubo consenso en la elección del modelo usando únicamente el criterio de AIC, se procedió a la selección de modelo a partir de los criterios aproximados de Burnham & Anderson (2002) que establece una diferencia de 1 a 2 unidades del delta (Δ_i) de AIC entre dos modelos, como un soporte empírico aceptable y que puede ser

considerado en una inferencia. Por lo cual, se consideró que el modelo de 2 variables de Gompertz fue el que presentó el mejor ajuste para todos los datos para *S. zygaena* con un soporte estadístico significativo.

Por lo cual se determinó el modelo de dos parámetros de Gompertz para sexos combinados ($L_{inf}= 216.91$, $k= 0.1125$). En el caso de las hembras y machos, el modelo que mejor describió su crecimiento fue el de dos parámetros de Gompertz con los siguientes parámetros: $L_{inf}=292.11$, $k=0.0826$ para hembras y para machos $L_{inf}=173.122$, $k=0.1551$.

Contraste de modelos. Pacífico, Atlántico

De acuerdo a la ecuación de 2 Gompertz para *S. zygaena* se observaron diferencias gráficas significativas, donde las curvas de crecimiento fueron más semejantes a las estimadas en el Pacífico Ecuatoriano (*Figura 22*).

Figura 21. Parámetros estimados anteriormente y del presente estudio (L_{inf} , k y t_0/L_0) para *S. zygaena* 2004 - 2022

<i>Parámetros estimados</i>	Golfo de California (Sevilla, 2022)	Golfo de California (Morán Villatoro, 2018)	Pacífico ecuatorial (Falconí, 2015)	Atlántico Ecuatorial Oriental (Coelho et al, 2011)	Golfo de California (Garza, 2004)
<i>Hembras</i>					
N	19	69	54	65	20
L_{inf} (cm)	292.11	338.51	356	285.2	303.86
k	0.0826	0.18	0.053	0.07	0.1441
t_0/L_0	50	50	-2.45	-7.3	-2.1229
Edades observadas (años)	3 - 11	0 - 19	3- 17	4 - 18	1 - 18
<i>Machos</i>					
N	31	63	48	74	19
L_{inf} (cm)	173.122	349.59	225.49	272	299.339
k	0.1551	0.16	0.09	0.06	0.1399
t_0/L_0	50	50	-2.45	-9.4	-2.9912
Edades observadas (años)	6 - 10	0 - 16	3 - 11	4 - 21	1 - 16
<i>Combinados</i>					
N	50	132	102	139	39
L_{inf} (cm)	216.91		327.3	278	301.62
k	0.1125		0.059	0.06	0.139
t_0/L_0	50		-2.45	-8.3	-2.45

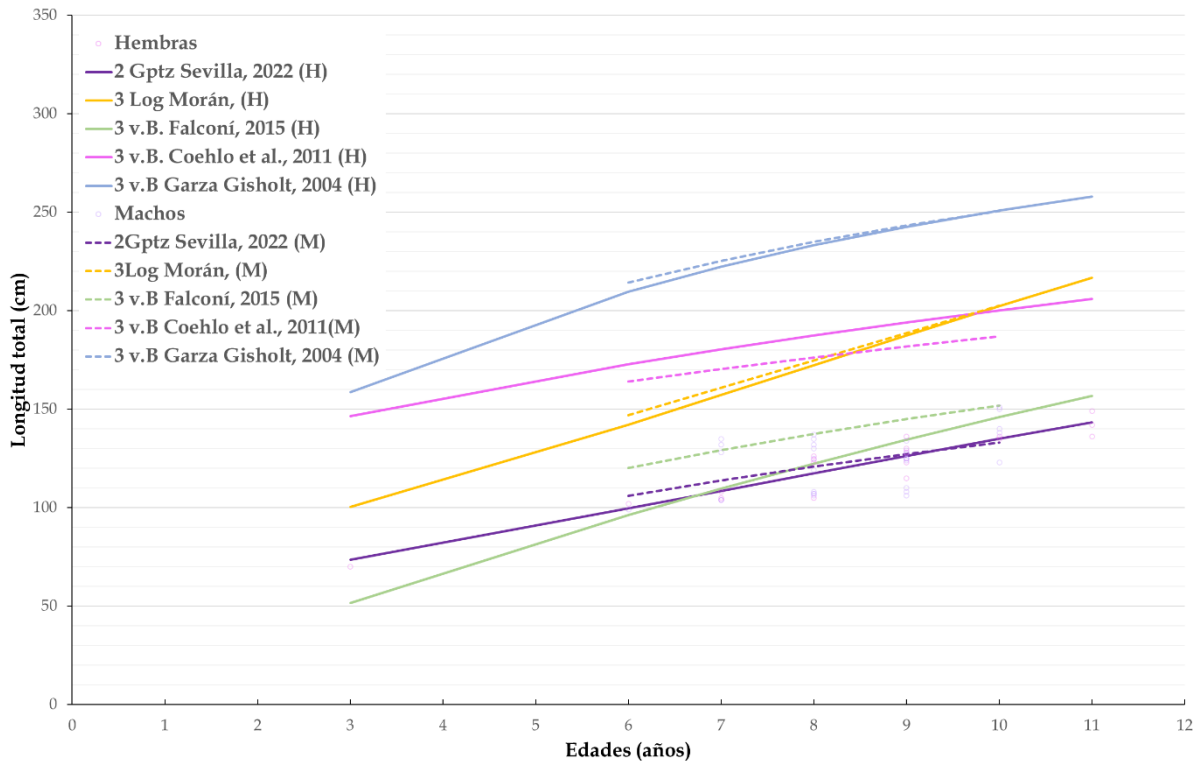


Figura 22. Comparación de las curvas de crecimiento para machos a partir del modelo de 2 von Bertalanffy en el Golfo de California (presente estudio) y 3 von Bertalanffy estimadas por Coelho et al. (2011) para el Atlántico, Falconí (2015) en las costas de Puerto López- Ecuador (Pacífico) y Garza (2004) en las costas de Baja California Sur (Golfo de California y Pacífico mexicano), además del modelo 3 von Bertalanffy para las hembras de la cornuda prieta *Sphyrna zygaena*.

Los parámetros de crecimiento para hembras a partir del modelo de 2 variables de Gompertz, en contraste con lo estimado en estudios previos por el modelo de 3 variables de von Bertalanffy, mostraron una mayor aproximación a la curva estimada por Falconí (2015) (Figura 21). Por otra parte, los parámetros de crecimiento estimados por Coelho et al. (2011) para el Atlántico presentaron una tendencia intermedia a los datos del presente estudio y los estimados por Garza. La curva observada a partir del modelo logístico de 3 parámetros por Morán (2018) para *S. zygaena* en el Pacífico mexicano, se posicionó por encima de los datos observados en el presente estudio, lo cual sugiere un crecimiento más rápido que la población del Golfo California estimada en este estudio. Asimismo, la aplicación del modelo de 3 variables de von Bertalanffy para machos y hembras estimada por Garza (2004), difiere con lo observado para la costa de BCS en el

presente estudio. La variación de las curvas podría estar relacionada a los años de muestreo, así como a las zonas y prácticas de captura.

DISCUSIÓN

Estructura de tallas

La estructura de tallas observadas (70 - 186 cm LT) para *S. zygaena*, se encuentra dentro de los intervalos correspondientes a lo reportado previamente para la zona de estudio, Garza (2004) reporta tallas (108 - 283 cm LT) sobre los 200 cm de LT con respecto al área del Pacífico y del Golfo, por otra parte con respecto al área del Pacífico, Morán (2018) reporta un rango más amplio (66 - 292 cm LT) que incluye organismos neonatos (66 - 75 cm LT). Asimismo, los valores correspondientes a cada sexo se encontraron dentro de los intervalos descritos previamente para tiburones capturados en el Golfo de California y el Pacífico mexicano. Con respecto a la zona del Atlántico en los estudios elaborados por Coelho et al. (2011) y Rosa et al. (2017), no se presentaron organismos menores a 100 cm de longitud total.

En el presente estudio, los tiburones registrados corresponden a organismos inmaduros de acuerdo al estudio elaborado por Nava & Márquez-Farías (2014) que determinaron que la talla de madurez sexual para las hembras de *S. zygaena* es de 200 cm de LT y para los machos es de 193.7 cm de LT. Por otra parte, Falconí (2015) reportó que las tallas para organismos neonatos y juveniles de *S. zygaena* se encuentran entre los 54 y los 150 cm de LT, mientras que Morán (2018), los reporta en tallas de entre 66 - 68 cm de LT.

La aplicación de la prueba estadística de Kolmogorov- Smirnov sugiere que no existen diferencias significativas en la distribución de tallas para machos y hembras de *S. zygaena*, esto mismo fue observado anteriormente por Garza en 2004 para la especie en la región del estudio.

Sin embargo, Falconí (2015) y Morán (2018) en sus estudios realizados en la zona del Ecuador y en el Pacífico respectivamente, reportan que las hembras de *S. zygaena* fueron significativamente más grandes que los machos.

Anteriormente se ha registrado esta discrepancia en otros estudios para otros tiburones, como *S. lewini*, donde la falta de diferencias observada en las tallas de machos y hembras, se atribuye a la ausencia de muestras (Drew et al., 2015). Es así que en el presente estudio, se presentaron tamaños de muestra menores a 100 organismos y una menor cantidad de grupos de edad, por lo cual se considera no se observó una diferencia de las tallas entre sexos.

Con respecto a la proporción sexual observada, se presentó un mayor número de machos que de hembras, semejante a lo observado por Falconí (2015). Por otra parte en el Golfo de California la proporción estimada, desempeñó un patrón similar al observado por Nava Nava & Márquez-Farías (2014), donde los organismos correspondientes a la etapa juvenil y neonatos presentaban una dominancia mayor de los machos, hasta su etapa adulta donde ocurrió el caso contrario. Garza (2004) y Morán (2018) observaron una proporción de hembras mayor que la de los machos.

Dada la proporción observada de organismos juveniles, esto puede ocurrir como consecuencia de la conducta migratoria de machos y hembras, ya que se ha observado que las hembras migran a aguas más profundas con tallas menores que los machos, con el objetivo de acceder a las presas de mayor aporte energético (Bolaño, 2009).

