INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

EDAD Y CRECIMIENTO DEL TIBURÓN MARTILLO *Sphyrna zygaena* (LINNAEUS, 1758) EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

JACQUELINE MAYTHÉ MORÁN VILLATORO

LA PAZ, B.C.S., JUNIO DE 2018

SIP-14 BIS

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de **La Paz, B.C.S.,** siendo las **12:00** horas del día **30** del mes de **Mayo** del **2018** se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de **CICIMAR** para examinar la tesis titulada:

"EDAD Y CRECIMIENTO DEL TIBURÓN MARTILLO *Sphyrna zygaena* (LINNAEUS, 1758) EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR"

Presentada por el alumno:

MORÁN	**VILLATORO**	**JACQUELINE MAYTHÉ**
Apellido paterno	materno	nombre(s)

Con registro:

B	1	6	0	9	3	5

Aspirante de:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron ***APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS***, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA
Director de Tesis

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA
2º. Director de Tesis

DR. RODRIGO MONCAYO ESTRADA

M en C. FELIPE NERI MELO BARRERA

DR. JAVIER TOVAR ÁVILA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO

PODER EJECUTIVO FEDERAL
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
MÉXICO, D.F.

I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., **el día** 05 **del mes de** Junio **del año** 2018

El (la) que suscribe BIÓL. JACQUELINE MAYTHÉ MORÁN VILLATORO **Alumno (a) del Programa**

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B160935 **adscrito al** CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA Y DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"EDAD Y CRECIMIENTO DEL TIBURÓN MARTILLO *Sphyrna zygaena*

(LINNAEUS, 1758) EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: jacm.villatoro@gmail.com - agushh@gmail.com – galvan.felipe@gmail.com

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BIÓL. JACQUELINE MAYTHÉ MORÁN VILLATORO

Nombre y firma del alumno

DEDICATORIA

A mi madre, por ser siempre mi apoyo incondicional, por darme la fuerza para seguir adelante.

A mi padre, por motivarme siempre a alcanzar mis metas.

A mi familia, que aún en la distancia me motivaban a seguir adelante.

A la Vita, Chele, César y Gilma, por ser mis incondicionales.

Al Maestro Alberto González, por creer en mí, apoyarme y motivarme siempre a perseguir mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a CICIMAR-IPN por la oportunidad de formar parte de la familia Politécnica, por convertirse en mi segundo hogar y por todo el apoyo brindado durante el desarrollo de mi Posgrado. Asimismo, agradezco profundamente a todo el personal que labora en el, por su buen trato y disposición a ayudar siempre.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por todo el apoyo brindado a través del programa de becas de Posgrado que me otorgó la oportunidad de realizar y culminar mis estudios.

De manera especial agradezco a mis directores, Dr. Galván y Dr. Agustín, por la oportunidad brindada de formar parte de los proyectos, pero sobre todo, por sus enseñanzas, paciencia, palabras de aliento y apoyo incondicional durante todo momento.

Agradezco a mi comité tutorial, Maestro Neri y Dr. Tovar, por sus consejos, paciencia y la oportunidad de aprender a su lado. Gracias por brindarme un poco de su valioso tiempo.

A mi madre, por ser siempre mi fortaleza, mi apoyo incondicional, por creer en mi e inspirarme a seguir adelante. A mi padre, por darme siempre tu consejo y motivarme a perseguir mis sueños.

A mis amigos, mis incondicionales, Vita, la Chele, César, Gilma, por no dejarme caer, por esa amistad tan pura, verdadera y productiva para mi vida. Me mantuvieron cuerda durante todo el camino.

A mis amigos adoptivos, Nancy, Adriana, Julio, Armando, Tavo, Luis y Mayra por sus consejos, apoyo, paciencia y, sobre todo, los buenos ratos compartidos. Saben que tienen un lugar al que llegar en mi pulgarcito.

A toda la familia del laboratorio que me ayudaron, apoyaron y compartieron un poco de su tiempo y enseñanza, de manera especial a Fabián y Jorge. También de manera especial agradezco a Manu y Alberto por su apoyo y enseñanzas durante y después de mi estancia.

ÍNDICE

GLOSARIO i
RESUMEN ii
ABSTRACT iii
I. INTRODUCCIÓN 1
II. ANTECEDENTES 4
III. JUSTIFICACIÓN 11
Objetivo general 13
Objetivos específicos 13
V. MATERIALES Y MÉTODOS 14
5.1 Zona de estudio 14
5.2 Trabajo de campo 15
5.3 Trabajo de laboratorio 16
5.3.1 Limpieza de vértebras 16
5.3.3 Conteo de las marcas de crecimiento 17
5.4 Procesamiento de datos 19
5.4.1 Estructura de tallas 19
5.4.2 Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del individuo. 19
5.4.3 Verificación de la edad 20
5.4.4 Determinación de la edad 21
5.4.4.1 Estructura de edades 21
5.4.5 Descripción del crecimiento 22
5.4.6 Comparación de modelos de crecimiento 24
VI. RESULTADOS 26
6.1 Estructura de tallas 26
6.2 Relación entre la longitud total (LT) y el radio de la vértebra (RV). 27
6.3 Determinación de la edad 28
6.4 Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento 30
6.4.1 Porcentaje de bordes 30
6.4.2 Índice de Incremento Marginal (IIM) 31
6.5 Estructura de edades 32
6.6 Crecimiento individual 33
6.6.1 Comparación de modelos 36

6.6.2 Descripción del crecimiento 36
VII. DISCUSIÓN 38
VIII. CONCLUSIONES 49
IX. RECOMENDACIONES 51
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista lateral (a) y vista de la cabeza (b) de *Sphyrna zygaena*..... 4
Figura 2. Sitios de muestreo: Campamento pesquero de Bahía Tortugas (A) y Punta Lobos (B)..... 15
Figura 3. Vértebra de un embrión observado con luz transmitida (a) y de un organismo adulto observado con luz reflejada (b) de *S. zygaena* de la costa occidental de Baja California Sur. 19
Figura 4. Estructura de tallas de *S. zygaena* capturadas en la costa occidental de Baja California Sur. 26
Figura 5. Estructura de tallas por sexo de los organismos de *S.zygaena.* 27
Figura 6. Relación entre el radio de la vértebra (RV) y la longitud total para machos y hembras de *S. zygaena* en la costa occidental de B.C.S. 28
Figura 7. (a)Variación intralector entre la primera y tercera lectura y (b) Variación intralector entre la segunda y tercera lectura. 29
Figura 8. Variación en la lectura de las marcas de crecimiento interlector..... 30
Figura 9. Porcentaje del tipo de borde de las vértebras de *S. zygaena* en la costa occidental de B.C.S..... 31
Figura 10. Índice de incremento marginal de *S. zygaena* en la costa occidental de B.C.S..... 32
Figura 11. Estructura de edades de *S. zygaena* capturada en la costa occidental de B.C.S..... 33
Figura 12. Modelos de crecimiento para hembras (a) y machos (b) de *S. zygaena* 35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de crecimiento del modelo von Bertalanffy (VB), Gompertz y logístico de dos y tres parámetros para machos y hembras de *S. zygaena*. 34
Tabla 2. Criterio de información de Akaike, Δ y wi de Akaike estimados para los modelos de machos y hembras de *S. zygaena*..... 36
Tabla 3. Longitud total y tasa de crecimiento estimadas para hembras y machos de *S. zygaena* en la costa occidental de Baja California Sur. 37

GLOSARIO

Banda opaca: Región de la vértebra con mayor densidad que impide el paso de luz, se encuentra asociada a periodos de rápido crecimiento.

Banda translúcida: Región de la vértebra de menor densidad que permite el paso de luz, se encuentra asociada a periodos de lento crecimiento.

***Corpus calcareum*:** Zona de la vértebra que se encuentra más calcificada, es la parte más externa si se observa en cortes longitudinales.

Crecimiento: Incremento en talla o peso de un organismo.

Edad: Tiempo que un organismo ha vivido.

Grupo de edad: Grupo de individuos con una edad determinada.

Incremento marginal: Método que permite evaluar la temporalidad de formación de las marcas de crecimiento en estructuras duras como vértebras, espinas, escamas, etc.

***Intermedialia*:** Zona menos calcificada de la vértebra, es la región más interna si se observa en cortes longitudinales.

Marca de crecimiento: Anillo concéntrico presente en la vértebra conformado por una banda opaca y una translúcida.

Marca de nacimiento: Marca que se encuentra más próxima al foco, generalmente se forma luego del nacimiento del individuo.

Precisión: Repetición de las mediciones en una misma estructura.

Tasa de crecimiento: Medida del cambio en el tamaño de un organismo en función del tiempo.

Validación: Confirmación de la unidad temporal del incremento de crecimiento.

Verificación: Evaluación de la repetitividad de una interpretación numérica, puede ser independiente de la edad.

RESUMEN

El tiburón martillo *Sphyrna zygaena* es una especie capturada incidentalmente en la pesca oceánica de atunes en el Océano Pacífico Oriental y en la pesquería artesanal de tiburones en B.C.S. Actualmente se encuentra en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN como vulnerable y en el Apéndice II de CITES. El conocimiento de la edad y del crecimiento permiten entender la dinámica poblacional de los stocks o poblaciones y predecir el efecto de la pesca sobre las especies. Lo anterior es indispensable para el adecuado manejo de las pesquerías. En el presente estudio se determinó la edad y el crecimiento individual de *S. zygaena* en la costa occidental de Baja California Sur. Se registraron un total de 449 organismos (248 hembras y 201 machos) provenientes de la pesca artesanal de Bahía Tortugas y Punta Lobos, B.C.S de 2013 a 2017. Se recolectaron vértebras de 132 organismos (69 hembras y 63 machos), con tallas entre 66 a 292 cm LT con un promedio de 166.4±70.03 cm LT para hembras y 121.7±48.07 cm LT para machos, con diferencias significativas entre sexos ($p<0.001$) y una proporción sexual de 1.09H:1M ($p<0.05$). Se realizaron cortes sagitales de las vértebras a un grosor de 0.4 mm y se observaron al estereoscopio en medio húmedo utilizando fondo oscuro y luz reflejada. Se observó una relación lineal significativa entre el radio de la vértebra y la longitud total de machos y hembras. En las lecturas intralector e interlector se obtuvo una buena precisión (CV= 4.91%, PEP= 3.78% y CV= 4.84%, PEP= 7.96%, respectivamente). El análisis de tipo de borde mostró un patrón que sugeriría la formación anual de las marcas de crecimiento. Se estimaron edades de 0 a 19 años en hembras y 0 a 16 años en machos. El modelo de crecimiento con el mejor ajuste fue el logístico de tres parámetros encontrando diferencias ($p<0.05$) en el crecimiento entre hembras ($L\infty$ =338.5 cm LT, k=0.18 año^{-1}, ∞=7.8) y machos ($L\infty$ =349.5 cm LT, k=0.16 año^{-1}, ∞=8.0). El punto de inflexión de hembras y machos (7.8 y 8 años, respectivamente) pudiese estar relacionado con el proceso de madurez sexual de la especie.

ABSTRACT

The hammerhead shark Sphyrna zygaena is caught incidentally in the oceanic fishing of tunas in the Eastern Pacific Ocean and in the artisanal shark fishery in Baja California Sur. It is currently on the IUCN Red List of Threatened Species as vulnerable and on Appendix II of CITES. The knowledge of the age and estimation of the growth rates allow to understand the population dynamics of the stocks or populations and to predict the effect of fishing on the species. The above is essential for the proper management of fisheries. In the present study, the age and individual growth of S. zygaena on the western coast of Baja California Sur was determined. A total of 449 organisms were registered (248 females and 201 males) from the artisanal fisheries of Bahía Tortugas and Punta Lobos, BCS from 2013 to 2017. Vertebrae from 132 organisms (69 females and 63 males) were collected, with sizes between 66 at 292 cm LT with an average of 166.4 ± 70.03 cm TL for females and 121.7 ± 48.07 cm LT for males, with significant differences between sexes ($p < 0.001$), with a sex ratio of 1.09H:1M ($p < 0.05$). Sagittal sections of the vertebrae were made 0.4 mm thick and were observed on the stereoscope by immersing them in water using dark background and reflected light. A significant linear relationship was observed between the radius of the vertebra and the total length of males and females. In the intrareaders and intereaders counts a good precision was obtained (CV= 4.91%, APE= 3.78% y CV= 4.84%, APE= 7.96%, respectively). The edge type analysis showed a pattern that would suggest the annual formation of the growth marks. Ages from 0 to 19 years were estimated in females and 0 to 16 years in males. The growth model with the best fit was the logistic of three parameters finding differences ($p < 0.05$) in the growth between females ($L\infty$ = 338.5 cm LT, k = 0.18 year-1, ∞ = 7.8) and males ($L\infty$ = 349.5 cm LT, k = 0.16 year-1, ∞ = 8.0). The inflection point of females and males (7.8 and 8 years, respectively) could be related to the process of sexual maturity of the species.

I. INTRODUCCIÓN

Los tiburones son peces cartilaginosos que han conservado sus características morfológicas por más de 400 millones de años (Camhi *et al.* 2009). A pesar de su éxito evolutivo en los últimos años muchas especies han experimentado disminuciones drásticas en sus poblaciones llevándolas al borde de la extinción (Bonfil *et al.* 1990).

Es preocupante el incremento en la explotación pesquera de este grupo y la falta de medidas de manejo sustentadas con investigación científica, ya que el crecimiento lento, la madurez sexual tardía y la baja fecundidad pueden limitar su capacidad de soportar la presión de pesca y la recuperación de sus poblaciones (Holden 1974, Bonfil *et al.* 1990, Stevens *et al.* 2000). Algunos de los principales problemas en esta pesquería son la poca selectividad de las artes de pesca (palangre, redes agalleras, cimbras, trasmallos) (Márquez 2001), las cuales no discriminan a neonatos, juveniles o hembras preñadas; así como la interacción de las diferentes flotas (de altura, mediana altura y embarcaciones menores) y el aumento de zonas de pesca (Ramírez 2011).

Mundialmente se conoce que existen 403 especies de tiburones (Nelson 2006) de las cuales 100 han sido registradas para aguas mexicanas (Applegate *et al.* 1993, Compagno 2002, Del Moral-Flores *et al.* 2015). La pesquería de tiburones en México creció rápidamente desde los años 70’s hasta mediados de los 90’s con un volumen de desembarque de 45,000 t (Bonfil 1994, CONAPESCA 2003). El tiburón y cazón por su volumen se encuentran posicionados en el lugar 12 de la producción pesquera en México (29,435 t) y por su valor se encuentran en el lugar 10 (444,046 pesos mexicanos) (CONAPESCA 2014). Los desembarques de elasmobranquios de los cuatro estados mexicanos que rodean el Golfo de California (Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa) representaron el 56.6% del total nacional en 2014 (CONAPESCA 2014).

En la costa occidental de B.C.S. se han registrado 60 campos de pesca artesanal, de los cuales, el 75% se enfoca a la pesca de elasmobranquios (Ramírez 2011). Para 2014, del total de estados de México que reportan capturas de tiburón, B.C.S. se situaba en la posición dos con 4,218 t (CONAPESCA 2014). Para las costas de B.C.S. se han registrado aproximadamente 52 especies de tiburones pertenecientes a las familias Carcharhinidae, Sphyrnidae, Alopiidae, Triakidae, Lamnidae y Ginglymostomatidae (Applegate *et al.* 1979, Soriano *et al.* 2006, Ramírez 2011). De las cuales la familia Sphyrnidae es una de las mayormente explotadas por la pesca, ésta incluye dos géneros y ocho especies a nivel mundial; de éstas, seis se encuentran registradas en el océano Pacífico mexicano, siendo una de ellas *Sphyrna zygaena* (Compagno *et al.* 1995).

Debido a la similitud morfológica entre *S. lewini, S. mokarran* y *S. zygaena* hace que sea difícil diferenciarlas. En ese mismo sentido, la particularidad de presentar la cabeza en forma “de martillo” hace que se genere una fusión de registros de captura y estimaciones de tendencias como tiburones martillo.

Los análisis de las tendencias de la abundancia regional de los datos de tasas de captura específicos para *S. lewini* y el grupo de tiburones martillo han revelado disminuciones considerables en la abundancia de 71% en el Pacífico Central y aproximadamente 40% en el Pacífico Oriental (Myers *et al.* 2007). A partir de esta información, se estimó que entre 1,3 millones y 2,7 millones de tiburones martillo común y cornudas cruz son explotados para el comercio de aletas todos los años, una cantidad equivalente a una biomasa de 49,000–90,000t (Clarke 2006). Debido a lo anterior y a las características biológicas conocidas de *S. zygaena* la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) clasifica a esta especie dentro de la lista roja como especie vulnerable (UICN 2016); además de encontrarse en el Apéndice II de CITES (CITES 2016).

Actualmente *S. zygaena* es considerado como un recurso pesquero importante, por lo que es necesario evaluar sus poblaciones para determinar el nivel

adecuado de explotación que permita un adecuado manejo de su pesquería y el aprovechamiento sustentable a largo plazo (Walker 1998), siendo para ello de gran utilidad la estimación de la edad y el crecimiento (Cailliet y Goldman 2004). En este contexto en el presente estudio se estimará la edad y el crecimiento individual de la especie en la costa occidental de Baja California Sur.

II. ANTECEDENTES

La cornuda prieta *S. zygaena* se caracteriza por su cabeza expandida en forma de martillo sin escotadura en la línea media, pero con una muesca profunda y redondeada frente a cada orificio nasal (Fig. 1b). Presenta una coloración marrón a gris uniforme en el dorso, vientre blanco y aletas con las puntas oscuras o negras (Fig. 1a) (Compagno *et al.* 1995).

(a) (b)

Figura 1. Vista lateral (a) y vista de la cabeza (b) de *Sphyrna zygaena*.

Alcanzan una talla de 250 a 350 cm de longitud total, son vivíparos placentados con 29 a 37 crías por parto con una talla al nacer entre 50 a 60 cm LT (Smale 1991, Compagno *et al.* 1995, Tricas *et al.* 1998, Robertson y Allen 2015). Se distribuye en casi todos los mares tropicales y templados a nivel mundial y se encuentra comúnmente en la superficie en aguas oceánicas y costeras (Springer y Gold 1989, González-García 2001). Se ha señalado que los neonatos y juveniles habitan zonas más cercanas a la costa (Compagno *et al.* 1995).

La talla de madurez sexual en el Golfo de California es de 200 cm LT para hembras y 193.7 cm LT para machos (Nava y Marquéz-Farías 2014). Mientras que, para aguas del Ecuador, Carrera-Fernández y Martínez–Ortíz (2007) reportaron tallas mayores en machos y hembras con 215 cm LT y 240 cm LT, respectivamente.

En cuanto a sus hábitos alimenticios se conoce que se alimenta de peces y cefalópodos, siendo estos últimos las presas principales (Galván-Magaña *et al.* 1989, Smale y Cliff 1998, Castañeda y Sandoval 2004, Ochoa-Díaz 2009). Bolaño (2009) registra que la especie presenta diferencias en la dieta de acuerdo con el

estadio de desarrollo de los organismos, al aumentar la talla se incrementa la preferencia por los cefalópodos debido a la mayor capacidad de nado y necesidades nutricionales, encontrando juveniles alimentándose de cefalópodos más costeros como *Loliolopsis.diomedeae y Dosidicus gigas*, mientras que los adultos se alimentan de cefalópodos de hábitat mesopelágico como *Ancistrocheirus lessueri.*

Sphyrna zygaena es una especie que ha sido sobreexplotada durante las últimas décadas y se encuentra amenazada a nivel mundial (FAO 2011). En México es una de las principales especies que sostienen la pesquería artesanal de tiburones, en el Golfo de California se conoce que las capturas se encuentran compuestas en su mayoría por juveniles y subadultos de ambos sexos (CONAPESCA-INP 2004, Betancourt *et al.* 2013, Navia y Márquez-Farías 2014, Castillo-Geniz y Tovar-Ávila 2016). A diferencia del Golfo de California en el Pacífico Mexicano sus capturas se realizan principalmente en zonas oceánicas en la pesca de mediana altura (Castillo-Geniz y Tovar-Ávila 2016). Uno de los principales problemas en las capturas de estas flotas es la falta de información respecto a la estructura de tallas y sexo de los organismos; sin embargo, se asume que la talla promedio de *S. zygaena* es mayor a la registrada en la pesca artesanal, por lo que puede inferirse que los organismos adultos se encuentran en aguas oceánicas (Castillo-Geniz y Tovar-Ávila 2016).

Asimismo, se han registrado capturas frente a las costas de Jalisco, Colima y Michoacán donde esta especie representa el 1.2% de la captura total de elasmobranquios; en el estado de Guerrero se reporta una captura del 0.3% y en las costas del Golfo de California representa el 1.52%, con capturas principalmente de organismos inmaduros (Santana-Hernández *et al.* 2009, Cruz *et al.* 2011,). Además, Medina-Bautista (2014) reporta la captura de esta especie por la flota tiburonera de mediana altura de San Carlos durante la temporada de invierno con un 0.3% de la captura, en Ensenada únicamente en el período de verano con una captura de 10.5%, mientras que en las capturas de la flota de Mazatlán se reporta en invierno con un 1%, primavera con un 4.6% y en capturas provenientes de zonas

oceánicas y temporada de verano con un 4.5%. Sin embargo, las mayores capturas registradas son de las Islas de Nayarit, donde esta especie representa el 34.93% del total de la captura, principalmente de enero a marzo (Pérez-Jimenez 2001).

En el Pacífico Mexicano, a pesar de la importancia económica que la especie presenta es escasa la información relacionada a su historia de vida, como la edad y crecimiento, parámetros esenciales que permiten entender la dinámica de las poblaciones de peces y que además son críticos para evaluar otros procesos biológicos como productividad, rendimiento por recluta y disponibilidad de presas; además de evaluar el estatus de las poblaciones y sus cambios a través del tiempo principalmente en especies sujetas a explotación (Ricker 1975, NOAA 1983, Cortés 1997, Goldman 2004).

Tradicionalmente la estimación de la edad en peces se ha realizado enumerando bandas de crecimiento en estructuras óseas o escamas, a través de análisis de frecuencia de tallas, captura-recaptura y cría de peces en cautiverio (NOAA 1983). Los métodos de estudio de edad y crecimiento en elasmobranquios difieren de los utilizados con peces óseos, principalmente porque no poseen otolitos calcáreos u otra estructura rígida ósea (Cailliet *et al.* 1983). En tiburones se basan en la descripción de las marcas de crecimiento en vértebras y espinas (Cailliet y Goldman 2004). Estas estructuras son adecuadas para las estimaciones debido a que su crecimiento es un proceso continuo relacionado al depósito de calcio y no existe evidencia de reabsorción o modificación interna (Simkiss 1974; Clement 1992; Officer *et al*.1997). El depósito de calcio puede ser afectado por la disponibilidad de alimento, o por factores fisicoquímicos como temperatura o salinidad (Casselman 1982, Cailliet 1990). Diversos autores sugieren que las bandas vertebrales son indicadores precisos de edad (Cailliet *et al.* 1986, Cailliet 1990, Natanson *et al.* 2002, Cailliet *et al.* 2006).

De manera general se ha establecido que una marca de crecimiento se encuentra formada por la combinación de una banda opaca y una translúcida, esto

debido a sus propiedades ópticas, siendo la banda opaca la que presenta una mayor calcificación y las bandas translúcidas las que presentan menor calcificación (Cailliet *et al.* 2006).

La estimación de la edad permite obtener diversos parámetros demográficos como la longevidad y edad de madurez de una especie, así como la tasa de renovación al incorporar dicha información en modelos poblacionales estructurados por edades. De igual manera, con dicha información es posible estimar volúmenes de extracción en las pesquerías a través de modelos cuantitativos de evaluación pesquera; por lo que los efectos de una estimación errónea en los estudios de dinámica poblacional pueden tener consecuencias en las evaluaciones de stocks y llevar a la sobreexplotación de un recurso (Haddon 2011, Smart *et al.* 2016).

De igual manera la estimación del crecimiento es un componente esencial en la historia de vida de un organismo y la habilidad de modelarlo tiene amplias aplicaciones en la dinámica poblacional de una especie. Esto se lleva a cabo a partir de la información de talla a la edad que permite obtener curvas que se ajustan a los datos de modelos no lineales (Smart *et al.* 2016).

Actualmente, los estudios de edad y crecimiento que incluyen la verificación de las marcas de crecimiento se han enfocado en otras especies de la familia Sphyrnidae, especialmente en *Sphyrna lewini*. Branstetter (1987) realizó la verificación de la formación de las marcas de crecimiento y determinó que las marcas para esta especie son anuales, por el contrario, Chen *et al.* (1990), quienes realizaron la validación de las marcas de crecimiento para tiburones de aguas de Taiwán, encontraron que estas marcas se forman de manera bianual. Esto es muy similar a lo reportado para *S. lewini* en aguas del Pacífico mexicano, donde Anislado-Tolentino y Robinson–Mendoza (2001) y Anislado-Tolentino *et al.* (2008) describen la formación de dos marcas de crecimiento al año mediante el análisis de incremento marginal. Sin embargo, en otras especies de tiburón martillo los resultados anteriores difieren, tal es el caso de *Sphyrna tiburo* en la bahía de Florida

y Tampa, donde se validaron las marcas de crecimiento utilizando oxytetraciclina en cautiverio y captura-recaptura (Parsons 1993) y *Sphyrna mokarran* en el Golfo de México quienes validaron la formación de las marcas mediante la bomba radio-carbono (Piercy *et al.* 2010) encontrando que ambas especies forman una marca de crecimiento anual.

Con base en la verificación de la periodicidad de las marcas de crecimiento se estimaron edades máximas para *S. lewini* de 18.6 años en hembras y 8.8 años en machos (Anislado-Tolentino y Robinson-Mendoza 2001) 6 años en hembras y 5 años en machos de *S. tiburo* (Carlson y Parson 1997) y 44 años en hembras y 42 años en machos de *S. mokarran* (Piercy *et al.* 2010).

En el caso de *S. zygaena* pocos estudios se han realizado en edad y crecimiento. Para aguas del este del Océano Atlántico oriental, Coelho *et al.* (2011) determinaron que la mejor técnica de tinción para las bandas de crecimiento es el cristal violeta encontrando edades de 18 años para hembras y 21 años para machos; sin embargo, no logró realizar la verificación de la formación de marcas de crecimiento. Asimismo, Rosa *et al.* (2017), para la misma zona del Atlántico, reportó edades de 3 a 24 años en hembras y de 4 a 25 años en machos, asumiendo la formación anual de las marcas de crecimiento. Mientras que Falconí (2015) reportó en las costas de Puerto López, Ecuador, edades máximas de 17 años en hembras y 11 años en machos. Para el Pacífico Mexicano, específicamente Baja California Sur, únicamente se cuenta con la tesis de Garza (2004), quien determinó que los grupos de edad se encontraban entre el año y los 18 años, asumiendo la formación anual de las marcas de crecimiento.