Además, en ambos estudios se presentaron organismos adultos y neonatos, particularmente en el estudio elaborado por Garza (2004) donde se analizaron tiburones capturados durante los meses de mayo a julio (periodo de veda). Además, la mayor proporción de hembras se observó especialmente al final de la temporada de veda en la zona del Pacífico mexicano, por lo que este resultado puede estar asociado a un ciclo de vida similar al observado para la especie *S. lewini*, en donde se ha registrado la presencia de hembras grávidas cercanas a la zona costera (Gonzalez-Pestana, 2018; Coiraton &

Amezcuca, 2020). Sin embargo, dicha proporción no se presentó en las capturas del Golfo de California de acuerdo al estudio elaborado por Garza (2004) y en el presente estudio, no obstante, no se descarta la presencia de este proceso en la zona.

Relación talla del organismo y radio de la vértebra

Se observó una dispersión de las muestras con organismos de talla similar y con una variación en el tamaño de las vértebras que puede estar asociada a la colecta de muestras. Esta actividad, se realiza priorizando las vértebras de la región dorsal (Panfili et al., 2001). Sin embargo, las condiciones en campo pueden ocasionar dificultades en el muestreo y con ello, la obtención de vértebras de otra zona como es la región cefálica caracterizadas por un tamaño menor (Natanson et al., 2019), esta dispersión se ha observado en otros estudios con otras especies de tiburones, como es el tiburón toro *Carcharhinus leucas* (Branstetter & Stiles, 1987) y previamente para la especie de estudio (Morán, 2018).

No obstante, en el presente estudio se registró una relación lineal y significativa para las muestras de *S. zygaena*, sin diferencias entre machos y hembras.

Por lo cual, se considera un crecimiento de la vértebra en función de la talla del organismo, lo que coincide con lo reportado en los estudios previos para la zona de estudio (Garza, 2004; Morán, 2018) y el Océano Atlántico, donde el análisis se realizó a partir de la relación con la longitud furcal (Rosa et al., 2017).

Lecturas de bandas de crecimiento. Precisión del conteo de edad

La precisión de las lecturas mostró valores por debajo del 10% tanto para el CV como el APE, por lo que podemos considerar la determinación de la edad como consistente y adecuada (Campana, 2001). Los valores intra - lector (CV=5.59%, APE=4.75%) fueron ligeramente más altos a los obtenidos por Morán (2018) para la especie. La variación observada fue mayor entre lectores (CV=9.05%, APE=7.73%) pero igualmente válida para

el presente estudio, esta diferencia pudo ser originada por la experiencia del lector o la legibilidad de las bandas (Panfili et al., 2001).

Porcentaje de bordes

El uso del análisis de borde presentó un periodo incompleto compuesto por cuatro meses y dos temporadas; otoño e invierno. El resultado encontrado propone un mayor porcentaje de bandas opacas durante la temporada de invierno (Febrero - Invierno), lo que supone una mayor deposición de calcio (bandas opacas) cuando la temperatura superficial del mar es más fría. Estos resultados difieren con lo previamente reportado en el Pacífico por Morán (2018), donde se sugiere una mayor deposición con las temperaturas más cálidas registradas (Octubre, noviembre - Otoño) y se observa la ausencia de registros durante la temporada de invierno (Morán, 2018).

En los estudios de edad y crecimiento, frecuentemente se presentan números limitados de muestras es decir, el muestreo mensual de un año o más es un trabajo complejo con pocas posibilidades (Smart et al., 2013), por lo que el periodo conjunto de los bordes observado por Morán (2018), proporcionó un análisis parcial anual ya que hasta el momento, no se han registrado diferencias en la estructura de tallas y edades de las poblaciones de la cornuda prieta presentes en el Pacífico y el Golfo de California (Garza, 2004).

Por lo cual, el análisis en conjunto posterior proveyó una perspectiva más amplia de la formación del borde opaco a finales del año (Octubre), que se asume con las temperaturas más cálidas registradas donde las condiciones son favorables para el crecimiento de los organismos, sin embargo se sugiere un incremento máximo de la deposición que se asocia con el descenso de la temperatura (20-25°) (Octubre-Febrero) y que culmina en la temporada más fría, dicha formación se asemeja a lo observado en el presente estudio con lo reportado por otros autores (Garza, 2004; Wray-Barnes, 2016; Morán, 2018). Además, el aumento de las bandas hialinas durante la transición a la primavera (Marzo)

se atribuye a un crecimiento más lento y constante de los organismos asociado a la temperatura media observada (24°C) durante los primeros meses y a mediados de la temporada de veda (Smith et al., 2004).

Las condiciones ambientales como es la temperatura y la disponibilidad de alimento, presentan una fuerte influencia en el desarrollo metabólico y por ende en los patrones de crecimiento (Casselman, 1983). Particularmente, *S. zygaena* presenta una preferencia térmica en aguas templadas (Santos & Coelho, 2018).

Índice de incremento marginal

El análisis de IIM destaca como una herramienta de validación eficaz y práctica para la determinación de la formación de incrementos anuales en peces juveniles particularmente para aquellos con rápido crecimiento y con muestras mayores a 100 organismos (Cailliet et al., 2006; Campana, 2001); en el presente estudio la periodicidad anual de la formación de las bandas muestra una tendencia irregular con un ciclo indefinido sin embargo, en adición al resultado observado en el contraste anterior (*Figura 12*) y la aplicación de la prueba estadística de Okamura, se propone una formación anual de las bandas de crecimiento que coincide con lo observado en estudios anteriores, para los litorales del Pacífico y Golfo de California (Falconí, 2015; Garza, 2004; Morán, 2018), Atlántico (Coelho et al., 2011; Rosa et al., 2017) y el Mar de Tasmania (Wray-Barnes, 2016).

A la fecha en que se elabora esta investigación, no se encontraron estudios que implementen el uso de métodos más rigurosos que corroboren la validación de la formación anual observada en este y en estudios anteriores para *S. zygaena* como lo realizado para otras especies de *Sphyrna* (Prince & Pulos, 1983); como es la implementación de técnicas de captura y recaptura en el tiburón cabeza de pala *Sphyrna tiburo* (Linnaeus, 1758) (Frazier et al., 2020; Tyminski et al., 2007), el análisis de longitud de frecuencias en el tiburón martillo común *Sphyrna lewini* (Branstetter, 1987b) o la aplicación de

oxitetraciclina en el cazón de ley *Rhizoprionodon terranova* (Richardson, 1836) (Branstetter, 1987a).

Modelo de crecimiento

Los grupos de edad observados caen dentro de los valores presentados por Garza (2004) previamente para la zona de estudio.

Sin embargo, se presentó un intervalo reducido de bandas de crecimiento en relación a los estudios previos, donde se encontraron organismos con más de 10 bandas y organismos neonatos (0-1) como es en el trabajo de Garza (2004) y Morán (2018), lo que difiere con lo observado en este estudio ya que se presentó una edad máxima correspondiente a 11 bandas de crecimiento y mínima de 3 para las hembras, mientras que los machos presentaron una edad máxima de 10 bandas de crecimiento y mínima de 6 (Véase anexo, figura 26).

El rango de edad observado es similar al estimado por Falconí (2015), Garza (2004) y Morán (2018) con estudios elaborados a partir de muestras provenientes de la pesca ribereña y donde se encontraron edades que no superaron los 20 años, lo que difiere con lo reportado para la pesca comercial en la zona del Atlántico por Coelho et al. (2011) y Rosa et al. (2017).

Morán (2018) atribuye este hecho a los patrones de migración de la especie. Además, en algunos tiburones martillo, la presencia de hembras preñadas cercanas a la zona costera como una posible estrategia reproductiva durante la temporada de alumbramiento; favorece que las crías permanezcan en esa zona durante las primeras etapas de su desarrollo (Klimley, 1987; Semba, 2018).

Los resultados para la cornuda prieta con los modelos de tres parámetros, mostraron un desempeño adecuado para el análisis de los sexos combinados, así como para el de las hembras; sin embargo presentaron el ajuste más bajo para los machos.

Anteriormente, el modelo de von Bertalanffy ha sido el que mejor describe el crecimiento para la especie en el Océano Pacífico (Garza, 2004; Falconí, 2015; Wray-Barnes, 2016), Atlántico (Coelho et al., 2011) e Índico (Manjusha et al., 2011). Los autores que emplearon más de un modelo estadístico como Morán (2018), determinaron que el uso del modelo logístico de tres parámetros para la costa occidental de BCS (Océano Pacífico) y el modelo de 2 von Bertalanffy con el ajuste a los datos retrocalculados de Dahl-Lea cuadráticos modificados empleado por Rosa et al. (2017) eran los más adecuados para describir la edad y crecimiento de esta especie para la zona del Atlántico.

Los resultados de los modelos de crecimiento empleados en el presente estudio, coinciden con los reportados en estudios previos, no obstante, son pocos los trabajos que han implementado el uso de diferentes modelos para el análisis de edad y crecimiento en esta especie. La aplicación de diferentes modelos, promueve la comparación y selección de aquel que sea más apropiado, es decir, aquel con el mejor ajuste a los datos de edad y longitud para prevenir la selección de un modelo *a priori* (Cailliet et al., 2006; Zhu et al., 2009).

Considerando una variación en los procesos de anabolismo y catabolismo para la especie, la aplicación del modelo de Gompertz que considera una disminución exponencial de la tasa de crecimiento conforme a la talla del individuo, es empleado en tamaños de muestras pequeñas y regularmente para describir el crecimiento en los primeros años de vida (Katsanevakis & Maravelias, 2008; Thorson & Simpfendorfer, 2009; Gómez Márquez et al., 2020).

Comparación de modelos

Se seleccionó el mejor modelo para cada caso, eligiendo aquel que tuviera el menor valor de AIC_c , y el peso estadístico de cada modelo. En el presente estudio, para el análisis de sexos combinados y para los machos, el mejor modelo de acuerdo al criterio de AIC con el valor mínimo presentado y que se consideró dio el mejor ajuste a los datos, fue el

modelo de 2 von Bertalanffy, sin embargo, dicho modelo no presenta términos estadísticamente significativos. En el caso de las hembras, de acuerdo al criterio de AIC, el modelo de 2 variables de Gompertz fue el de mejor ajuste, con valores significativos de ajuste a los datos.

Los parámetros de la curva de crecimiento para sexos combinados de *S. zygaena* fueron similares a los valores reportados en estudios previos. La longitud infinita estimada por el modelo fue más baja que los valores previos reportados para la zona de estudio, con una tasa de crecimiento (k) similar a lo observado en la literatura previa para la zona del Pacífico y semejante a lo presentado por Garza (2004) en BCS y Coelho (2011) en el Atlántico donde se obtuvo una correspondencia similar entre ambas variables.

En el modelo de 2 variables de Gompertz al utilizar la talla de nacimiento ($L_0=50$), como un parámetro fijo, resultó con la mejor estimación para las hembras, machos y sexos combinados ya que reduce la incertidumbre de la aplicación de t_0 . El crecimiento estimado para la especie se determinó como lento, de acuerdo al criterio establecido por Branstetter (Pratt et al., 1990) lo que corresponde a lo previamente observado para la cornuda prieta en el Golfo de California y la costa occidental del estado (Garza, 2004; Morán, 2018) así como en el Pacífico ecuatoriano (Falconí, 2015).

Por otra parte, las curvas de crecimiento para hembras y machos mostraron diferencias significativas a lo observado en estudios previos. Para las hembras se estimaron valores similares, aunque con una L_{inf} más baja que en estudios previos, que coincide con lo observado para la zona del Atlántico con una estimación mayor, aunque difiere sutilmente en el factor de crecimiento k (Coelho et al., 2011).

Por otra parte, el valor de L_{inf} estimada para los machos, fue inferior en comparación con los estudios anteriores, acercándose más a los valores observados por Falconi (2015), no obstante el factor de crecimiento k fue similar a los reportados para la zona de estudio (Garza, 2004; Morán, 2018). La subestimación de la L_{inf} puede ser una consecuencia de la

baja representación de los grupos de edad en los machos y del número de muestras (Smart et al., 2013) (*Figuras 18(a) y 19(b)*).

Aun cuando no se presentaron diferencias estadísticas entre las tallas de machos y hembras, en los modelos aplicados, el dimorfismo sexual en el tamaño de los tiburones, es considerado una característica frecuente en algunas especies, en el que las hembras tienden a mostrar tallas mayores que los machos (Ruckstuhl & Neuhaus, 2005), por lo que puede implicar que los tiburones capturados, presentan una segregación de la población por tallas o pertenecen a una misma población móvil. Sin embargo, la alta frecuencia de juveniles además de la ausencia de tallas grandes, presentan una fuente de sesgo significativa ya que se observó únicamente un organismo hembra de 186 cm LT, por lo que es de gran importancia la incorporación de organismos adultos o de tallas mayores para proporcionar una mayor confianza en la estimación de dicho parámetro. Por otra parte, las diferencias en la longitud de los organismos correspondientes a un mismo grupo de edad, coinciden con la variabilidad biológica del crecimiento individual ($t+1... t+n$) (Vincenzi et al., 2020).

Muchos estudios suponen al modelo de von Bertalanffy como predeterminado (Cailliet & Goldman, 2004) para la estimación del crecimiento de los tiburones, sin embargo en el presente estudio se sugiere el uso de modelos alternos que pueden describir el crecimiento en esta especie y en particular, con muestras reducidas.

Contraste de modelos. Pacífico, Atlántico.

La variabilidad de las curvas de crecimiento estimadas pueden verse afectadas por diversos factores, como es el rango de tallas reducido de captura en la zona del Golfo de California, que asimismo, puede estar relacionado a la capacidad de la flota artesanal, así como de las artes de pesca implementadas. Smith et al. (2009) menciona como la aplicación de redes agalleras de fondo presentan una mayor tendencia en la captura de juveniles, además de ser comúnmente más empleada (Bizzarro et al., 2009; Ramirez-

Amaro et al., 2013) y con una baja selectividad de especies (Furlong-Estrada et al., 2014). Esto corresponde a lo observado en el área de estudio, donde los pescadores mencionaron lo siguiente de acuerdo las artes de pesca empleadas: las prácticas de captura utilizadas consisten en la instalación de redes o palangres en el mar y a la colecta posterior a un periodo de 12 a 24 horas, que en consecuencia no permite el descarte de tallas y conlleva a una alta selectividad de tallas chicas.

Otras variables a considerar, es la alta movilidad de la especie reportada previamente y a las estrategias de reproducción observadas en los tiburones martillo, tanto en *S. zygaena* como *S. lewini*, que junto con la temperatura y la disponibilidad de alimento, determinan la incidencia de adultos o juveniles en las zonas costeras de BCS (Ochoa, 2009; Ketchum et al., 2014; Santos & Coelho, 2018; Estupiñán-Montaña et al., 2019).

Las variaciones en las curvas descritas por los diferentes autores y del presente estudio (Figura 22), pueden ser atribuidas a las características oceanográficas de la costa occidental de BCS, donde se presenta una gran productividad biológica como consecuencia de la alta actividad de las surgencias (Lluch Belda et al., 2000). En el Golfo de California, por otra parte, se presentan elevados niveles de evaporación con una importante variación térmica de la temperatura superficial promedio del mar (TSM) a lo largo de la península y en el transcurso del año, por lo que la cantidad de nutrientes puede variar como consecuencia de distintos factores aunado al efecto de la Corriente de California y al ingreso de aguas cálidas derivadas del Pacífico oriental, por ejemplo; el flujo de agua del sur a verano presenta pocos nutrientes, como consecuencia de las precipitaciones de verano y otoño (Alvarez-Borrego et al., 1978; Castro Aguirre et al., 1995).

Por otra parte, se han identificado poblaciones de otros tiburones que pueden estar reproductivamente aisladas como consecuencia de las características geográficas de la península (Castro Aguirre et al., 1995; Ochoa Díaz, 2009). Estas barreras geográficas han sido descritas en otras especies como el cazón pardo (*Mustelus henlei*) (Méndez, 2008).

Si bien no se han registrado previamente diferencias en las poblaciones del Golfo de California y el Pacífico, conforme al estudio elaborado por Garza (2004), el tamaño de muestra presentado en el estudio (<40) podría considerarse insuficiente para determinar la ausencia de una variación en el crecimiento de la cornuda prieta en dichos litorales.

La alta presencia de juveniles, alude al impacto significativo que tienen las pesquerías artesanales, particularmente en los tiburones costeros (Furlong-Estrada et al., 2017). La depredación de los juveniles en áreas cercanas a la costa ha sido descrita anteriormente para la cornuda prieta y ocurre particularmente en periodos nocturnos. Además, se ha observado que es conforme el tiburón crece, es que sucede una migración a mayor profundidad asociada al cambio de hábitos alimenticios de la especie (Ochoa Díaz, 2009). De modo que, la dinámica asociada a algunas especies de la familia *Sphyrnidae* con nacimientos cercanos a la costa y la transición como adultos a aguas profundas, para *S. zygaena* indicaría la presencia de organismos juveniles vulnerables en el rango de captura (Gallagher & Klimley, 2018).

En diversos estudios para la especie, se ha reportado una alta frecuencia de juveniles, además el Golfo de California ha sido descrito como posible zona de reproducción y crianza para diferentes especies de tiburones incluyendo a *S. zygaena* (Villavicencio Garázar, 1999; Salomón-Aguilar et al., 2009). Por otra parte, el testimonio de los pescadores sugiere un mayor avistamiento de organismos de gran tamaño en la zona durante los meses de Mayo - Julio, que corresponde al periodo de veda. Sin embargo, el cierre posterior del periodo de veda podría considerarse insuficiente para la especie y como consecuencia aumentaría la vulnerabilidad de los tiburones en la costa durante su primera etapa de vida. Por ello, se sugiere la revisión de este periodo de veda para futuras investigaciones (Sosa-Nishizaki et al., 2022).

OPORTUNIDADES PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS TIBURONES

En el transcurso de esta investigación, se hace una mención constante de la importancia del muestreo y como la limitante principal observada, fue el tamaño de muestra alcanzado, posiblemente como resultado del sesgo producido por la dinámica migratoria de la especie o las prácticas de captura de la flota ribereña como es la selectividad de las artes de pesca implementadas (Pratt et al., 1990; Smart et al., 2013). Contribuir a la conservación de la especie requiere del desarrollo de la historia de vida, ya que actualmente son diversos los aspectos desconocidos en *S. zygaena* que dificultan la estimación del impacto real de la disminución de sus poblaciones (Sosa-Nishizaki et al., 2022).

Tanto en el presente estudio como en los elaborados anteriormente en la zona, se presenta una constante captura de juveniles que pudieran limitar la recuperación de la especie.

La pesca de los tiburones martillo en BCS se ha observado como un importante atractivo económico en las comunidades pesqueras por su alto valor comercial. Sin embargo, la fluctuación en el precio del mercado nacional depende en gran medida del tamaño de la especie, especialmente para el comercio internacional, por lo que el valor adquisitivo estaría dado por la composición de las capturas de tallas grandes. De modo que, la frecuente captura de juveniles podría no ser tan productiva o inclusive suscitar la aparición de un mercado creciente indeseado de aletas de “bajo costo” (Cardeñosa et al., 2020).

Por lo cual, es necesario cuestionar el consumo de tiburón tanto en México como en el mundo, pero principalmente en los países asiáticos. Analizar y poner en duda, las aplicaciones que le damos al consumo de tiburón; ¿es indispensable su consumo?, ¿a quiénes beneficia su captura y a que alternativas económicas se tiene acceso? Es preciso apoyar el uso sustentable del recurso para su uso y mantenimiento en el futuro, es decir, debemos brindar al ecosistema la capacidad de recuperación a través del fomento de la conciencia ambiental de todos los involucrados y en las diferentes generaciones (Mission Blue, 2017).

Por otra parte, es de gran importancia promover la identificación y registro de las especies en cada actor que participa del comercio de los tiburones martillo a través de la creación de capacidades. Dado que el registro pesquero y la información detallada de las especies, si bien es una de las herramientas de mayor utilidad que se implementa como fundamento de muchas investigaciones de tiburones, las prácticas de registro pueden llegar a ser imprecisas, especialmente en organismos de tallas reducidas como consecuencia de la implementación y variación de nombres comunes, que son empleados principalmente por costumbre así como por cuestiones de practicidad para el posterior traslado y comercialización de los productos que son rápidamente perecederos, como lo es la carne de tiburón (Mora & Geiger, 2019; Sosa-Nishizaki et al., 2022).