Convencionalmente en los estudios de edad y crecimiento se seleccionaba un único modelo de crecimiento *a priori* basado en asunciones biológicas de la población, y se creía que las estimaciones obtenidas eran precisas. Sin embargo, este enfoque puede ocasionar errores en las estimaciones del crecimiento que se traducen a parámetros con poco significado biológico, ya que no se considera la

posibilidad que los datos no se ajusten adecuadamente al modelo, o a pesar de ajustarse, que los parámetros estimados carezcan de sentido o no sean los mejores, lo que puede llevar a graves errores en las evaluaciones de stock y conllevar a una sobreexplotación de los recursos (Goldman 2004, Smart *et al.* 2016). Problemas en la estimación de parámetros haciendo uso únicamente del modelo von Bertalanffy fue observado por Branstetter y Stiles (1987) en *Carcharhinus leucas* quienes obtuvieron valores de los parámetros con poco significado biológico para la especie ($L\infty$=374 cm LT, k=0.04 año^{-1}, t_o=-5.6 año) por lo que ajustaron de manera manual el modelo obteniendo valores que subestimaban la tasa de crecimiento de los organismos juveniles, lo anterior debido a la falta de las tallas de individuos más pequeños. Por casos como el anterior se destaca la importancia de usar enfoques como el multimodelo (Carlson y Baremore 2005, Katsanevakis 2006, Thorson y Simpfendorfer 2009), el cual permite tener una aproximación más real a la historia de vida de una especie o población y elimina la restricción de un modelo inicial seleccionado como el mejor para describir los datos de longitud a edad. Lo anterior se debe a que los diferentes modelos funcionan sobre bases matemáticas diferentes y se aproximan de distinta manera al comportamiento de los datos de longitud a cada edad. Esto permite superar algunas limitaciones en el tamaño de muestra y ausencia de algunos grupos de edad (Katsanevakis 2006).

A pesar de lo anterior la mayoría de los estudios realizados en *Sphyrna* han aplicado el enfoque *a priori*, seleccionando como única opción el modelo von Bertalanffy, de acuerdo con el cual se observó que *S. lewini* presenta crecimiento intermedio, *S. mokarran* crecimiento lento y *S. tiburo* crecimiento rápido (Chen *et al.* 1990, Parsons 1993, Anislado-Tolentino y Robinson–Mendoza 2001, Anislado-Tolentino *et al.* 2008, Piercy *et al.* 2010). Lo mismo se observó en los estudios de edad y crecimiento para *S. zygaena* donde, de igual manera que en los anteriores, únicamente se ha aplicado el modelo de crecimiento von Bertalanffy de acuerdo con el cual la especie presenta un crecimiento lento (Coelho *et al.* 2011, Falconi 2015, Rosa *et al.* 2017) y crecimiento intermedio (Garza 2004).

Entre los modelos más utilizados para los elasmobranquios se encuentran los de von Bertalanffy, Gompertz y logístico, cada uno con sus variaciones, estos modelos han sido recomendados para su uso en un marco básico multimodelo (Haddon, 2011). El modelo de von Bertalanffy (1938) está sustentado en dos procesos biológicos importantes (anabolismo y catabolismo), lo que lo hace tener sentido biológico, la curva de este modelo tiene forma exponencial inversa lo que produce tasas de crecimiento que decrecen linealmente; sin embargo, este tipo de decremento no siempre es apropiado considerando que el modelo no puede detectar cambios en el crecimiento a lo largo del tiempo (Soriano *et al.* 1992, Katsanevakis 2006). Por su parte, los modelos sigmoideos, como Gompertz y logístico, se caracterizan por dos asíntotas en vez de una (Ricker 1979). Estos modelos difieren de von Bertalanffy en que la estructura sigmoidea no garantiza una reducción continua del crecimiento con la edad; además, de incluir un punto de inflexión que puede ser interpretado biológicamente como un cambio donde el crecimiento deja de incrementar y comienza a disminuir (Thorson y Simpfendorfer 2009).

Las ventajas del enfoque multimodelo se observaron en algunos estudios de edad y crecimiento en carcharhinidos, donde se observó que el modelo von Bertalanffy presentó un pobre ajuste a los datos de longitud a la edad de *Carcharhinus brevipinna* (Carlson y Baremore 2005), *Carcharhinus melanopterus* (Chin *et al.* 2013) y *Carcharhinus sorrah* (Harry *et al.* 2013); en éstos el modelo logístico de tres parámetros fue el que tuvo el mejor ajuste. En los tres estudios la aplicación de modelos con diferentes curvas permitió que el ajuste a los datos de longitud a la edad fuera el adecuado obteniendo estimaciones de los parámetros con mayor significado biológico para las especies.

III. JUSTIFICACIÓN

La pesca de tiburón es de carácter multiespecífico y es realizada por las flotas pesqueras nacionales de altura, mediana altura y embarcaciones menores (DOF 2007). En particular la costa del Pacífico contribuye con el 78 % del total del peso y del valor de la captura, operando principalmente en la costa occidental de la península de Baja California, el Golfo de California y el Golfo de Tehuantepec (Cruz *et al.* 2011).

Como consecuencia del uso de diferentes artes de pesca para su aprovechamiento (carácter multiespecífico), se conocen diferencias en la composición geográfica de la captura, que incluye una variedad de tallas y estadios de desarrollo (Márquez-Farías 2002).

A pesar de ser especies con volúmenes de captura elevados, la biología de este grupo es la menos conocida de los grandes grupos de fauna marina y el manejo de las pesquerías de tiburón ha sido limitado entre otras razones por una falta de información biológica y pesquera (Camhi *et al.* 1998). Uno de los problemas principales para la toma de decisiones sobre el manejo de la pesquería de tiburones es la falta de información biológica suficiente y confiable que sustente las medidas de regulación y conservación de estos depredadores (Applegate *et al.* 1993). El estudio de cada uno de los aspectos biológicos es necesario para entender mejor las interacciones en el balance ecológico (Medina-Bautista 2014).

El conocimiento de la edad y la estimación de las tasas de crecimiento son importantes para entender la dinámica poblacional en la evaluación de stocks que permitan predecir el efecto de la pesca sobre las especies, la cual es indispensable para el adecuado manejo de la pesquería (Powers 1983, Cailliet *et al.* 1986; Anislado 1995, Ricker 1995, Cailliet *et al.* 1986, Cailliet y Goldman 2004, Medina-Bautista 2014). El patrón de crecimiento es un componente significativo para la historia de vida de un organismo; dentro de este componente encontramos elementos clave que definen a este patrón, como la edad de madurez sexual, la

tasa de crecimiento, longitud total y talla de nacimiento. Por otra parte, dentro del manejo de pesquerías, es importante conocer la edad, las características de crecimiento, los procesos de maduración y la longevidad de la especie, las cuales son esenciales para una gestión pesquera sostenible (Garza 2004, Briones y Armijos 2012).

Debido a lo anterior se realizó el estudio de edad y crecimiento en *S. zygaena* con el propósito de proporcionar información base que sirva a los tomadores de decisiones para un mejor manejo a largo plazo de este recurso.

IV. OBJETIVOS

Objetivo general

Estimar la edad y el crecimiento individual del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* en la costa occidental de Baja California Sur.

Objetivos específicos

- Describir la estructura de tallas de *S. zygaena* capturada en la costa occidental de Baja California Sur.
- Determinar la relación entre el crecimiento de la vértebra y la longitud total del organismo.
- Establecer la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento de *S. zygaena* capturada en la costa occidental de Baja California Sur.
- Describir la estructura de edades de *S. zygaena* capturada en la costa occidental de Baja California Sur.
- Estimar el patrón de crecimiento individual de *S. zygaena* capturada en la costa occidental de Baja California Sur.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Zona de estudio

Bahía tortugas

Ubicada en la parte central de la Costa Occidental de la Península de Baja California (fig.2). Tiene una extensión aproximada de 20.5 km y una profundidad aproximada de 11 m en el centro y 10 m hacia la boca; esta se cierra por un par de puntas rocosas de origen ígneo, una de las cuales, la del sureste se prolonga con una serie de pequeños islotes que amortiguan en gran medida la fuerza del oleaje y corrientes (Guzmán-Del Próo *et al.* 1991). Se observan cambios estacionales en el régimen térmico de la Bahía, de 12.7ºC en mayo a 19ºC en agosto, en dicho mes, las temperaturas más frías provienen del sureste, mientras que en noviembre del noroeste (Guzmán-Del Próo *et al.* 1991).

Esta zona está fuertemente influenciada por la Corriente de California, la cual condiciona una inversión de temperaturas durante todo el año, excepto en invierno, cuando los fuertes vientos soplan del océano al continente (Salinas-Zavala *et al.* 1990). Además, se considera una zona de transición de aguas templadas y cálidas, y se caracteriza por una intensa actividad de fenómenos como surgencias y giros a lo largo de ella (Di Lorenzo 2004). La variabilidad de estos fenómenos afecta las condiciones en el océano localmente (Pares-Sierra y O'Brien 1989).

Las capturas de los elasmobranquios se llevan a cabo principalmente mediante redes agalleras de 30 brazas de largo y 3 brazas de ancho. La captura de tiburón martillo se lleva a cabo con redes de superficie y malla de 5 a 8'. Las faenas de pesca se realizan entre 1 a 16 millas de la costa.

Punta Lobos

Ubicado en 23º 24´ 27'' Latitud Norte y 110º 13´ 58'' Longitud Oeste (fig.2). La localidad de Punta Lobos presenta temperaturas medias anuales de 20-22° C. La plataforma en el área se caracteriza por ser reducida y de relieve accidentado (Schmitter-Soto, 1992). La circulación de las aguas superficiales está en relación con el patrón de vientos, por lo que, durante el invierno, esta es dominante hacia el

sureste permitiendo el mayor desarrollo de la Corriente de California, la cual tiene su origen en los 40° N, extendiéndose hasta 1000 km de distancia de la costa. Esta corriente se presenta a profundidades de 100 y 300 m siendo más intensa durante la primera mitad del año (Álvarez-Arellano, 1987). Esta zona se caracteriza por un impacto biológico significativo en las poblaciones debido a la alta productividad por el afloramiento de plancton (Álvarez-Arellano 1987, Franks 1992, Torres-Orozco 1993).

Las capturas de elasmobranquios se realizan utilizando palangres de superficie de 1 a 3 km de largo con anzuelos de 4 a 6 cm.

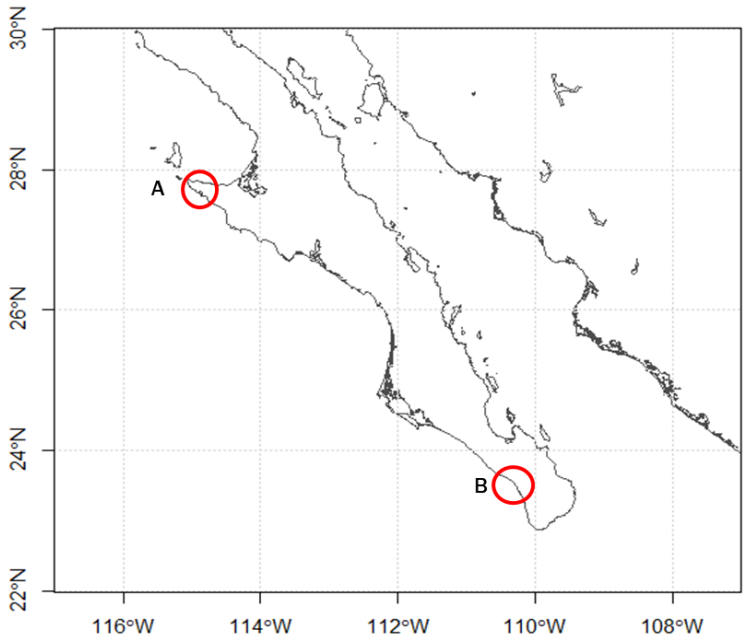


Figura 2. Sitios de muestreo: Campamento pesquero de Bahía Tortugas (A) y Punta Lobos (B).

5.2 Trabajo de campo

Durante el periodo 2013-2017 se realizaron muestreos sistemáticos cada tres meses en Bahía Tortugas y cada mes en Punta Lobos en la costa occidental de B.C.S. Una vez desembarcados los tiburones se identificó la especie *S. zygaena* utilizando las claves de Compagno *et al.* (1995). Se midió la longitud total (LT) del organismo desde la punta del hocico hasta la punta de la aleta caudal (OSPESCA

2008), haciendo uso de una cinta métrica de 30 m graduada en cm. Se determinó el sexo de los individuos mediante la presencia (machos) o ausencia (hembras) de los gonopterigios en las aletas pélvicas. Asimismo, se identificaron tres estadios de desarrollo con base en literatura de aspectos reproductivos de la especie (Nava y Márquez-Farías 2014), además de características morfológicas presentes en los organismos:

Neonatos: presencia de la cicatriz umbilical abierta.

Juveniles: cicatriz umbilical cerrada y ausencia de características de madurez.

Adultos: presencia de semen y/o gonopterigio calcificado con rotación de 360° en machos, y presencia de marcas de mordidas en el cuerpo, ovocitos o embriones en el útero en hembras.

Para estimar la edad se procedió a recolectar cinco vértebras de la región anterior a la primera aleta dorsal y ocasionalmente en la región cercana a la cabeza del tiburón. Se almacenaron, etiquetaron y congelaron para su traslado al Laboratorio de Ecología de Peces del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) en la ciudad de La Paz, B.C.S., para su análisis.