Aun cuando se han identificado algunas variables biológicas en el tiburón *S. zygaena* vinculadas a la alta incidencia de juveniles, así como las implicaciones que tienen las prácticas de captura de tiburones para la obtención de muestras y de diversificación de los grupos de edad; el nexo social entre los pescadores de Santa Rosalía con la comunidad científica de BCS presentó una cuestión de interés en este trabajo.

Pese a que no se concretó una evaluación de carácter cualitativo en esta investigación especialmente como consecuencia de la pandemia de COVID, las observaciones y experiencias posteriores en campo formularon nuevas reflexiones pertinentes para la estimación de la edad y crecimiento de la cornuda prieta.

La pesca artesanal en el área de Santa Rosalía, dispone de pocos pescadores dedicados a la captura de tiburones y rayas; en la zona denominada como Dársena, 2 de los 3 pescadores presentes en la zona se encuentran dispuestos a cooperar en el suministro de especies para el desarrollo de investigaciones en tiburones. Esta actividad, consiste en el préstamo de algunos organismos para la recolección del “eviscerado”, toma de medidas y en algunos casos en los que el organismo no ha sido abierto, el peso. Por lo que los investigadores deben realizar dichas actividades gestionando el tiempo de forma efectiva para no dificultar la venta y procesamiento de sus productos, así como la obtención de una importante recolección de muestras de la especie de interés.

Por otra parte, en el campo pesquero de San Bruno, sólo se cuenta con la participación de un pescador de la comunidad. La proporción baja observada de pescadores dedicados a la captura de tiburones, puede verse como consecuencia del atractivo de otras pesquerías, como es en el caso de San Bruno donde destaca la producción de calamar gigante (Montaño et al., 2015). Además la falta de reapertura o reasignación de permisos de captura imposibilita la pesca legal autónoma de los tiburones, permaneciendo en manos de unos pocos (Finkbeiner & Basurto, 2015).

Si bien se ha intentado ingresar a otro de los campamentos pesqueros de la zona, donde se conoce se capturan tiburones de tallas mayores, se ha presentado una negativa al ingreso de los investigadores. Esto se ha manifestado en un temor y descontento entre varios de los pescadores al atribuir la presencia de los investigadores con la prohibición de la pesca. Posiblemente como consecuencia de la falta de comunicación y desconocimiento hacia las investigaciones generadas. La elaboración de acuerdos y medidas de regulación elaboradas a partir del interés de unos pocos, han perjudicado la relación de la ciencia y la sociedad (Karr et al., 2017).

Otro punto a considerar es la capacidad de la institución científica para visitar las localidades, la distancia del centro de investigación a los campamentos pesqueros puede limitar la interacción así como el alcance de los pobladores para conocer las tareas y el fruto de su cooperación en la gestión pesquera.

La integración del conocimiento y experiencia de los pescadores para facilitar el manejo en las comunidades, es esencial en el desarrollo de estrategias de conservación efectivas, especialmente en especies en peligro, por lo que la falta de inclusión de los actores involucrados, dificulta las opciones de manejo de recursos (Lim et al., 1995a; Aburto et al., 2016).









En consecuencia, para la elaboración de medidas de manejo pesquero, el desarrollo de información científica si bien debe promover la pesca responsable que no comprometa la estabilidad biológica de las especies, asimismo, debe contemplar los intereses y necesidades de todos los involucrados para garantizar la aceptación y apropiación de los

esquemas de manejo, ya sean las universidades locales, organizaciones regionales y comunidades locales, esto para el desarrollo de capacidades a través de la participación activa en foros, compartiendo conocimientos y experiencias. El manejo sustentable de los ecosistemas fundamentado en estos principios, permitirá asegurar la continuidad de cualquier actividad que aproveche los recursos naturales (Finkbeiner & Basurto, 2015; Karr et al., 2017; Jiménez et al., 2018).

Por lo tanto, en esta investigación, se destaca la necesidad de desarrollo de la cohesión social con los pescadores de la zona de Santa Rosalía, esto es de utilidad principalmente, con el objetivo de incrementar el tamaño de muestra en futuros estudios que provean un respaldo de los parámetros poblacionales estimados para múltiples especies de interés en próximas investigaciones, incluida la de este estudio. La correcta estimación de los parámetros de edad y crecimiento, facilitarán la determinación del potencial de captura de las especies de tiburones. Además, el aumento en la confianza de los pescadores para con la academia, como se ha descrito anteriormente, puede impulsar su participación en las tareas de gobernanza a través del sentido de pertenencia (Lim et al., 1995; Finkbeiner & Basurto, 2015).









Con el aporte científico y los conocimientos de las comunidades costeras a los instrumentos de gestión actuales, se inducirá a la óptima ejecución de medidas de manejo, la revaloración de las mismas o inclusive a la exploración de nuevas estrategias o medidas complementarias y con ello, evitar en gran medida el colapso de las poblaciones de tiburón, prevenir el declive de las economías y medios de subsistencia de muchas comunidades costeras y en consecuencia, posibilitar la soberanía alimentaria de los pescadores tiburoneros.


CONCLUSIONES

-  De acuerdo al análisis realizado, la estructura de tallas observada estuvo mayormente representada por juveniles de *Sphyrna zygaena*.
-  Las vértebras, son una estructura adecuada para el análisis del crecimiento de *Sphyrna zygaena* puesto que, el radio de las vértebras presenta un crecimiento lineal en proporción a la longitud de los organismos.
-  No se encontraron diferencias significativas en las tallas de machos y hembras.
-  Se presentó una formación anual de las bandas de crecimiento, con una mayor ocurrencia durante la temporada de octubre a febrero, asociado a la transición de la temperatura cálida a fría.
-  Se encontraron 7 grupos de edad que abarcan desde los 4 a los 11 años.
-  Los parámetros estimados para sexos combinados son: $L_{inf}= 216.91$, $k= 0.1125$, a partir de la ecuación de dos variables de Gompertz.
-  El modelo de crecimiento de dos variables de Gompertz resultó el que mejor describe el crecimiento para hembras y machos de *S. zygaena* en el presente estudio, los parámetros estimados con mejor ajuste a los datos a partir del modelo son: $L_{inf}=292.11$ y $k=0.0826$ para hembras y $L_{inf}=173.122$ y $k=0.1551$ para machos.
-  La cornuda prieta, *Sphyrna zygaena* presenta un crecimiento anual lento.















RECOMENDACIONES

Se sugiere considerar las siguientes recomendaciones para el enriquecimiento de futuros estudios que determinen la edad y crecimiento de *S. zygaena*:

-  La implementación de un enfoque multimodelo en futuros estudios que favorezca la estimación de parámetros.
-  Ampliar el tamaño de muestra, procurando obtener muestras representativas de todos los estadios de crecimiento y un periodo de muestreo completo anual.
-  Procurar la extracción de vértebras de la región precaudal. Procurar la extracción y análisis de vértebras de la misma región, procurando la colecta de las vértebras que ocupen la misma posición en los diferentes organismos.
-  Aplicación de diferentes métodos de observación de las marcas de crecimiento.
-  La verificación de la edad y crecimiento para la especie requiere la implementación de herramientas de mayor rigurosidad como son los programas de captura-recaptura junto con la aplicación de oxitetraciclina para determinar la periodicidad de las marcas.
-  Desarrollo de la biología básica de la especie. El análisis de migración y la determinación del ciclo reproductivo de la especie serán particularmente favorables en el análisis de la edad y crecimiento.
-  Elaboración de un análisis comparativo de las poblaciones del Golfo de California y la costa occidental de Baja California Sur con un tamaño de muestra por región mayor.
-  Atención al periodo de veda y a la alta incidencia de juveniles capturados.

 La cooperación de todos los actores involucrados en la captura de tiburones es primordial para el desarrollo de esta y de futuras investigaciones por lo cual, se resalta la necesidad de la inclusión de la sociedad científica con los pescadores de Baja California Sur.

GLOSARIO

-  **Banda hialina o traslúcida.** Zona de la vértebra con menor concentración de carbonato de calcio que permite el paso de la luz asociado al crecimiento lento.
-  **Banda opaca.** Zona con mayor concentración de carbonato de calcio que impide el paso de la luz; la deposición del material se asocia a los periodos de rápido crecimiento.
-  **Ceratotriquia.** Cartílagos radiales que brindan soporte a las aletas de tiburón.
-  **Corpus calcareum.** Área de la vértebra con mayor calcificación, zona más externa en un corte longitudinal.
-  **Corroboración.** Confirmación de la unidad temporal del crecimiento de una especie. Respaldo del método de datación de edad.
-  **Validación.** Método de evaluación de la frecuencia de formación del crecimiento típico.
-  **Crecimiento.** Cambio físico (longitud o peso) de un organismo a través del tiempo.
-  **Edad.** Tiempo vivido de un organismo.
-  **Foco.** Zona central de la vértebra.
-  **Incremento marginal.** Análisis cuantitativo que evalúa la temporalidad de la formación de bandas de crecimiento a partir del uso de estructuras rígidas como espinas o vértebras.
-  **Marca de nacimiento.** Banda más próxima al foco, generalmente formada después del nacimiento que puede relacionarse con un cambio de ángulo irregular en el *corpus calcareum*.
-  **Zona intermedialia.** Región interna de la vértebra observada en un corte longitudinal con menor calcificación.
-  **Veda.** Periodo de suspensión de las actividades de captura de determinadas especies de flora y fauna, que tiene por objeto la protección de las poblaciones marinas en una región geográfica definida.
-  **Selectividad de los artes de pesca.** Capacidad de las herramientas de pesca para capturar la especie o talla deseada.

BIBLIOGRAFIA

- Aburto Oropeza, O., López Sagástegui, C., Moreno Báez, M., Mascareñas Osorio, I., Jiménez Esquivel, V., Johnson, A. F., & Erisman, B. (2016). Endangered Species, Ecosystem Integrity, and Human Livelihoods. *Conservation Letters*. <https://doi.org/10.1111/conl.12317>
- Alifrangis, C., & Stebbing, J. (2012). Shark cartilage: Has the popularisation of science failed? En *The Lancet Oncology* (Vol. 13, Número 1, p. 22). [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(11\)70425-9](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(11)70425-9)
- Alvarez-Borrego, S., Alberto-Rivera, J., Gaxiola-Castro, G., Acosta-Ruiz, M. de J., & Schwartzlose, R. A. (1978). Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 5(2), 53–71. <https://www.researchgate.net/publication/259362110>
- Arreguín-Sánchez, F., Hernández-Herrera, A., Ramírez-Rodríguez, M., & Pérez-España, H. (2004). Optimal management scenarios for the artisanal fisheries in the ecosystem of la Paz Bay, Baja California Sur, Mexico. *Ecological Modelling*, 172(2–4), 373–382. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.09.018>
- Beamish, R. J., & Fournier, D. A. (1981). A Method for Comparing the Precision of a Set of Age Determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(8), 982–983. <https://doi.org/10.1139/f81-132>
- Bizzarro, J. J., Smith, W. D., Hueter, R. E., & Villavicencio-Garayzar, C. J. (2009). Activities and Catch Composition of Artisanal Elasmobranch Fishing Sites on the Eastern Coast of Baja California Sur, Mexico. *Bulletin, Southern California Academy of Sciences*, 108(3), 137–151. <https://doi.org/10.3160/0038-3872-108.3.137>
- Bjorndal, Å. (2005). Capítulo 2. Uso de medidas técnicas en la pesca responsable: regulación de artes de pesca. En FAO. *Investigación Marina*. <https://www.fao.org/3/y3427s/y3427s04.htm>
- Bolaño Martínez, N. (2009). Ecología Trófica de Juveniles del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en aguas ecuatorianas [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/6987/ECOLOGIATRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/6987/ECOLOGIATRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Branstetter, S. (1987a). Age and Growth Validation of Newborn Sharks Held in Laboratory Aquaria, with Comments on the Life History of the Atlantic Sharpnose Shark, *Rhizoprionodon terraenovae*. En *Source: Copeia* (Vol. 1987, Número 2). <http://www.jstor.org/URL:http://www.jstor.org/stable/1445764> Accessed:18-12-2015 09:50UTC
- Branstetter, S. (1987b). Age, growth and reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*, and the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, from the northwestern Gulf of Mexico. *Environmental Biology of Fishes*, 19(3), 161–173. <https://doi.org/10.1007/BF00005346>

- Branstetter, S., & Stiles, R. (1987). Age and growth estimates of the bull shark, *Carcharhinus leucas*, from the northern Gulf of Mexico. *Environmental Biology of Fishes*, 20(3), 169–181. <https://doi.org/10.1007/BF00004952>
- Burnham, K. P., & Anderson, D. (2002). *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*.
- Cailliet, G. M., & Goldman, K. J. (2004). Age determination and validation in chondrichthyan fishes. En *Biology of Sharks and Their Relatives* (pp. 399–448). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203491317.pt3>
- Cailliet, G. M., Smith, W. D., Mollet, H. F., & Goldman, K. J. (2006). Age and growth studies of chondrichthyan fishes: The need for consistency in terminology, verification, validation, and growth function fitting. En *Environmental Biology of Fishes* (Vol. 77, Números 3–4, pp. 211–228). <https://doi.org/10.1007/s10641-006-9105-5>
- Camhi, M., Fowler, S., Musick, J., Bräutigam, A., & Fordham, S. (1998). *Sharks and their Relatives: Ecology and Conservation: Vol. I*. The IUCN Species Survival Commission.
- Campana, S. E. (2001). Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. En *Journal of Fish Biology* (Vol. 59, Número 2, pp. 197–242). <https://doi.org/10.1006/jfbi.2001.1668>
- Campana, S. E. (2014). Age determination of elasmobranchs, with special reference to Mediterranean species: a technical manual. Studies and Reviews. General Fisheries Commission for the Mediterranean. *FAO*, 94, 38.
- Cardeñosa, D., Shea, K. H., Zhang, H., Feldheim, K., Fischer, G. A., & Chapman, D. D. (2020). Small fins, large trade: a snapshot of the species composition of low-value shark fins in the Hong Kong markets. *Animal Conservation*, 23(2), 203–211. <https://doi.org/10.1111/acv.12529>
- Carrera-Fernández, M., & Martínez-Ortíz, J. (2007). Aspectos reproductivos de los tiburones martillo *Sphyrna lewini* (Griffith&Smith, 1834) y *S. zygaena* (Linnaeus, 1758) en aguas del Ecuador. https://www.researchgate.net/publication/273764425_Aspectos_reproductivos_de_los_tiburones_martillo_Sphyrna_lewini_Griffith_Smith_1834_y_S_zygaena_Linnaeus_1758_en_aguas_del_Ecuador
- Casselman, J. M. (1983). *Age and Growth Assessment of Fish from Their Calcified Structures-Techniques and Tools*. <http://meridian.allenpress.com/jfwm/article-supplement/439655/pdf/10.3996102019-jfwm-085.s2/>
- Castellanos Betancourt, J. C., Ramírez Santiago, C. E., & Castillo Géniz, J. L. (2013). *Catálogo de aletas, tronchos y cabezas de tiburones en el Pacífico Mexicano*.
- Castillo-Géniz, J. L., Márquez-Farías, J. F., Rodríguez De La Cruz, M. C., Cortés, E., & Cid Del Prado, A. (1998). The Mexican artisanal shark fishery in the Gulf of Mexico: Towards a

- regulated fishery. *Marine and Freshwater Research*, 49(7), 611–620. <https://doi.org/10.1071/MF97120>
- Castillo-Géniz, J. L., Soriano Velázquez, S. R., & Villaseñor Talvera, R. (2017). *Capítulo 9. Pesquerías mexicanas de tiburón en el Océano Pacífico*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FJose-Castillo-Geniz%2Fpublication%2F267829223_Capitulo_9_Pesquerias_mexicanas_de_tiburon_en_el_Oceano_Pacifico%2Flinks%2F59931fbe458515c0ce61f01e%2FCapitulo-9-Pesquerias-mexicanas-de-tiburon-en-el-Oceano-Pacifico.pdf&clen=5649639&pdffilename=PESQS_LATINOAMERICANAS-CAP_9_PesqsMexTibPac.pdf
- Castro Aguirre, J. L., Balart, E. F., & Arvizu Martínez, J. (1995). Contribución al conocimiento del origen y distribución de la ictiofauna del Golfo de California, México. *Hidrobiológica*, 5(12), 57–78. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57850205>
- Chang, W. Y. B. (1982). A Statistical Method for Evaluating the Reproducibility of Age Determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(8), 1208–1210. <https://doi.org/10.1139/f82-158>
- Chow, Y. J. (2004). Age and growth of smooth hammerhead, *Sphyrna zygaena*, in the northeastern Taiwan waters [Maestría]. National Taiwan Ocean University.
- CITES. (s/f). *¿Qué especies de tiburones y rayas se incluyeron en los Apéndices en la CoP16? Tiburones y rayas*. <https://cites.org/esp/prog/shark/sharks.php>
- Coelho, R., Fernandez-Carvalho, J., Amorim, S., & Santos, M. N. (2011). Age and growth of the smooth hammerhead shark, *Sphyrna zygaena*, in the Eastern Equatorial Atlantic Ocean, using vertebral sections. *Aquatic Living Resources*, 24(4), 351–357. <https://doi.org/10.1051/alr/2011145>
- Coiraton, C., & Amezcua, F. (2020). In utero elemental tags in vertebrae of the scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* reveal migration patterns of pregnant females. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58735-8>
- Compagno, L. J. (1984). Sharks of the World. En *An Annotated and Illustrated Catalogue of Sharks Species Known to Date. Part II, Carcharhiniformes* (pp. 251–655). FAO Fish Synop. <https://www.fao.org/3/ad123e/ad123e35.pdf>
- CONAPESCA. (2020). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2020*.
- CONAPESCA-INP. (2004). *Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México*.
- DOF. (2022, junio 9). *Acuerdo por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de Tiburones y Rayas del Golfo de México y Mar Caribe*. Diario Oficial de la Federación (DOF). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/731016/PMP_Tiburones_y_Rayas_del_Golfo_de_Mexico.pdf

- Drew, M., White, W. T., Dharmadi, Harry, A. v., & Huveneers, C. (2015). Age, growth and maturity of the pelagic thresher *Alopias pelagicus* and the scalloped hammerhead *Sphyrna lewini*. *Journal of Fish Biology*, 86(1), 333–354. <https://doi.org/10.1111/jfb.12586>
- Dulvy, N. K., Pacoureau, N., Rigby, C. L., Pollom, R. A., Jabado, R. W., Ebert, D. A., Finucci, B., Pollock, C. M., Cheok, J., Derrick, D. H., Herman, K. B., Sherman, C. S., VanderWright, W. J., Lawson, J. M., Walls, R. H. L., Carlson, J. K., Charvet, P., Bineesh, K. K., Fernando, D., ... Simpfendorfer, C. A. (2021). Overfishing drives over one-third of all sharks and rays toward a global extinction crisis. *Current Biology*, 31(21), 4773–4787.e8. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.08.062>
- Dulvy, N. K., Simpfendorfer, C. A., Davidson, L. N. K., Fordham, S. v., Bräutigam, A., Sant, G., & Welch, D. J. (2017). Challenges and Priorities in Shark and Ray Conservation. En *Current Biology* (Vol. 27, Número 11, pp. R565–R572). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.038>
- Eriksson, H., & Clarke, S. (2015). Chinese market responses to overexploitation of sharks and sea cucumbers. En *Biological Conservation* (Vol. 184, pp. 163–173). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.018>
- Estupiñán-Montaña, C., Cedeño-Figueroa, L., Estupiñán-Ortiz, J. F., Galván-Magaña, F., Sandoval-Londoño, A., Castañeda-Suarez, D., & Polo-Silva, C. J. (2019). Feeding habits and trophic level of the smooth hammerhead shark, *Sphyrna zygaena* (Carcharhiniformes: Sphyrnidae), off Ecuador. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 99(3), 673–680. <https://doi.org/10.1017/S0025315418000474>
- Fabinyi, M. (2012). Historical, cultural and social perspectives on luxury seafood consumption in China. *Environmental Conservation*, 39(1), 83–92. <https://doi.org/10.1017/S0376892911000609>
- Falconí, M. (2015). Edad y crecimiento del tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*) en las costas de Puerto López - Ecuador, durante el año 2013. Universidad Internacional del Ecuador.
- FAO. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018: El estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. FOOD & AGRICULTURE ORG.
- FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. En *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Finkbeiner, E. M., & Basurto, X. (2015). Redefining comanagement to facilitate small-scale fisheries reform: An illustration from northwest Mexico. *Marine Policy*, 51, 433–441. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.10.010>
- Frazier, B. S., Bethea, D. M., Hueter, R. E., McCandless, C. T., Tyminski, J. P., & Driggers, W. B. I. (2020). Growth rates of bonnetheads (*Sphyrna tiburo*) estimated from tag-recapture data. *Fishery Bulletin*, 118(4), 329. <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA649839376&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=00900656&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon%7Eee907db8>