5.3 Trabajo de laboratorio

5.3.1 Limpieza de vértebras

Las vértebras se descongelaron y con ayuda de agujas de disección, pinzas y cuchillo se retiró el arco hemal y neural, así como todo el tejido blando que rodea a la estructura. Para el tejido que no pudo ser removido las vértebras se colocaron en agua caliente por un periodo de entre 20 minutos a 2 horas, dependiendo del tamaño de la estructura y se repitió el proceso con la pinza y cuchillo. Una vez limpias se colocaron en una solución de alcohol al 70% por 24-48 horas y se dejaron secar a temperatura ambiente durante un periodo similar.

5.3.2 Corte de las vértebras

Los individuos se agruparon en intervalos de 10 cm LT con el objetivo de separarlas en tres grupos: pequeños (66-100 cm LT), medianos (>100-180 cm LT) y grandes (>180 cm LT); para cortar las vértebras a diferentes grosores: 0.3 mm, 0.4 mm y 0.5 mm, y determinar el grosor más adecuado para evidenciar las marcas de crecimiento. Los cortes se realizaron de manera longitudinal a la vértebra con el cuidado de incluir el foco o centro de la vértebra con ayuda de una sierra de baja velocidad marca Buehler modelo Isomet con hoja de diamante.

5.3.3 Conteo de las marcas de crecimiento

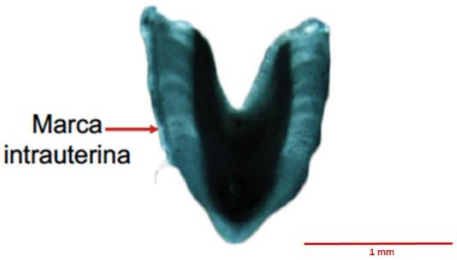
Para realizar el conteo de las marcas de crecimiento, las vértebras se colocaron bajo un microscopio estereoscópico conectado a una cámara marca Nikon SMZ25, y utilizando el software Nikon se procedió a digitalizar cada una de las estructuras. Antes de realizar los conteos definitivos se hicieron pruebas con diferentes tipos de luz (luz reflejada y transmitida) en fondo claro y oscuro, en diferentes medios: húmedo (agua y alcohol) y seco. Lo cual permitió seleccionar las condiciones y el grosor más adecuado para observar con mayor claridad las marcas de crecimiento. Una vez definido el corte a 0.4 mm con luz reflejada en medio húmedo (agua), éstas se digitalizaron para su posterior lectura.

Para la identificación de la marca de nacimiento se contaron con 10 embriones con tallas entre 43-47.5 cm LT. A partir de las vértebras de los embriones se determinó la presencia de marcas intrauterinas (fig. 3a) por lo que fue necesario corroborar la marca de nacimiento en cada organismo; para ello se obtuvo la relación estimada entre el radio vertebral (RV) y la LT de los organismos, la ecuación que se obtuvo fue: LT= 25.702RV + 27.46. Con base en dicha ecuación y con la medida de cada radio vertebral a la marca de nacimiento en todos los organismos, se estimó la talla a la cual se formó esa marca, verificando de esta forma que la marca coincidiera con tallas cercanas al nacimiento (47-60 cm LT). De esta manera se determinó que la marca de nacimiento se encontraba entre 1.4 y 1.6 mm desde

el foco de la vértebra, dicha marca coincidió con el primer cambio de ángulo del *corpus calcareum.*

Posteriormente, a partir de la identificación de la marca de nacimiento se siguió el patrón de una banda opaca (por su mayor densidad esta refleja la luz y se observó de color blanco) y una translúcida (por su menor densidad esta permite el paso de luz y se observó el fondo oscuro, por lo que se vio de color negro/gris) en el *corpus calcareum*, considerando el par de bandas como una marca de crecimiento (fig.3b) (Cailliet y Goldman 2004, Coelho *et al.* 2011). Las imágenes fueron editadas mediante el programa Adobe Photoshop 2016 ajustando los valores de brillo y contraste para facilitar la visibilidad de las marcas. Con base en estos criterios, para cada una de las vértebras, se hicieron tres lecturas independientes sin conocimiento previo de la talla y sexo de los organismos.

(a)



(b)

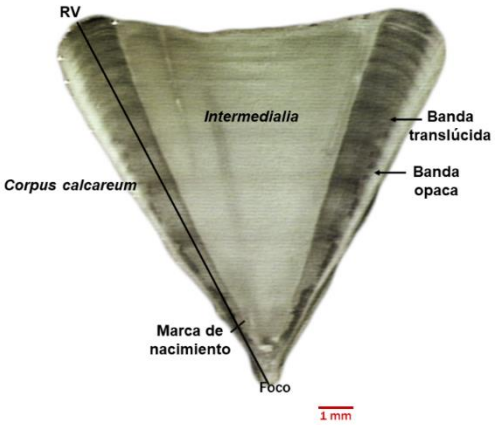


Figura 3. Vértebra de un embrión observado con luz transmitida (a) y de un organismo adulto observado con luz reflejada (b) de *S. zygaena* de la costa occidental de Baja California Sur.

5.4 Procesamiento de datos

5.4.1 Estructura de tallas

La estructura de tallas se obtuvo con base en la frecuencia de aparición de los organismos, estos se agruparon en intervalos de 10 cm LT. Se representó mediante un histograma separando los machos de las hembras. Para evaluar la existencia de diferencia en la distribución de las tallas entre sexos se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov con un nivel de confianza del 95% (Sokal y Rohlf 1981).

5.4.2 Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del individuo.

Para obtener los valores del radio de la vértebra (RV) se hizo uso de la herramienta regla en el programa Adobe Photoshop 2016. Se midió el radio total

desde el foco u origen de la vértebra al margen del *corpus calcareum,* con este valor y con la longitud total (LT) de los organismos se aplicó un análisis de regresión simple para determinar si existe relación entre RV y LT. Para determinar si la relación RV-LT difiere entre machos y hembras se hizo uso de un análisis de covarianza (ANCOVA).

5.4.3 Verificación de la edad

La periodicidad de formación de las bandas de crecimiento se realizó a través del cálculo del porcentaje mensual de vértebras con bordes opacos y translúcidos, de esta manera se obtuvo la distribución mensual de los tipos de borde. Asimismo, se aplicó el análisis del Índice Incremento Marginal (IIM) el cual se obtuvo al dividir el ancho del incremento marginal absoluto entre el ancho de la última banda completamente formada de acuerdo con la expresión:

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

Donde *RT* es el radio total de la vértebra, *rn* el radio a la última marca de crecimiento y *rn-1* el radio a la penúltima marca de crecimiento. Los valores promedio del IIM se graficaron por mes de captura.

Se obtuvieron los valores promedio de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) para la costa occidental de B.C.S. a partir de las bases de datos ERDDAP de la NOAA (NOAA 2017). Estos valores se graficaron junto al porcentaje de bordes y el IIM.

Debido a la naturaleza circular que presentan los datos del IIM se aplicó el método propuesto por Okamura *et al* (2013), el cual ofrece mayor peso estadístico para determinar si la formación de las marcas de crecimiento es uniforme (N) (sin ciclo definido), anual (A) (un ciclo) o bianual (B)(dos ciclos) con base en el menor valor de AIC. El modelo se realizó mediante el código de programación desarrollado por Okamura *et al.*(2013) en la plataforma R.

5.4.4 Determinación de la edad

Precisión de las lecturas de las marcas de crecimiento

Una vez establecidos los criterios de lectura e identificación de la marca de nacimiento se seleccionó al azar una submuestra de 30 vértebras. Se realizaron tres lecturas independientes de las bandas de crecimiento por dos lectores sin conocimiento alguno del sexo y talla de los organismos.

Se analizaron las lecturas intralector con el objetivo de evaluar la curva de aprendizaje del lector dos (inexperto). Mientras que las lecturas interlector (entre lector uno (experto) y lector dos) se realizaron para evaluar la precisión en las lecturas y reducir la variación. Para ello se obtuvo el coeficiente de variación (CV) (Campana 2001) y el porcentaje de error promedio (PEP) (Beamish y Fournier 1981) de acuerdo con las expresiones:

$$CV = \frac{100}{N} * \frac{\frac{\sqrt{\sum_{i=1} \frac{(X_{ij-}X_j)^2}{R}}}{-1}}{Xj}$$

$$PEP = \frac{1}{N}\sum_{J=1}^{N}[\frac{1}{R}\sum_{i=1}^{R}\frac{((|X_{ij} - X_j|)^2}{X_j}] * 100$$

Donde *N* es el total de organismos con edad estimada, *R* el número de veces que se hará la lectura, X_j es la edad *i* determinada del organismo *j* y X_j es el promedio de edad calculada del organismo *j* (Beamish y Fournier 1981, Chang 1982, Campana 2001).

Asimismo, se realizaron gráficos de sesgo entre las lecturas realizadas intralector e interlector, esto con el objetivo de corroborar visualmente la presencia o no de error sistemático en las lecturas de las bandas.

5.4.4.1 Estructura de edades

Para obtener la estructura de edades se hizo uso de un histograma con las frecuencias de los diferentes grupos de edad separándolos en hembras y machos. Para determinar si existen diferencias significativas en las distribuciones de los

grupos de edad entre sexos se hizo uso de la prueba Kolmogorov-Smirnov (Sokal y Rohlf 1996).

5.4.5 Descripción del crecimiento

Para describir el crecimiento de *S. zygaena* se hizo uso de tres modelos de crecimiento, con sus variaciones de dos y tres parámetros, ajustados a los valores de edad y LT observados. Para los modelos de dos parámetros se fijó la talla de nacimiento en 50 cm LT, esto con base en lo reportado previamente para la especie (Compagno 1995, Robertson y Allen 2015) y en las tallas observadas a los embriones a término (43-47.5 cm LT).

1. **Modelo de crecimiento von Bertalanffy**

Se aplicó el modelo de crecimiento von Bertalanffy (1938) de tres parámetros según la expresión:

$$Lt = L\infty(1 - exp^{-k(t-t_0)})$$

Donde Lt es la longitud total del organismo a la edad t, $L\infty$ es la longitud máxima teórica a la que puede llegar un organismo, k es la constante de crecimiento, t_0 es el tiempo hipotético cuando la longitud es cero y t es el tiempo en años.

Asimismo, se aplicó el modelo von Bertalanffy de dos parámetros de acuerdo con la expresión (Fabens 1965):

$$Lt = L\infty(1 - b * exp^{-kt})$$

$$b = \frac{(L\infty - Lo)}{L\infty}$$

Donde Lt es la longitud total del organismo a la edad t, $L\infty$ es la longitud máxima teórica a la que puede llegar un organismo, k es la constante de crecimiento, L_0 es la talla de nacimiento y t es el tiempo en años.

2. Modelo de crecimiento de Gompertz

Se aplicó el modelo de crecimiento de Gompertz de tres parámetros de acuerdo con la expresión (Ricker 1975):

$$Lt = L\infty(exp^{-\exp(-k^{(t-\infty)})})$$

Donde *Lt* es la longitud total del organismo a la edad t, *L*∞ es la longitud máxima teórica a la que puede llegar un organismo, *k* es la constante de decrecimiento del modelo, *t* es el tiempo en años y ∞ es el punto de inflexión.

Además, el modelo de Gompertz de dos parámetros según la expresión (Mollet *et al.* 2002):

$$Lt = \mathrm{Lo}(exp^{\mathrm{G}(1-exp^{-kt})})$$

$$G = \ln(\frac{L\infty}{Lo})$$

Donde *Lt* es la longitud total del organismo a la edad t, *G* es la constante de decrecimiento del modelo, L_0 es la talla de nacimiento, *L*∞ es la longitud máxima teórica a la que puede llegar un organismo y ∞ es el punto de inflexión.

3. Modelo de crecimiento logístico

Se ajustó el modelo de crecimiento logístico de tres parámetros:

$$Lt = \frac{L\infty}{1 + exp^{-k(t-\infty)}}$$

Donde *Lt* es la longitud total del organismo a la edad *t*, *L*∞ es la longitud máxima teórica a la que puede llegar un organismo, *k* es el coeficiente de crecimiento del modelo, ∞ es el punto de inflexión y *t* es el tiempo en años.

Y el cálculo del modelo de crecimiento logístico de dos parámetros de acuerdo con la expresión:

$$Lt = \frac{L\infty \mathrm{Lo}(exp^{(kt)})}{L\infty + \mathrm{Lo}(exp^{(kt)-1})}$$

Donde *Lt* es la longitud total del organismo a la edad t, *k* es el coeficiente de crecimiento del modelo, L_0 es la talla de nacimiento y *t* es el tiempo en años.

Los parámetros de los modelos se obtuvieron mediante máxima verosimilitud haciendo uso de la función Solver en el programa Excel 2016.

Para comprobar si existían diferencias entre las curvas de crecimiento de hembras y machos se aplicó la prueba de probabilidad de Kimura (1980), que compara el ajuste de cada curva de crecimiento (Haddon 2011) de acuerdo con la expresión:

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

Donde *N* es el número de muestras, *ln* es el logaritmo natural y *ΣSDC* es la sumatoria de la diferencia de cuadrados de hembras y machos por separado y *SDC HyM* es la diferencia de cuadrados obtenida al ajustar el modelo para sexos combinados.