- Furlong-Estrada, E., Galván-Magaña, F., & Tovar-Ávila, J. (2017). Use of the productivity and susceptibility analysis and a rapid management-risk assessment to evaluate the vulnerability of sharks caught off the west coast of Baja California Sur, Mexico. *Fisheries Research*, 194, 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.06.008>
- Furlong-Estrada, E., Tovar-Ávila, J., Ríos-Jara, E., Furlong-Estrada, E., Tovar-Ávila, J., & Ríos, E. (2014). *Evaluación de riesgo ecológico de la pesca artesanal para los tiburones capturados en la entrada del Golfo de California. Ecological risk assessment of artisanal capture methods on sharks fished at the entrance of the Gulf of California* (Vol. 24, Número 2).
- Gallagher, A. J., & Klimley, A. P. (2018). The biology and conservation status of the large hammerhead shark complex: the great, scalloped, and smooth hammerheads. En *Reviews in Fish Biology and Fisheries* (Vol. 28, Número 4, pp. 777–794). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s11160-018-9530-5>
- Galli, O. (2007). Pesca sustentable y soberanía alimentaria. *Ecología Política*, 32, 21–30. <http://www.jstor.org/stable/20743684>
- Gamito, S. (1998). Growth models and their use in ecological modelling: an application to a fish population. En *Ecological Modelling* (Vol. 113).
- Garza Gisholt, E. (2004). Edad y Crecimiento de *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en las costas de Baja California Sur, México. UABCS.
- Goldman, K. J. (2005). *Age and growth of elasmobranch fishes*. FAO. https://www.researchgate.net/publication/237824394_Age_and_growth_of_elasmobranch_fishes
- Gómez Márquez, J. L., Peña Mendoza, B., Guzmán Santiago, J. L., Salgado Ugarte, I. H., Cervantes Sandoval, A., Bautista Reyes, C., & Alejo Plata, M. del C. (2020). *Determinación de la edad y crecimiento de organismos acuáticos con énfasis en peces*.
- Gompertz, B. (1825). On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies. En *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (Vol. 115).
- Gonzalez-Pestana, A. (2018). *Habitat Suitability of Juvenile Smooth Hammerhead Shark (Sphyrna zygaena) off northern Peru*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2230104>
- Hau, C. Y., Abercrombie, D. L., Ho, K. Y. K., & Shea, K. H. S. (2018). “King of Shark Fins” not quite sharks... so what is in my shark fin soup?: A rapid survey on the availability of Shark-like batoid fins in Hong Kong SAR and Guangzhou, China retail markets.
- Helfman, G., & Burgess, G. H. (2014). Reproduction and Development. En *Sharks | The animal Answer Guide* (pp. 118–125). Johns Hopkins University Press. <https://jhupbooks.press.jhu.edu/title/sharks>
- Holden, M. (1974). Problems in the rational exploitation of elasmobranch populations and some suggested solutions. In: *Cailliet et al. Age and growth studies of*

chondrichthyan fishes: The need for consistency in terminology, verification, validation, and growth function fitting.

INAFED. (s/f). *Medio Físico - Baja California Sur*. Baja California Sur. <https://docer.com.ar/doc/x5e8v0s>

INEGI. (2020, febrero). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Tabulados del Cuestionario Básico.

Instituto de Biología. UNAM. (2011). *CNPE Colección Nacional de Peces | Evolución*. http://www.ibiologia.unam.mx/peces/evolucion_%20CHONDRICHTHYES.html

Instituto Sudcaliforniano de Cultura. (2022). *Santa Rosalía (Lugar de interés)*. BCSnosUNE | CulturaBCS.

IUCN. (2022). *The IUCN Red List of Threatened Species*. About. <https://www.iucnredlist.org/about/background-history>

Ivanova, A., Micheline, M., Olvera, C., Monteforte-Sánchez, M., Ramírez Ivanova, E. A., & Domínguez, W. (2017). La economía azul como modelo de sustentabilidad para estados costeros: el caso de Baja California Sur The Blue Economy as Sustainability Pathway for Coastal Regions: The Case of Baja California Sur, Mexico. *Sociedad y Ambiente*, 14, 75–98.

Jiménez Esquivel, V., López-Sagástegui, C., Cota Nieto, J. J., & Mascareñas Osorio, I. (2018). Comunidades costeras del noroeste mexicano haciendo ciencia. *Relaciones Estudios de Historia y Sociedad*, 39(153), 129–165. <https://doi.org/10.24901/rehs.v39i153.393>

Jorgensen, S., Micheli, F., White, T., van Houtan, K., Alfaro-Shigueto, J., Andrzejaczek, S., Arnoldi, N., Baum, J., Block, B., Britten, G., Butner, C., Caballero, S., Cardeñoso, D., Chapple, T., Clarke, S., Cortés, E., Dulvy, N., Fowler, S., Gallagher, A., ... Ferretti, F. (2022). Emergent research and priorities for shark and ray conservation. *Endangered Species Research*, 47, 171–203. <https://doi.org/10.3354/esr01169>

Karr, K. A., Fujita, R., Carcamo, R., Epstein, L., Foley, J. R., Fraire-Cervantes, J. A., Gongora, M., Gonzalez-Cuellar, O. T., Granados-Dieseldorff, P., Guirjen, J., Weaver, A. H., Licón-González, H., Litsinger, E., Maaz, J., Mancao, R., Miller, V., Ortiz-Rodriguez, R., Plomozo-Lugo, T., Rodriguez-Harker, L. F., ... Kritzer, J. P. (2017). Integrating science-based co-management, partnerships, participatory processes and stewardship incentives to improve the performance of small-scale fisheries. *Frontiers in Marine Science*, 4(OCT). <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00345>

Katsanevakis, S. (2006). Modelling fish growth: Model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research*, 81(2–3), 229–235. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2006.07.002>

Katsanevakis, S., & Maravelias, C. D. (2008). *Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation*.

Ketchum, J. T., Hearn, A., Klimley, A. P., Espinoza, E., Peñaherrera, C., & Largier, J. L. (2014). Seasonal changes in movements and habitat preferences of the scalloped hammerhead shark

- (*Sphyrna lewini*) while refuging near an oceanic island. *Marine Biology*, 161(4), 755–767. <https://doi.org/10.1007/s00227-013-2375-5>
- Kimura, D. K. (1980). *Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve*. <https://www.researchgate.net/publication/272152825>
- Klimley, A. P. (1983). Social Organization of Schools of the Scalloped Hammerhead Shark, *Sphyrna lewini* (Griffith and Smith), in the Gulf of California. En *University of California*. <https://www.proquest.com/openview/a25cb05565369ef0ef4d043f518fb898/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Klimley, A. P. (1987). The determinants of sexual segregation in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*. En *Environmental Biology of Fishes* (Vol. 18, Número 1). Dr W. Junk Publishers. Dordrecht.
- Kwang-Ming, L., & Wen-Pei, T. (2011). *Catch and life history parameters of pelagic sharks in the Northwestern Pacific 1 Catch and life history parameters of pelagic sharks in the Northwest Pacific*.
- Lam, V. Y. Y., & Sadovy De Mitcheson, Y. (2011). The sharks of South East Asia - unknown, unmonitored and unmanaged. *Fish and Fisheries*, 12(1), 51–74. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2010.00383.x>
- Lewkowicz, N., Lewkowicz, P., Kurnatowska, A., & Tchórzewski, H. (2006). Biological action and clinical application of shark liver oil. *Polski merkuriusz lekarski organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego*. <https://europepmc.org/article/med/16875171>
- Lim, C. P., Matsuda, Y., & Shigemi, Y. (1995a). Co-management in marine fisheries: The Japanese experience. *Coastal Management*, 23(3), 195–221. <https://doi.org/10.1080/08920759509362266>
- Lluch Belda, D., Elourduy Garay, J., Lluch Cota, S. E., & Ponce Díaz, G. (Eds.). (2000). *BAC: Centros de actividad biológica del Pacífico mexicano*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Lluch-Cota, D. B., Hernández Vázquez, S., Balart Páez, E. F., Beltrán Morales, L. F., del Monte Luna, P., González Becerril, A., Lluch-Cota, S. E., Navarrete del Proó, A. F., Ponce Díaz, G., Salinas Zavala, C. A., López Martínez, J., & Ortega García, S. (2006). Desarrollo Sustentable de la Pesca en México: Orientaciones Estratégicas. *Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste / Comisión de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca del Senado de la República*, 375–436.
- Makarov, V., & Jiménez-Illescas, Á. (2003). Barotropic background currents in the Gulf of California Corrientes básicas barotrópicas en el Golfo de California. En *Ciencias Marinas* (Vol. 29, Número 2).
- Manjusha, S., Madhusoodana, B., Saravannane, N., & Narayana Sanjeevan, V. (2011). Studies on population structure, mortality, growth exploitation level of smooth hammerhead *Sphyrna zygaena* (L) (Carcharhiniformes - Sphyrnidae) in the coastal region of Kerala, India.

International Journal of Biosciences (IJB), 1(6), 14–26.
<https://www.yumpu.com/en/document/view/56079612/studies-on-population-structure-mortality-growth-and-exploitation-level-of-smooth-hammerhead-sphyrna-zygaena-l-carcharhiniformes-sphyrnidae-in-the-coastal-region-of-kerala-india>

Méndez Loeza, I. (2008). Edad y crecimiento del cazón pardo, *Mustelus henlei*, (Gill, 1863), en la región del Norte del Golfo de California [Maestría]. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.

Mission Blue. (2017, enero 10). *Dr. Sylvia Earle: Can Marine Migratory Species thrive in the face of Consumption?* <https://mission-blue.org/2017/01/dr-sylvia-earle-can-marine-migratory-species-thrive-in-the-face-of-consumption/>

Montaño Méndez, I. E., Alberto Hernández González, L., Mayoral, H. L., Mesías Díaz, F. J., & Arce, A. Á. (2015). Characteristics regarding the consumer of giant squid from Baja California Sur, Mexico. En *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu* (Número 1).

Mora Arrambidez, D. M., & Geiger Villalpando, A. M. (2019). Jurisdicción actual aplicable al tiburón martillo en Baja California Sur, México. *Áreas Naturales Protegidas Scripta*. <https://doi.org/doi.org/10.18242>

Morán Villatoro, J. M. (2018). Edad y Crecimiento del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (LINNAEUS, 1758) en la costa occidental de Baja California Sur. Instituto Politécnico Nacional.

Munroe, S. E. M., Simpfendorfer, C. A., & Heupel, M. R. (2014). Defining shark ecological specialisation: Concepts, context, and examples. En *Reviews in Fish Biology and Fisheries* (Vol. 24, Número 1, pp. 317–331). <https://doi.org/10.1007/s11160-013-9333-7>

Natanson, L., Andrews, A. H., Passerotti, M. S., & Winter, S. P. (2019). History and Mystery of Age and Growth Studies in Elasmobranchs. Common Methods and Room for Improvement. En L. J. Natanson, A. H. Andrews, M. S. Passerotti, & S. P. Winter (Eds.), *Shark Research. Emerging Technologies and Applications for the Field and Laboratory*. CRC Press. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=uHxqDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT330&dq=age+and+growth+elasmobranch&ots=J199_oIon3&sig=jiNeKbezaMZJ50b9UE8yfNRqNTU#v=onepage&q&f=false

Nava Nava, P., & Márquez-Farías, J. F. (2014). Talla de madurez del tiburón martillo, *Sphyrna zygaena*, capturado en el Golfo de California. *Hidrobiológica*, 24(2), 129–135.

NOAA. (2021). *ERDDAP - SST, Aqua MODIS, NPP, 0.025 degrees, Pacific Ocean, Daytime, 2006-present*. NOAA NMFS SWFSC. [https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/erdMBSstd1day.graph?sst%5B\(2022-05-11T12:00:00Z\)%5D%5B\(0.0\)%5D%5B\(19.3575\):\(31.0175\)%5D%5B\(243.2575\):\(254.9175\)%5D&.draw=surface&.vars=longitude%7Clatitude%7Csst&.colorBar=%7C%7C%7C%7C%7C&.bgColor=0xffccccff](https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/erdMBSstd1day.graph?sst%5B(2022-05-11T12:00:00Z)%5D%5B(0.0)%5D%5B(19.3575):(31.0175)%5D%5B(243.2575):(254.9175)%5D&.draw=surface&.vars=longitude%7Clatitude%7Csst&.colorBar=%7C%7C%7C%7C%7C&.bgColor=0xffccccff)

- NOAA Fisheries. (2020). *Age and Growth*. NOAA. <https://www.fisheries.noaa.gov/national/science-data/age-and-growth>
- OCEANA. (2008). *De la cabeza a la cola. Cómo se comercializa en Europa el tiburón*. https://oceana.org/wp-content/uploads/sites/18/De_La_Cabeza_A_La_Cola.pdf
- Ochoa Díaz, M. R. (2009). Espectro trófico del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en Baja California Sur: Aplicación de $\delta^{13}\text{C}$ Y $\delta^{15}\text{N}$ [Maestría]. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- Ochoa Diaz, R. MA. (2006). Hábitos alimenticios del Tiburón Martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en Baja California Sur. Universidad de Guadalajara.
- Officer, R. A., Gason, A. S., Walker, T. I., & Clement, J. G. (1995). *Southern Shark Age Validation: Part 2 - Sources of Variation in Growth Increment Counts from Vertebrae in Gummy Shark (Mustelus antarcticus) and School Shark (Galeorhinus galeus), Implications for Age Determination* (pp. 106-107). Fisheries Research and Development Corporation.
- Okamura, H., Punt, A. E., Semba, Y., & Ichinokawa, M. (2013). Marginal increment analysis: A new statistical approach of testing for temporal periodicity in fish age verification. *Journal of Fish Biology*, 82(4), 1239-1249. <https://doi.org/10.1111/jfb.12062>
- Okamura, H., & Semba, Y. (2009). A novel statistical method for validating the periodicity of vertebral growth band formation in elasmobranch fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 66(5), 771-780. <https://doi.org/10.1139/F09-039>
- Oshitani, S., Nakano, H., & Tanaka, S. (2003). Age and growth of the silky shark *Carcharhinus falciformis* from the Pacific Ocean. *FISHERIES SCIENCE*, 69, 456-464. <https://doi.org/10.1046/j.0919-9268.2003.00645.x>
- Ostrander, G. K., Cheng, K. C., Wolf, J. C., & Wolfe, M. J. (2004). Shark Cartilage, Cancer and the Growing Threat of Pseudoscience. En *CANCER RESEARCH* (Vol. 64). <http://aacrjournals.org/cancerres/article-pdf/64/23/8485/2520939/zch02304008485.pdf>
- Panfili, J., de Pontual, H., Troadec, H., & Wright, P. J. (2001). *Manual of fish sclerochronology*.
- Pauly, D. (1979). Gill size and temperature as governing factors in fish growth: a generalization of von Bertalanffy's growth formula. *Berichte des Instituts für Meereskunde an der Uni. Kiel*, 63(15), 156.
- Pérez-Jiménez, J. C. (2014). Historical records reveal potential extirpation of four hammerhead sharks (*Sphyrna* spp.) in Mexican Pacific waters. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24(2), 671-683. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9353-y>
- Pratt, H. L. J., Gruber, S. H., & Taniuchi, T. (1990). *Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematics, and the Status of the Fisheries*.
- Prince, E. D., & Pulos, L. M. (1983). *Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes, and Sharks*.

- Ramirez-Amaro, S. R., Cartamil, D., Galvan-Magaña, F., Gonzalez-Barba, G., Graham, J. B., Carrera-Fernandez, M., Escobar-Sanchez, O., Sosa-Nishizaki, O., & Rochin-Alamillo, A. (2013). The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California Sur, Mexico, management implications. *Scientia Marina*, 77(3), 473–487. <https://doi.org/10.3989/scimar.03817.05A>
- Rigby, C. L., Barreto, R., Carlson, J., Fernando, D., Forham, S., Herman, K., Jabado, R. W., Liu, K. M., Marshall, A., Pacoureau, N., Romanov, E., Sherley, R. B., & Winker, H. (2019). *Sphyrna zygaena*. *The IUCN Red List Of Threatened Species 2019* (e. T39388A2921825). <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T39388A2921825.en>
- Rigby, C. L., Wedding, B. B., Grauf, S., & Simpfendorfer, C. A. (2014). The utility of near infrared spectroscopy for age estimation of deepwater sharks. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 94, 184–194. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2014.09.004>
- Rodríguez-Cabello, C., Gil, J., Canoura, J., Sobrino, I., Gloria Piñeiro, C., Rodríguez, L., Antonio Camiñas, J., Valeiras, J., Goñi, R., Díaz, D., Villamor, B., Rodríguez Marín, E., Landa, J., Sánchez, J., Iglesias, J., Fuentes, L., José Otero, J., Ortiz de Zarate, V., Luis Cort, J., ... Pereda, P. (2009). *Estudios de marcado y recaptura de especies marinas* (Instituto Español de Oceanografía, Ed.). <http://www.ieo.es/documents/10640/31690/Temas+de+Oceanograf%C3%ADa+02+-+pdf/412f72ce-ea79-4dda-989f-e37ec68c3ac3>
- Rosa, D., Coelho, R., Fernandez-Carvalho, J., & Santos, M. N. (2017). Age and growth of the smooth hammerhead, *Sphyrna zygaena*, in the Atlantic Ocean: comparison with other hammerhead species. *Marine Biology Research*, 13(3), 300–313. <https://doi.org/10.1080/17451000.2016.1267366>
- Rose, D. A. (1996). An Overview of World Trade in Sharks and other Cartilaginous Fishes. *Species Survival Commission*, 106.
- Ruckstuhl, Kathreen. E., & Neuhaus, Peter. (Eds.). (2005). Differences in habitat selection and reproductive strategies of male and female sharks. En *Sexual Segregation in Vertebrates. Ecology of the Two Sexes*. Cambridge University Press.
- Ruppert, J. L. W., Fortin, M. J., & Meekan, M. G. (2016). The Ecological Role of Sharks on Coral Reefs: Response to Roff et al. En *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 31, Número 8, pp. 586–587). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.05.003>
- Salgado Ugarte, H. I., Gómez, J. L., & Peña, B. (2005). *Métodos actualizados para el análisis de datos biológico-pesqueros* (Universidad Nacional Autónoma de México, Ed.). https://www.researchgate.net/publication/257029409_Metodos_actualizados_para_analisis_de_datos_biologico-pesqueros
- Salinas-de-León, P., Hoyos-Padilla, E. M., & Pochet, F. (2017). First observation on the mating behaviour of the endangered scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* in the Tropical Eastern Pacific. *Environmental Biology of Fishes*, 100(12), 1603–1608. <https://doi.org/10.1007/s10641-017-0668-0>

- Salomón-Aguilar, C. A., Villavicencio Garayzar, C. J., & Reyes Bonilla, H. (2009). Shark breeding grounds and seasons in the Gulf of California: Fishery management and conservation strategy. *Ciencias Marinas*, 35(4), 396–388.
- Santamaria-Del-Angel, E., Alvarez-Borrego, S., & Muller-Karger, F. E. (1994). Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*, 99(C4), 7411–7421. <https://doi.org/10.1029/93JC02154>
- Santos, C. C., & Coelho, R. (2018). Migrations and habitat use of the smooth hammerhead shark (*Sphyrna zygaena*) in the Atlantic Ocean. *PLOS ONE*, 13(6), e0198664. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198664>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021, mayo 1). *Inicia veda de tiburón y raya a partir del 1 de mayo*. Gobierno de Méxicio. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/inicia-veda-de-tiburón-y-raya-a-partir-del-1-de-mayo>
- SEMAR. (s/f). *Santa Rosalía, B.C.S.*
- Semba, Y. (2018). *Significance of Sex-Specific Ecological and Life History Traits on the Sustainable Exploitation of Sharks* (pp. 77–104). https://doi.org/10.1007/978-4-431-56621-2_5
- Shiffman, D. S., & Hammerschlag, N. (2016). Shark conservation and management policy: a review and primer for non-specialists. En *Animal Conservation* (Vol. 19, Número 5, pp. 401–412). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/acv.12265>
- Smart, J. J., & Grammer, G. L. (2021). Modernising fish and shark growth curves with Bayesian length-at-age models. *PLOS ONE*, 16(2), e0246734. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246734>
- Smart, J. J., Harry, A. V., Tobin, A. J., & Simpfendorfer, C. A. (2013). Overcoming the constraints of low sample sizes to produce age and growth data for rare or threatened sharks. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 23(1), 124–134. <https://doi.org/10.1002/aqc.2274>
- Smith, M., Warmolts, D., Thoney, D., & Hueter, R. (Eds.). (2004). *Elasmobranch husbandry manual. Captive Care of Sharks, Rays and their Relatives*. Special Publication of the Ohio Biological Survey, Inc.
- Smith, W. D., Bizzarro, J. J., & Cailliet, G. M. (2009). The artisanal elasmobranch fishery on the east coast of Baja California, Mexico: Characteristics and management considerations. En *Ciencias Marinas* (Vol. 35, Número 2).
- Sorensen, J. (1997). 25th anniversary invited paper national and international efforts at integrated coastal management: Definitions, achievements, and lessons. *Coastal Management*, 25(1), 3–41. <https://doi.org/10.1080/08920759709362308>
- Sosa-Nishizaki, O., Castillo-Géniz, L., Benítez-Díaz, H., & Compiladores. (2022). *Conservación, uso y aprovechamiento sustentable de tiburones mexicanos listados en la citas*. www.biodiversidad.gob.mx