5.4.6 Comparación de modelos de crecimiento

Para la selección del mejor modelo se utilizó el criterio de información de Akaike, AIC (Burnham y Anderson 2002), considerando, además, un algoritmo de corrección para evaluar el desempeño de los modelos con tamaño pequeño de muestra (Zhu *et al.* 2009):

$$AIC = (2 * -lnL) + (2 * \theta)$$

$$AIC_c = AIC + \frac{2\theta(\theta + 1)}{n - \theta - 1}$$

Donde *–lnL* es la estimación del logaritmo negativo de verosimilitud para cada modelo, *θ* representa el número de parámetros en cada modelo y *n* el número de grupos de edades observadas.

El mejor modelo se eligió con base en el que presentó el valor de AIC_c más pequeño (Burnham y Anderson 2002). Se usaron las diferencias (Δ) entre el AIC_c de cada modelo y el AIC_{min} para jerarquizar el resto de los modelos.

$$\Delta \mathrm{AIC}_c = \mathrm{AIC} - \mathrm{AIC}_{min}$$

Además, se aplicó el peso de Akaike (*wi*) el cual representa la probabilidad de elegir el modelo correcto de los modelos candidatos, de acuerdo con la expresión:

$$wi = \frac{exp(\frac{-\Delta AIC}{2})}{\sum_{r=1}^{R} exp(\frac{\Delta AIC}{2})}$$

Donde *R* es el número de modelos candidatos.

VI. RESULTADOS

6.1 Estructura de tallas

Se registraron un total de 449 organismos, 241 hembras y 208 machos (fig. 4), en un intervalo de tallas para hembras de 65 a 305 cm LT y una talla promedio de 174.24±70.08 cm LT y para machos de 55 a 285 cm LT con un promedio de 138.32±50.55 cm LT, encontrándose diferencias significativas en la distribución por tallas entre sexos ($p<0.0001$). La proporción sexual obtenida fue 1.23H:1M ($p<0.05$).

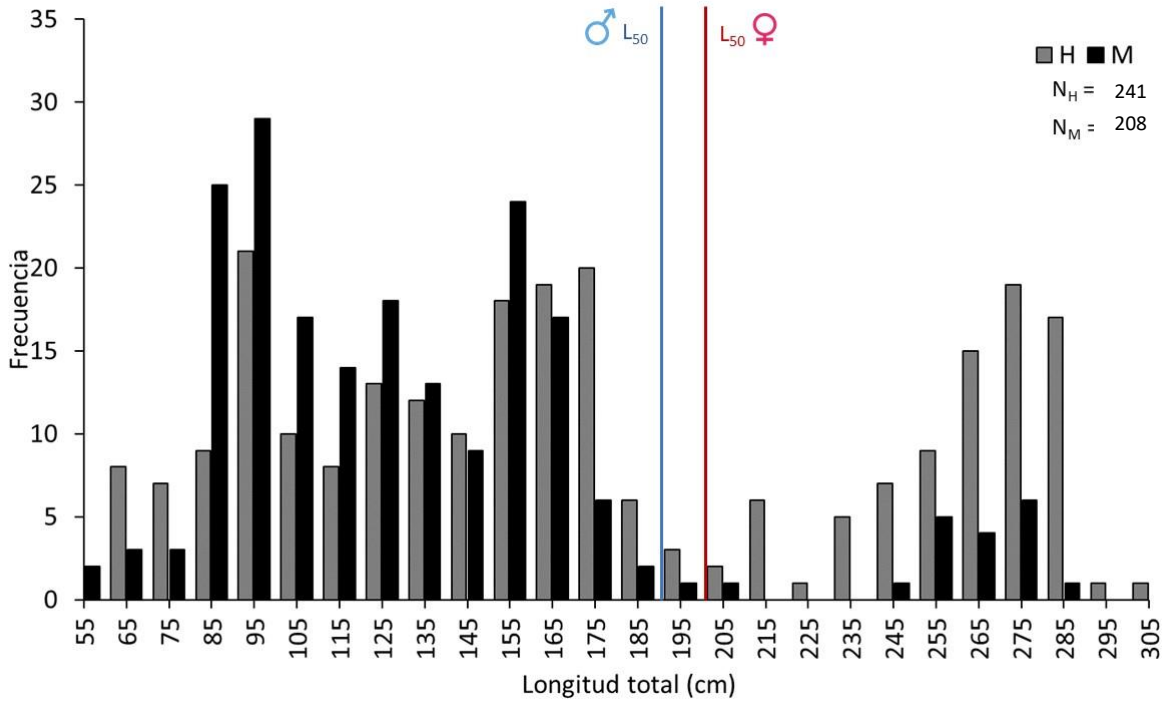


Figura 4. Estructura de tallas de *S. zygaena* capturadas en la costa occidental de Baja California Sur.

De los 449 organismos registrados se obtuvieron 132 muestras de vértebras pertenecientes a 69 hembras y 63 machos. La estructura de tallas observada para hembras fue de 66 a 292 cm de LT (fig. 5) con un promedio de 166.4±70.03 cm LT y entre 66 a 270 cm de LT para machos (fig.5) con un promedio de 121.7±48.07 cm LT, lo que representó diferencias significativas entre sexos ($p<0.001$).

La mayor proporción de hembras y machos correspondió a individuos juveniles con el 65% y 87%, respectivamente; con tallas entre los 80 a 180 cm LT; seguido de adultos con el 28% y 10% respectivamente, con tallas superiores a los 190 y 200 cm LT para machos y hembras, respectivamente; y finalmente organismos neonatos con el 7% para hembras y 3% para machos, con tallas entre los 66 y 75 cm LT (fig.5).

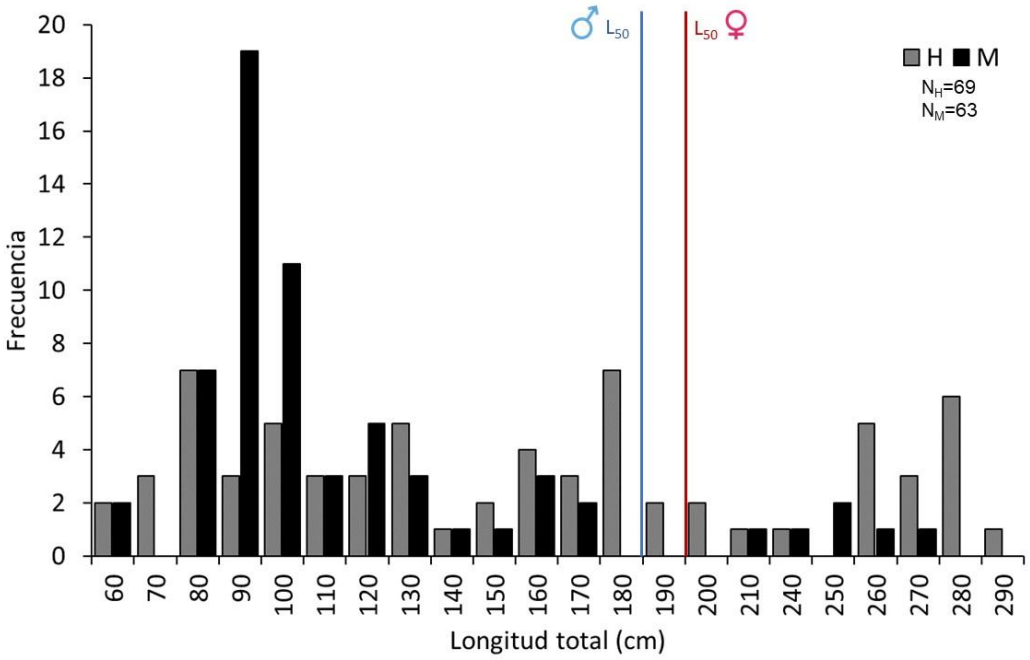


Figura 5. Estructura de tallas por sexo de los organismos de *S.zygaena.*

6.2 Relación entre la longitud total (LT) y el radio de la vértebra (RV).

La relación entre el RV-LT fue lineal y significativa para hembras (R^2=0.86, p<0.001) y machos (R^2=0.86, p<0.001); sin que se encontraran diferencias significativas entre sexos (ANCOVA, p>0.05), por lo que la relación se estimó para sexos combinados (R^2=0.85, p<0.001) (fig. 6).

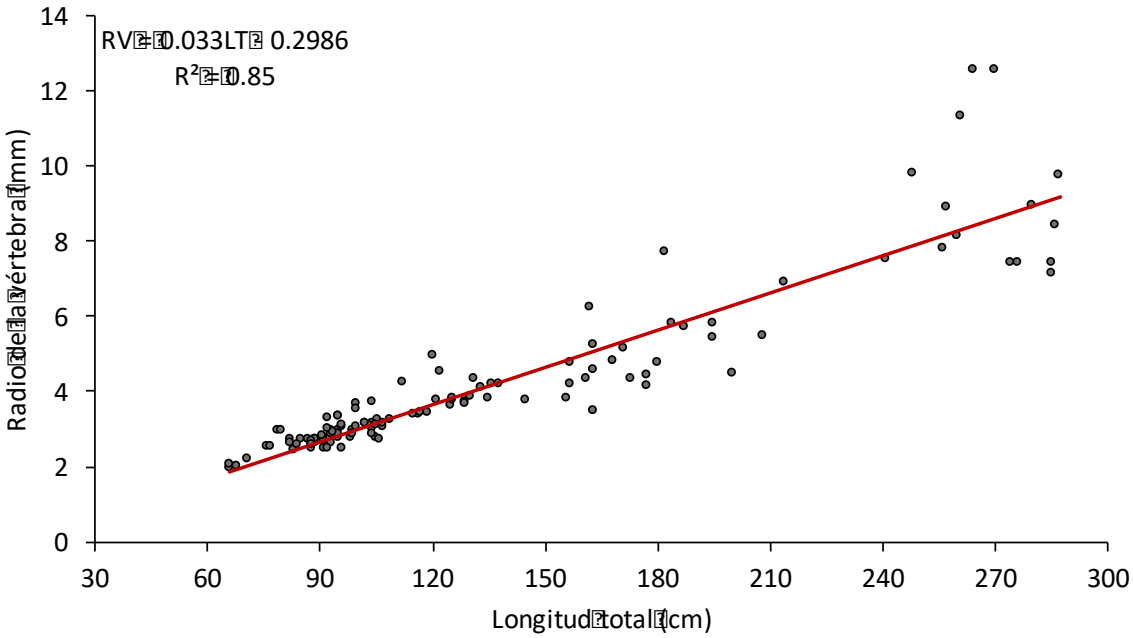


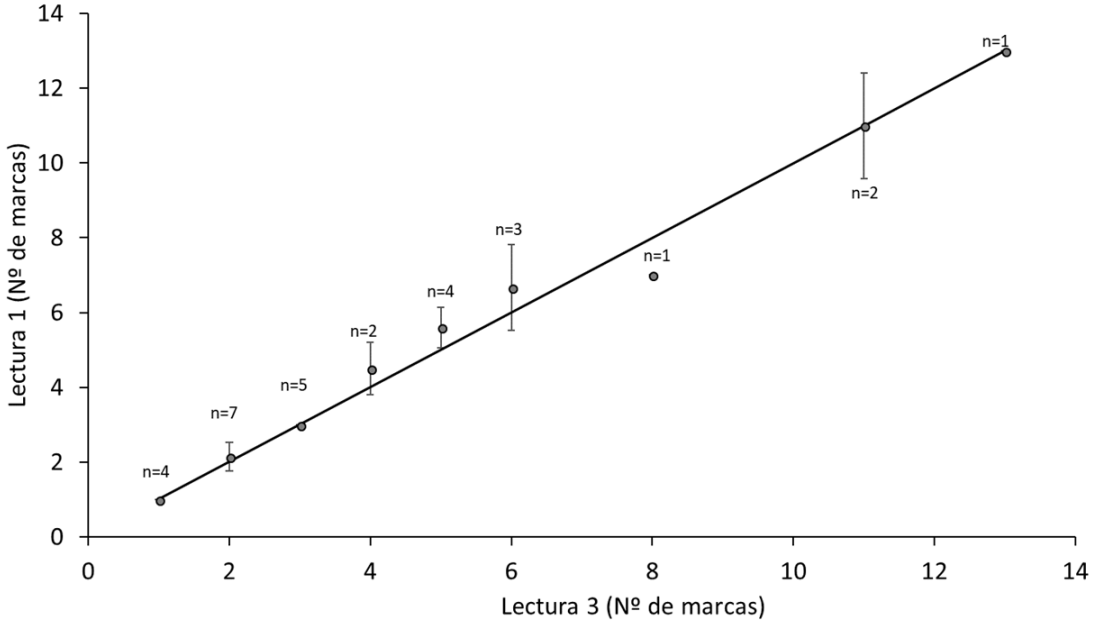
Figura 6. Relación entre el radio de la vértebra (RV) y la longitud total para machos y hembras de *S. zygaena* en la costa occidental de B.C.S.

6.3 Determinación de la edad

El coeficiente de variación (CV) y el porcentaje de error promedio (PEP) intralector fue de 4.91% y 3.78%, respectivamente. Los mayores valores de CV y PEP se obtuvieron entre la primera y tercera lectura con valores de 7.61% y 5.38%, respectivamente. Mientras que entre la segunda y tercera lectura estos valores se redujeron (CV=6.33%, PEP=4.48%).

Gráficamente se observa que la mayor variación fue entre la lectura uno y tres. De la marca cuatro a la seis se tiene una sobreestimación en las lecturas, mientras que de la marca uno a la seis y de la ocho a la 13 no muestra un patrón definido (fig. 7a). En el caso de la lectura dos y tres muestra una reducción en la variación de las lecturas, y únicamente se observa una subestimación para la marca dos y seis (fig. 7b).

a)



b)

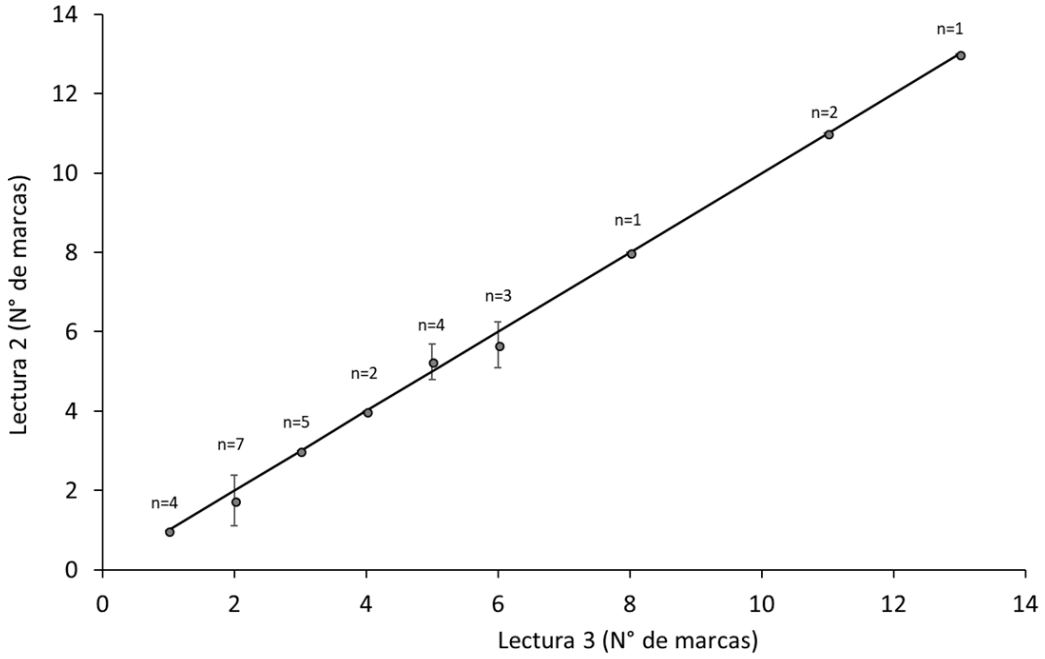


Figura 7. (a)Variación intralector entre la primera y tercera lectura y (b) Variación intralector entre la segunda y tercera lectura.

El coeficiente de variación (CV) y el porcentaje de error promedio (PEP) interlector fue de 4.84% y 7.96%, respectivamente. Gráficamente se observa que la

mayor variación en las lecturas se obtuvo entre las dos y seis marcas, mostrando una sobreestimación en la lectura del lector dos respecto al lector uno (fig.8).

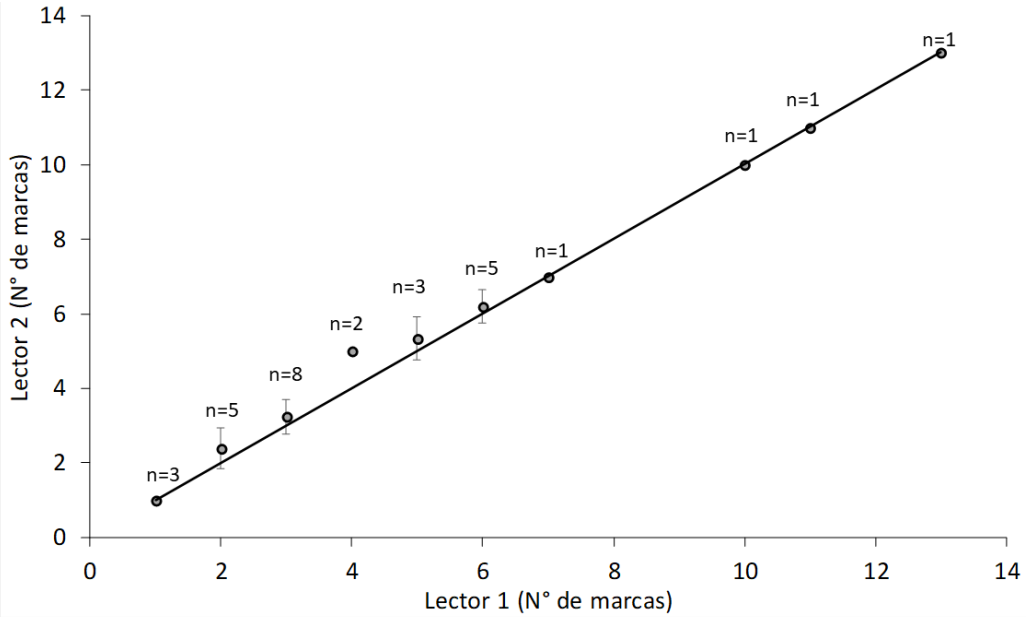


Figura 8. Variación en la lectura de las marcas de crecimiento interlector.

6.4 Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento

6.4.1 Porcentaje de bordes

Se observó el mayor porcentaje de bordes opacos (O) en octubre y noviembre (otoño), mientras que el mayor porcentaje de bordes translúcidos (T) en marzo y abril (primavera). El patrón observado mostró una tendencia que sugiere la formación de una marca de crecimiento anual, con el mayor porcentaje de bordes opacos asociado a los meses con temperaturas cálidas y el mayor porcentaje de bordes translúcidos asociado a meses con temperaturas más frías (fig. 9).

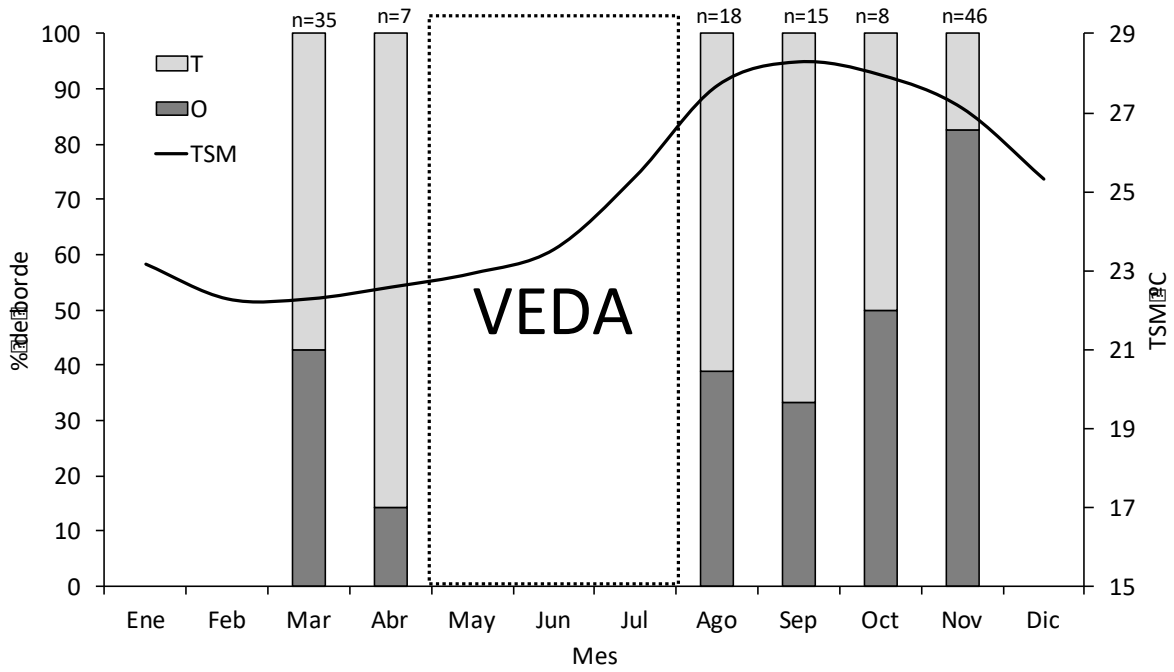


Figura 9. Porcentaje del tipo de borde de las vértebras de *S. zygaena* en la costa occidental de B.C.S.

6.4.2 Índice de Incremento Marginal (IIM)

El IIM no mostró un patrón definido (fig.10) y de acuerdo con la prueba de Okamura no se encontró periodicidad en la formación de las bandas (**AIC_N=64.65**, AIC_A=64.85, AIC_B=64.74).

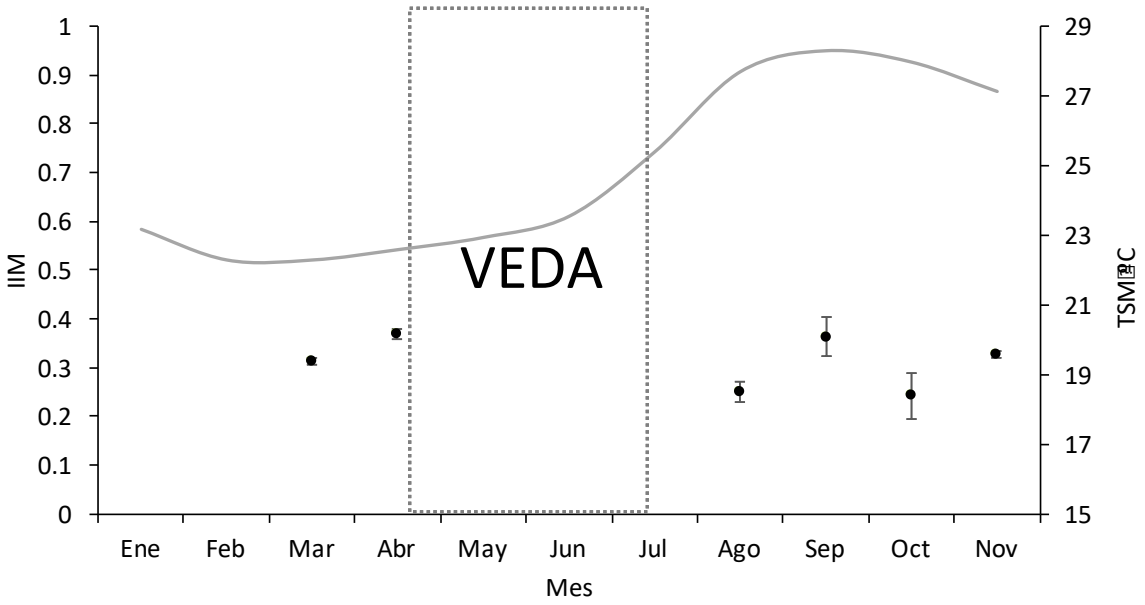


Figura 10. Índice de incremento marginal de *S. zygaena* en la costa occidental de B.C.S.

6.5 Estructura de edades

Se encontraron un total de 20 grupos de edad (0-19 años) para hembras y 17 grupos de edad (0-16 años) para machos, lo que representó diferencias significativas entre sexos ($p<0.001$). Las edades más representadas fueron uno, dos y 5 años en machos; y dos, seis y ocho años en hembras (fig. 11), dichas edades correspondieron a organismos juveniles lo que representa más del 50% de la muestra en ambos sexos. Por su parte, las edades de las hembras menos representadas fueron 0, 14 y 19 años; y en machos fueron 8, 15 y 16 años (fig. 11).

La máxima edad encontrada en hembras fue de 19 años, la cual corresponde a un individuo de 292 cm LT. En el caso de los machos la edad máxima encontrada fue de 16 años que correspondió a un individuo de 270 cm LT. Tanto para hembras como machos, los organismos más pequeños (edad cero) fueron neonatos entre 66-68 cm LT (fig.11)

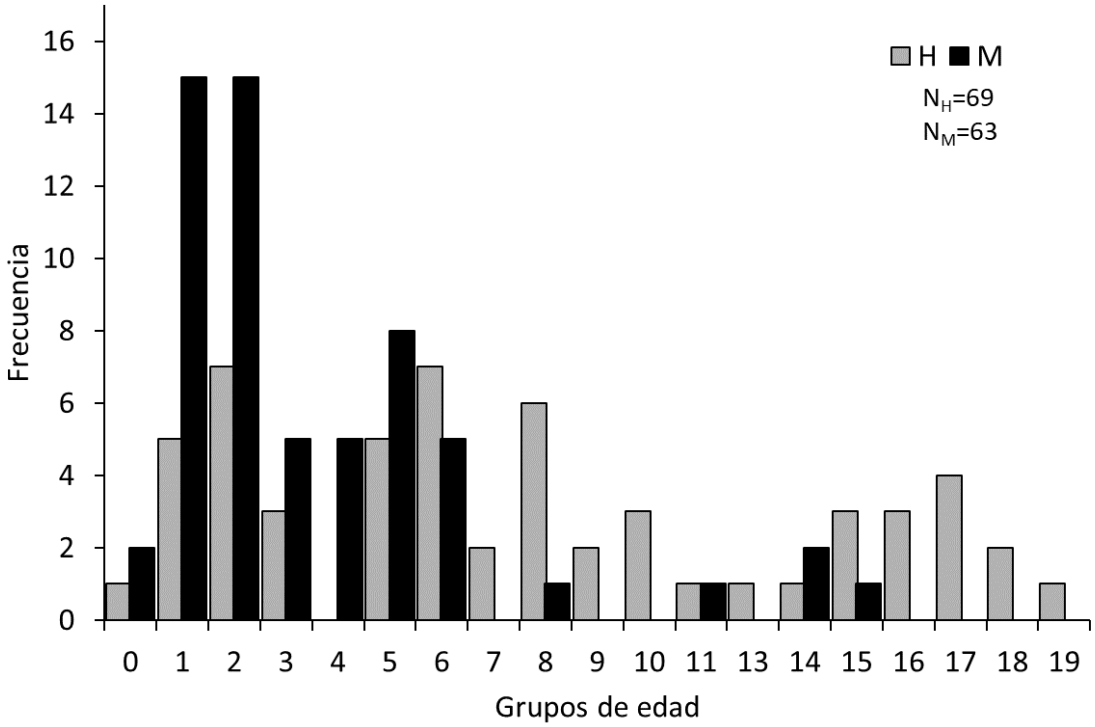


Figura 11. Estructura de edades de *S. zygaena* capturada en la costa occidental de B.C.S.