- Stevens, J. D., Bonfil, R., Dulvy, N. K., & Walker, P. A. (2000). The effects of fishing on sharks, rays, and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3), 476–494. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0724>
- Thorson, J. T., & Simpfendorfer, C. A. (2009). Gear selectivity and sample size effects on growth curve selection in shark age and growth studies. *Fisheries Research*, 98(1–3), 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2009.03.016>
- Tyminski, J. P., Hueter, R. E., & Ubeda, A. J. (2007). Tag-recapture results of small coastal sharks (*Carcharhinus acronotus*, *C. isodon*, *Rhizoprionodon terraenovae* and *Sphyrna tiburo*) in the Gulf of Mexico. *SEDAR 13 (Small Coastal Sharks) Data Workshop*. <https://sedarweb.org/documents/s13dw36-tag-recapture-results-of-small-coastal-sharks-carcharhinus-acronotus-c-isodon-rhizoprionodon-terraenovae-and-sphyrna-tiburo-in-the-gulf-of-mexico/>
- UICN. (2009, junio 24). *Un tercio de los tiburones oceánicos están amenazados de extinción*. <https://www.iucn.org/es/content/un-tercio-de-los-tiburones-oceanicos-estan-amenazados-de-extincion>
- Vázquez Hurtado, M. (2011). *Aspectos económicos y ambientales para el manejo sustentable de la pesca y acuicultura en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México* [Doctor en Ciencias]. CIBNOR.
- Villavicencio-Garáyzar, C. J. (1999). *Áreas de crianza de tiburones en el Golfo de California*. <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfL054.pdf>
- Vincenzi, S., Jesensek, D., & Crivelli, A. J. (2020). Biological and statistical interpretation of size-at-age, mixed-effects models of growth. *Royal Society Open Science*, 7(4). <https://doi.org/10.1098/rsos.192146>
- von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth (Inquiries on Growth Laws. II). *Human Biology*, 10(2), 181–213. <http://www.jstor.org/stable/41447359>
- Wray-Barnes, A. (2016). Age, growth and patterns of occurrence in smooth hammerhead sharks (*Sphyrna zygaena*) off the coast of New South Wales, Australia. The University of Newcastle.
- Wyrтки, K. (1965). *Surface currents of the Eastern Tropical Pacific Ocean - Corrientes Superficiales del Atún Tropical*. <http://hdl.handle.net/1834/21262>
- Yokoi, H., Ijima, H., Ohshimo, S., & Yokawa, K. (2017). Impact of biology knowledge on the conservation and management of large pelagic sharks. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09427-3>
- Zar, J. H. (2010). *Biostatistical Analysis* (P. Hall, Ed.; 5th ed.). Pearson.
- Zhou, X., Booth, H., Li, M., Song, Z., MacMillan, D. C., Zhang, W., Wang, Q., & Veríssimo, D. (2021). Leveraging shark-fin consumer preferences to deliver sustainable fisheries. *Conservation Letters* (Vol. 14, Número 6). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/conl.12842>

Zhu, L., Li, L., & Liang, Z. (2009). Comparison of six statistical approaches in the selection of appropriate fish growth models. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 27(3), 457–467. <https://doi.org/10.1007/s00343-009-9236-6>

ANEXOS

Artes de pesca empleadas en la captura de tiburón

El palangre pelágico (*Figura 23*) consiste de una línea larga de anzuelos conectada a ciertos intervalos en una línea principal en superficie, la capacidad de este instrumento depende de la atracción de los peces al anzuelo y de la aplicación de estímulos como el uso de carnada y señuelos artificiales. La selección del tipo de anzuelo y capacidad de este, estará determinada dependiendo de la especie objeto de la pesca (Bjordal, 2005). Se tiene la posibilidad de obtener una alta selectividad de especies y tallas gracias a la modificación de anzuelos y carnada.

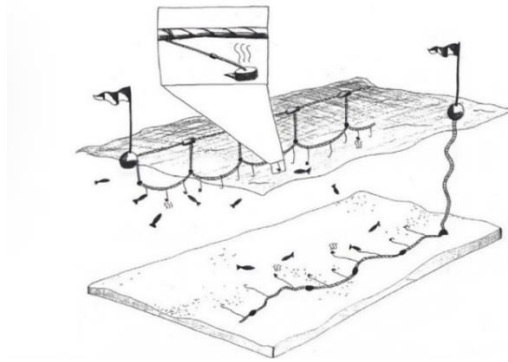


Figura 23. Representación gráfica de un palangre en vista panorámica. Calado pelágico /de deriva (arriba) y calado de fondo (abajo). Vista global: anzuelo con carnada conectado con brazoladas (bolseras, cuerdas auxiliares) a la línea principal. Fuente: FAO, (Bjordal, 2005).

La red agallera (*Figura 24*) (redes de enmalle) deriva su nombre de su principio de captura, consiste en un panel vertical de malla sostenida a partir de flotadores en superficie y plomada en la parte inferior. El objeto de pesca dependerá de la luz de malla y tasa de calado que se utilice (Bjordal, 2005). No posee una selectividad alta de las especies.

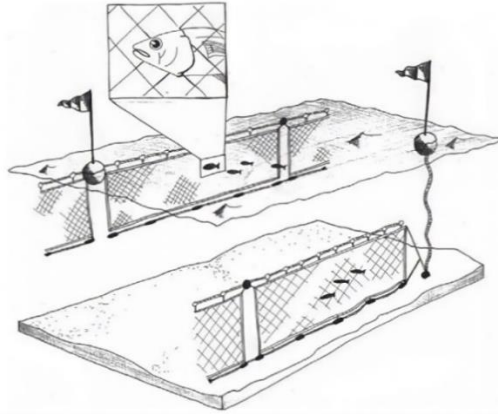


Figura 24. Representación gráfica de una red agallera y su principio de captura (vista panorámica), red de deriva (arriba) y calado de fondo (abajo). Fuente: FAO, (Bjordal, 2005).

Medidas morfométricas usadas para tiburones

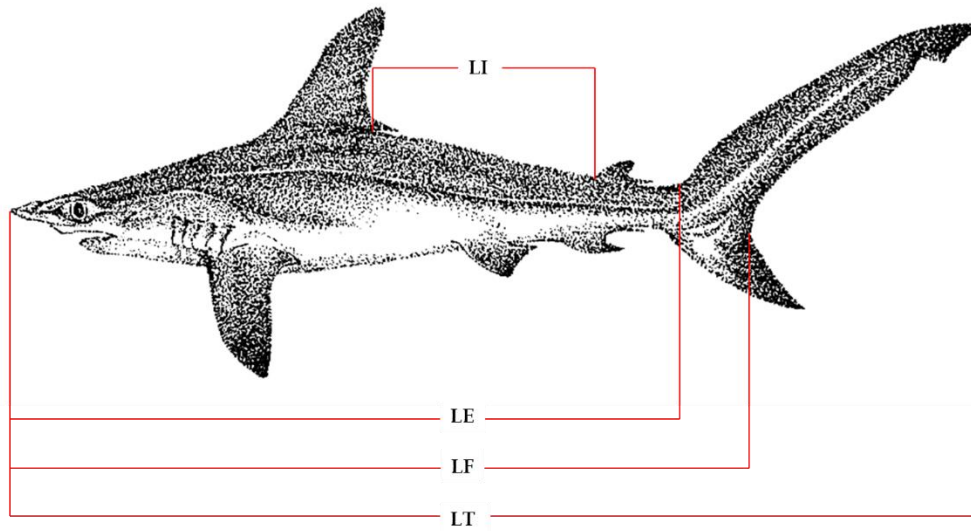


Figura 25. Medidas morfométricas recolectadas de los tiburones capturados de *S. zygaena*. Elaboración propia, revisada.

LT - Longitud total

LF - Longitud furcal

LE - Longitud estándar

LI - Longitud interdorsal

Edades y grupos observados

Figura 26. Antecedentes de los grupos de edad estimados en trabajos previos de *S. zygaena*.

	ZONA	RANGO DE TALLAS (cm LT)	GRUPOS DE EDAD	EDAD MÍNIMA	EDAD MÁXIMA
Presente estudio	Golfo de California	70 - 186	7	H = 4 M= 6	H = 11 M= 10
(Morán Villatoro, 2018)	Pacífico mexicano	55 - 305	20	H = 0 M= 0	H = 19 M= 16
(Garza, 2004)	Golfo de California / Océano Pacífico	108 - 283	9	H = 1 M= 1	H = 18 M= 16
(Coelho et al., 2011)	Atlántico ecuatorial oriental	136 - 233	15	H = 4 M= 4	H = 18 M= 21
(Rosa et al., 2017)	Atlántico ecuatorial oriental	126 - 253	-	H = 3 M= 4	H = 24 M= 25
(Wray-Barnes, 2016)	Pacífico australiano sureste	64 - 284	-	H = - M= -	H = 34 M= 22
(Falconí, 2015)	Pacífico sudoriental	54 - 283	12	H = 3 M= 3	H = 17 M= 11