6.6 Crecimiento individual

Se encontraron diferencias significativas entre las curvas de machos y hembras para el modelo von Bertalanffy de tres parámetros (X^2_k=7.02, p<0.05) y dos parámetros (X^2_k=7.34, p<0.05); para el modelo de Gompertz de tres parámetros (X^2_k=7.43, p<0.05) y dos parámetros (X^2_k=13.47, p<0.05); y, para el modelo logístico de tres parámetros (X^2_k=6.77, p<0.05) y dos parámetros (X^2_k=16.8, p<0.05). Debido a ello se presentan las curvas y parámetros por sexos separados (fig. 12a,b, tabla 1).

La mayoría de los modelos de crecimiento ajustados a los datos muestran curvas de crecimiento similares que se caracterizan por tener crecimiento acelerado, especialmente entre los grupos de edad 0 a 7, que disminuye con el tiempo, sin alcanzar en los modelos de Gompertz y logístico de tres parámetros una asíntota (fig. 12a y 12b). La excepción al patrón descrito fue presentada por el

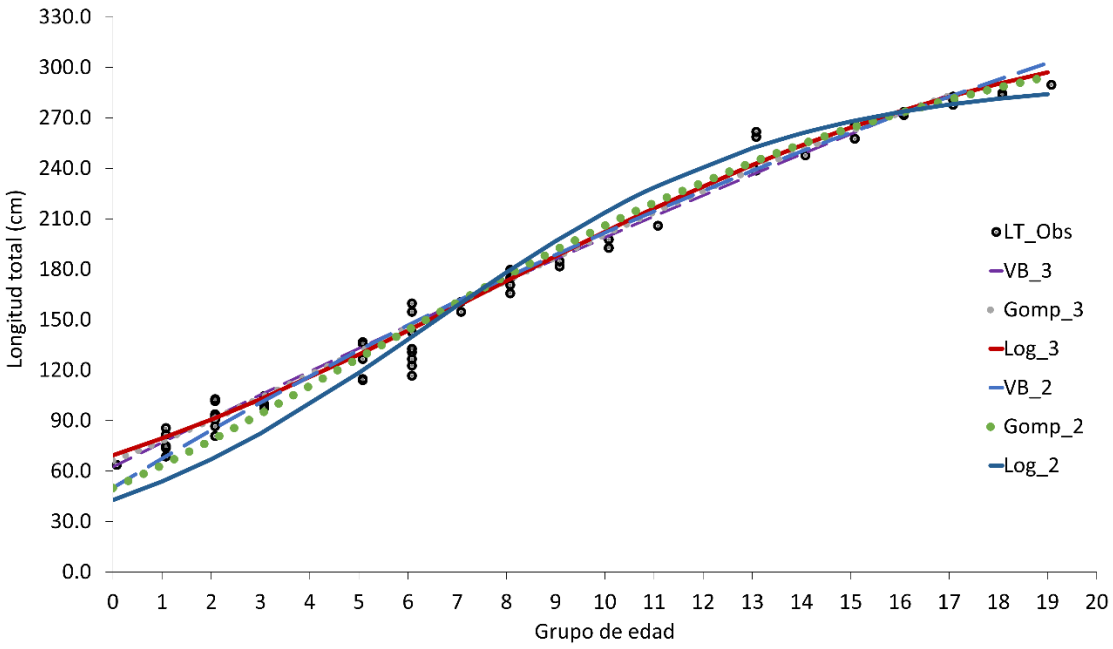
modelo von Bertalanffy de tres parámetros, en el cual se observó un patrón de crecimiento lineal (fig.12a y 12b) con una talla asintótica muy elevada, y los valores de *k* más bajos, especialmente en machos (tabla 1).

En contraste se observa el modelo logístico de dos parámetros, el cual presenta el valor de talla asintótica más bajo y el valor de *k* más alto, tanto en hembras como en machos (tabla 1); gráficamente se observa que en los grupos de edad 0 a 7 la curva cae por debajo de los datos observados, mientras que a partir del grupo de edad 7 ésta se sitúa por encima de los datos observados, hasta finalmente caer en una asíntota en el grupo de edad 16 en hembras y 11 en machos (fig. 12a y 12b).

Tabla 1. Parámetros de crecimiento del modelo von Bertalanffy (VB), Gompertz y logístico de dos y tres parámetros para machos y hembras de *S. zygaena*.

		k **(año^{-1})**	***L*∞ (cm LT)**	***to/∞***	***Lo* (cm LT)**
Hembras	**VB-2**	0.03	608.33		50
	VB-3	0.01	1135.83	-4.16	
	Gompertz-2	0.13	344.31		50
	Gompertz-3	0.09	410.84	6.43	
	Logístico-2	0.28	107.76		50
	Logístico-3	0.18	338.51	7.8	
Machos	**VB-2**	0.06	408.69		50
	VB-3	0	459475.88	-5.6	
	Gompertz-2	0.18	288.36		50
	Gompertz-3	0.07	503.36	8.8	
	Logístico-2	0.37	95.11		50
	Logístico-3	0.16	349.59	8	

a)



b)

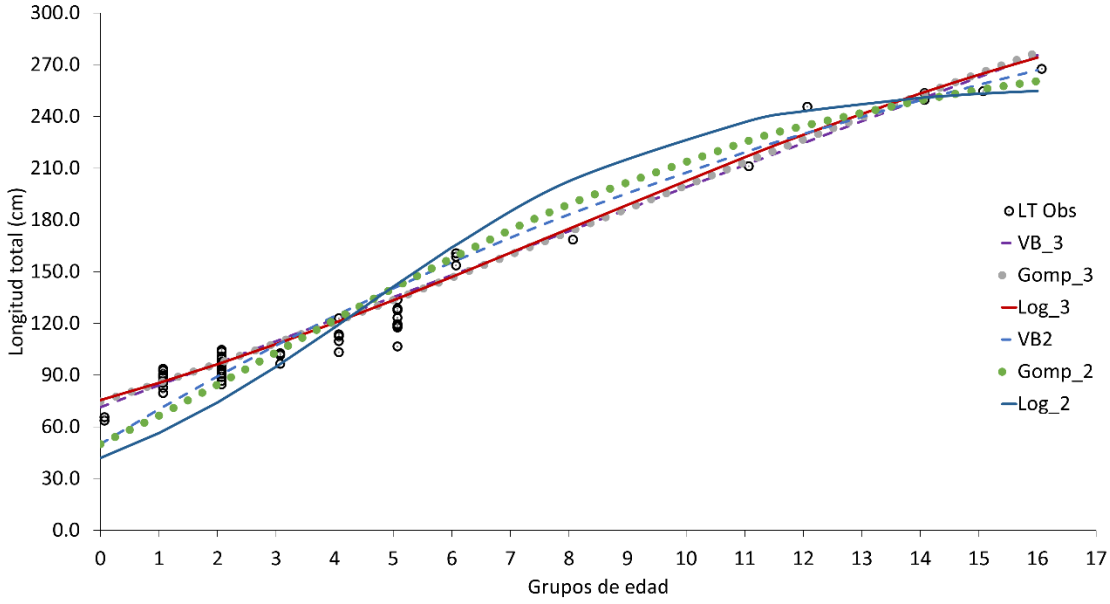


Figura 12. Modelos de crecimiento para hembras (a) y machos (b) de *S. zygaena* donde LT_Obs es la longitud total observada, VB_3 es el modelo von Bertalanffy de tres parámetros, Gomp_3 es el modelo de Gompertz de tres parámetros, Log_3 es el modelo logístico de tres parámetros, VB2 es el modelo von Bertalanffy de dos parámetros, Gomp_2 es el modelo de Gompertz de dos parámetros y Log_2 es el modelo logístico de dos parámetros.

6.6.1 Comparación de modelos

El modelo logístico de tres parámetros presentó el menor valor de AIC_c tanto para hembras como para machos, los valores de Δ y *wi* de AIC_c tanto en machos como hembras indicaron que éste describe adecuadamente el crecimiento de *S. zygaena* (tabla 2). Caso contrario fue el modelo logístico de dos parámetros que presentó el valor más alto de AIC_c en ambos sexos (tabla 2).

Tabla 2. Criterio de información de Akaike, Δ y *wi* de Akaike estimados para los modelos de machos y hembras de *S. zygaena*.

	Modelo	**AIC_c**	Δ	***wi***
Hembras	**Logístico-3**	**705.04**	**0**	**99.71**
	Gompertz-3	716.7	11.66	0.29
	VB-3	733.66	28.61	0
	VB-2	754.53	49.48	0
	Gompertz-2	774.55	69.51	0
	Logístico-2	859.11	154.07	0
Machos	**Logístico-3**	**711.58**	**0**	**97.14**
	Gompertz-3	718.64	7.06	2.85
	VB-3	729.76	18.18	0.01
	VB-2	835.01	123.43	0
	Gompertz-2	867.59	156.01	0
	Logístico-2	954.82	243.24	0

6.6.2 Descripción del crecimiento

Con base en la selección del modelo con el mejor ajuste se obtuvieron las tasas de crecimiento anual (tabla 3). Tanto en hembras como machos se observa un incremento de la tasa de crecimiento hasta el año 7 en hembras y 8 años en machos a partir del cual se empieza a observar una disminución, éste coincide con el punto de inflexión observado (∞) para ambos sexos (tabla 1, tabla 3). Las hembras presentan un crecimiento de 10.2 cm durante el primer año de vida, mientras que los machos crecen 9.98 cm (tabla 3). El crecimiento durante los primeros 7 años en las hembras es de 89 cm, mientras que en machos es de 85 cm.

Se observa que tanto en machos como hembras el 50% de la L_∞ se alcanza a los 7 años, mientras que el 75% a los 13 años (tabla 3).

Tabla 3. Longitud total y tasa de crecimiento estimadas para hembras y machos de *S. zygaena* en la costa occidental de Baja California Sur.

Edad (años)	Hembras			Machos		
	LT cm (Estimada)	Crecimiento anual (cm)	% Linf	LT cm (Estimada)	Crecimiento anual (cm)	% Linf
0	69.3	10.2	20.8	75.6	10.0	23.2
1	79.4	11.1	23.8	85.5	10.8	26.5
2	90.6	12.1	27.2	96.4	11.6	30.0
3	102.7	12.9	30.8	108.0	12.4	33.8
4	115.61	13.7	34.7	120.4	13.0	37.8
5	129.3	14.3	38.8	133.4	13.5	41.9
6	143.5	14.6	43.0	147.0	13.9	46.2
7	158.2	14.81	47.4	160.8	14.1	50.5
8	173.0	14.75	51.9	174.9	14.1	54.9
9	187.8	14.5	56.3	188.9	13.9	59.1
10	202.2	14.0	60.6	202.8	13.5	63.2
11	216.2	13.3	64.8	216.3	13.0	67.1
12	229.5	12.5	68.8	229.3	12.4	70.7
13	242.1	11.6	72.6	241.7	11.6	74.1
14	253.7	10.6	76.0	253.3	10.8	77.2
15	264.3	9.6	79.2	264.2	10.0	80.0
16	274.0	8.7	82.1	274.1		82.6
17	282.6	7.7	84.7			
18	290.3	6.8	87.0			
19	297.1	4.7	89.1			

VII. DISCUSIÓN

7.1 Estructura de tallas

Para *S. zygaena* se han registrado longitudes totales entre 50 a 400 cm (Compagno 1995 *et al.* 2015, Robertson y Allen 2015), en el presente estudio se registraron tallas dentro del intervalo reportado con longitudes entre 55 a 305 cm LT, estos valores fueron más amplios a los reportados previamente por Garza (2004) para la zona de estudio (108 a 283 cm LT); y por Falconi (2015) para aguas del Ecuador (52 a 283 cm LT). En este estudio se lograron obtener organismos desde neonatos a adultos, lo cual pudo deberse al uso de dos artes de pesca diferentes, trasmallo y palangre, los que permiten la captura de organismos de diferente tamaño y en diferentes zonas, con la captura de organismos más pequeños usando redes y organismos más grandes con el palangre (Cortés 2000).

Las diferencias significativas entre las tallas de machos y hembras observadas en este estudio, con hembras más grandes que los machos, también fue observado en otros estudios para la especie en el Golfo de California (Nava y Márquez-Farías 2014), Baja California Sur (Garza 2004), Ecuador (Falconi 2015) y océano Atlántico (Coelho *et al.* 2011 y Rosa *et al.* 2017). La diferencia en tallas entre sexos es una característica común en elasmobranquios, ya que estos en su mayoría presentan dimorfismo sexual marcado donde las hembras alcanzan tallas mayores que los machos de una misma edad o estado de madurez (Branstetter 1987, Hoenig y Gruber 1990). Cortés (2000) menciona que estas diferencias son parte de una adaptación a la viviparidad, pues a medida que aumenta la longitud, mayor es la cavidad abdominal, y, por ende, puede haber un mayor número de crías, o bien, pocas crías, pero de mayor tamaño.

La proporción sexual encontrada fue similar a la obtenida por Garza (2004), quien también observó un mayor número de hembras que machos; caso contrario fue lo obtenido por Falconi (2015) con una mayor cantidad de machos que hembras. Si bien se conoce poco acerca del comportamiento de *S. zygaena*; se sabe que una característica general de las poblaciones de elasmobranquios es la segregación por

sexos, en la familia Sphyrnidae ésta puede ocurrir por comportamientos reproductivos donde las hembras se acercan a la costa a expulsar a sus crías (Klimley 1987, Cortés 2000), por lo que lo observado en este estudio podría relacionarse a este aspecto, ya que se observa la presencia de mayor número de hembras maduras que machos maduros; al acercarse a la costa las hembras se vuelven más vulnerables a ser capturadas por la pesca; sin embargo, este aspecto deberá ser profundizado de mayor forma en futuros estudios.

De acuerdo con Nava y Márquez-Farías (2014), la madurez sexual de *S. zygaena* en el Golfo de California se alcanza a los 200 cm LT en hembras y 193.7 cm LT en machos, considerando esto, el mayor porcentaje de organismos analizados correspondió a juveniles. La dominancia de los organismos, machos y hembras, entre los 85 a 175 cm LT también fue observada por Falconi (2015) y Garza (2004), lo cual puede estar relacionado a las artes y zonas de pesca utilizados, ya que en los tres estudios el arte de pesca utilizado principalmente fue el trasmallo con faenas de pesca en aguas costeras y someras. Ochoa-Díaz (2009) observó para *S. zygaena* en el Golfo de California y costa occidental de B.C.S. que de acuerdo con el hábitat de las presas los tiburones juveniles se alimentan durante la noche y cerca de la costa mientras que los adultos lo hacen en zonas más profundas y oceánicas. De la misma manera, Bolaño (2009) observó de manera similar en aguas ecuatorianas que los juveniles *de S. zygaena* se distribuyen en aguas cercanas a la costa debido a la disponibilidad de presas y la reducción de depredación intra e interespecífica (Muñoz-Chapuli 1984). Dichas agregaciones en zonas costeras los vuelve más vulnerables a su captura con trasmallo. Caso contrario fue lo registrado por Coelho *et al.* (2011) y Rosa *et al.* (2017) en el océano Atlántico donde la mayoría de los organismos capturados corresponden a adultos, los cuales provienen de la captura comercial con palangre. La presencia de organismos maduros de la especie en aguas oceánicas podría relacionarse con sus requerimientos alimenticios, ya que los individuos al incrementar su talla necesitan presas con más valor energético, las cuales consiguen a medida se alejan de la costa (Bolaño 2009), por lo que su captura con palangre es más probable.

Este comportamiento podría explicar la poca representatividad de tallas de organismos grandes en este estudio, ya que la mayoría de las muestras provienen de la pesca artesanal en zonas no tan alejadas de la costa.

El mayor porcentaje de machos juveniles obtenidos podría relacionarse a comportamiento migratorio, en otras especies de tiburón martillo, como *S. lewini,* se observó que las hembras migran lejos de la costa a mayores profundidades y a tallas menores que los machos con el objetivo de mejorar su alimentación, tener un crecimiento más acelerado y alcanzar mayores tallas (Klimley 1987), por lo que sus capturas con trasmallo en zonas costeras se vuelven menores a medida que incrementa su talla; mientras que el mayor porcentaje de hembras adultas se puede relacionar al comportamiento reproductivo donde las hembras maduras se acercan a la costa para parir sus crías (Castro 1993), siendo más vulnerables a la pesca.

7.2 Relación entre la longitud total (LT) y el radio de la vértebra (RV).

La relación entre el crecimiento de la vértebra y el crecimiento corporal fue lineal y significativo sin encontrar diferencias entre machos y hembras, lo que indica que la vértebra crece en función de la talla del organismo. Lo anterior ha sido reportado por Garza (2004) y por Coelho *et al.* (2011), este último utilizó la longitud furcal en lugar de la longitud total de los individuos, sin embargo, la relación obtenida fue lineal y significativa sin diferencias entre sexos. De manera similar se observa una relación lineal en otras especies del mismo género como *S. lewini* (Branstetter 1987, Piercy *et al.* 2007, Kotas *et al.* 2011) y *S. tiburo* (Carlson y Parsons 1997).

Otros autores reportan diferencias entre machos y hembras en el tipo de relación entre la longitud total y los radios vertebrales de *S. zygaena*, tal es el caso de Falconi (2015) quien para aguas del Ecuador obtiene una relación logarítmica para machos y lineal para hembras, Rosa *et al.* 2017 para muestras del Atlántico determinó que la ecuación que mejor describía la relación para machos y hembras fue la cuadrática. A pesar de lo anterior, ambos autores utilizan relaciones lineales para la

obtención de las tallas a edades pretéritas y no profundizan en las relaciones no lineales.

La mayor dispersión en la relación RV-LT observada a partir de los 120 cm LT podría indicar variaciones en los tamaños de vértebras en organismos de tallas similares como efecto del muestreo. Se conoce que a lo largo de la columna vertebral el tamaño de la vértebra varía encontrando las más grandes en la región torácica y las más pequeñas en el área caudal (Cailliet y Goldman 2005). La recolección de las vértebras para este estudio se obtuvo de la región dorsal (mayor tamaño); sin embargo, en algunas ocasiones, debido a dificultades en el muestreo, se obtuvieron vértebras cercanas a la región cefálica (menor tamaño), especialmente en los organismos de mayor talla, lo anterior se pudo ver reflejado en la variación del radio de la vértebra presente en la relación en los individuos de tallas similares; sin embargo, a pesar de esto se obtuvo una relación lineal y significativa lo que indica que la vértebra crece en función de la talla del organismo. Esta dispersión también se observó en el tiburón de arena, *Odontaspis taurus,* y se atribuyó a efectos del muestreo, sin embargo, la relación obtenida fue lineal y significativa (Branstetter y Musick 1994).

La obtención de una relación entre el RV-LT permite utilizar las vértebras para la estimación de las tallas a edades previas mediante el retrocálculo (Campana 1990), éste es muy útil cuando el tamaño de muestra es pequeño y hay ausencia de los organismos más jóvenes (Smart *et al.* 2013); sin embargo, en este trabajo no fue necesario debido a que el mayor porcentaje de individuos fueron juveniles.

7.3 Determinación de la edad

Campana (2001) menciona que no hay un valor designado de precisión *a priori* en los estudios de edad debido a que la precisión no está influenciada sólo por el lector sino, además, por la especie y la naturaleza de la estructura. En este sentido, el autor sugiere valores de referencia para el CV y PEP de 7.6% y 5%, respectivamente, aunque menciona que en la mayoría de los estudios de edad en

tiburones toman valores no mayores al 10%. En este estudio los valores interlector obtenidos (CV=4.84%, PEP=7.96%) indican que las estimaciones realizadas fueron consistentes y parecen adecuadas para la especie, asimismo, el CV (4.91%) y PEP (3.78%) intralector muestra una alta precisión entre lecturas. Al comparar los valores de CV y PEP entre la primera y tercera lectura; y entre la segunda y tercera lectura se observó que los valores de CV y PEP presentaron una disminución, la cual puede estar asociada al proceso de aprendizaje al momento de realizar las lecturas, lo que permitió mejorar la precisión en las estimaciones.

7.4 Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento

Para el análisis de porcentaje de bordes únicamente se contó con seis meses: dos de primavera, dos de verano y dos de otoño. La falta de un año tipo completo en la mayoría de los estudios de edad en tiburones es un aspecto común por la dificultad en la obtención de las muestras, lo que resulta en no tener representado el ciclo completo de la formación de las marcas de crecimiento (Zarate-Rustrián 2010). Campana (2001) recomienda al menos un periodo de muestreo de dos años para que los resultados se validen adecuadamente. A pesar de ello, el patrón observado en el presente estudio sugiere la formación de una marca de crecimiento anual con una tendencia a que la marca de crecimiento se terminaría de formar en los meses de verano.

La formación de las bandas de crecimiento se ha asociado a diversos factores que provocan cambios en el metabolismo inducidos por la temperatura, el fotoperiodo, la disponibilidad de alimento, entre otros (Branstetter 1987a, Cailliet 1990, Casselman 1992, Goldman 2005). La relación entre la temperatura y la formación de las bandas se observó en este estudio con la presencia de un mayor porcentaje de bordes translúcidos en primavera, donde la temperatura superficial del mar es más fría, y de opacos en otoño, donde la temperatura superficial del mar es más cálida. La presencia de bandas translúcidas en temperaturas más frías se ha atribuido a una disminución en el crecimiento y a una reducción en la incorporación de minerales en la estructura, lo que produce una banda más angosta

y clara; caso contrario ocurre en las bandas opacas asociadas a temperaturas más cálidas donde las condiciones son más favorables para el crecimiento de los organismos, lo cual se refleja en las estructuras como bandas más densas y anchas (Branstetter 1987a).

De manera similar a este estudio Falconi (2015) y Garza (2004) encontraron un patrón anual en la formación de las marcas de crecimiento para aguas del Ecuador y costa occidental de Baja California Sur, respectivamente. Para el Océano Atlántico Coelho *et al.* (2011) y Rosa *et al.* (2017) no realizaron la validación de las marcas, pero ambos asumieron la formación anual de ellas. Este patrón anual también ha sido reportado para *Sphyrna tiburo* (Parsons 1993), *Sphyrna mokarran* (Passerotti *et al.* 2010, Piercy *et al.* 2010) y *Sphyrna lewini* (Branstetter 1987); sin embargo, para esta última se ha reportado la formación de dos bandas de crecimiento al año, una en verano y otra en invierno (Chen *et al.* 1990, Anislado-Tolentino y Robinson–Mendoza 2001, Anislado-Tolentino *et al.* 2008 y Zarate-Rustrián 2010).

Otro método para evaluar la periodicidad anual de las marcas es el análisis del índice de incremento marginal (IIM), éste se enfoca en el patrón de incremento de los pares de bandas a través de un año (Campana 2001, Goldman 2004). En el caso del presente estudio el IIM no mostró un patrón claro de periodicidad. El IIM se acompañó de la prueba de Okamura para probar estadísticamente la periodicidad de formación de las marcas; sin embargo, el resultado de la prueba mostró que no existe un ciclo definido. Los resultados anteriores pueden relacionarse a la poca representatividad de muestras en algunos meses y a la ausencia de los seis meses restantes del año.

7.5 Estructura de edades

La estructura de edades que se obtuvo en el presente trabajo es similar a la reportada para la zona de estudio (Garza 2004); sin embargo, en aguas del Ecuador Falconi (2015) reporta edades menores para hembras y machos, a pesar de tener un intervalo de tallas similar a este estudio, con edades de 3 a 17 años y 3 a 11

años, respectivamente; además no encontró organismos menores a los 3 años, estas diferencias entre ambos estudios podrían relacionarse a que las muestras provienen de organismos de dos poblaciones diferentes, una al norte del Ecuador y la otra al sur (Bolaño 2016); además de posibles diferencias en la técnica de lectura, Falconi (2015) utilizó tinción de rojo de Alizarina y no se contaron con embriones para verificar la formación de la marca de nacimiento, mientras que en este estudio las lecturas se realizaron sin tinción alguna y se contaron con embriones que permitieron corroborar la formación de la marca de nacimiento permitiendo identificarla en las vértebras de los demás organismos. Contrario al presente estudio, en aguas del Atlántico ecuatorial, se encontraron organismos más viejos con edades de 4 a 21 años en hembras y 4 a 18 años en machos (Coelho *et al.* 2011); y, de 3 a 24 años en hembras y 3 a 25 años en machos (Rosa *et al.* 2017).

Las diferencias encontradas en los grupos de edad de las muestras provenientes de la pesca artesanal en zonas costeras (Garza 2004, Falconi 2015 y presente estudio) y de la pesca comercial en zonas oceánicas (Coelho *et al.* 2011 y Rosa *et al.* 2017) se podría relacionar con el comportamiento migratorio de algunas especies de tiburón martillo donde los tiburones pre-adultos y adultos de ambos sexos buscan zonas lejos de la costa para alimentarse, madurar sexualmente y posteriormente reclutarse en las zonas de reproducción cerca de la costa (Zarate-Rustrián 2010), lo que nos indicaría que los organismos más longevos se encuentran alejados de la costa.

Las diferencias significativas en la estructura de edades entre sexos con hembras de mayor edad que los machos es una característica observada en tiburones, donde las hembras tienden a vivir más que los machos y alcanzan tallas mayores (Cortés 2000). Esta diferencia ha sido observada en otras especies del mismo género con edades máximas de 6 años en hembras y 5 años en machos de *S. tiburo* (Carlson y Parson 1997), 18.6 años en hembras y 8.8 años en machos de *S. lewini* (Anislado-Tolentino y Robinson-Mendoza 2001) y 44 años en hembras y 42 años en machos de *S. mokarran* (Piercy *et al.* 2010).

El mayor porcentaje de individuos de ambos sexos corresponden a organismos con edades entre 1 a 8 años, esta dominancia en los grupos de edad coincide con lo observado en la estructura de tallas. Falconi (2015) y Coelho *et al.* (2011) registran una alta incidencia de edades mayores a las reportadas en este estudio con grupos de edad entre los 6 y 10 años. En contraste, Garza (2004) reporta que sus grupos de edad dominantes son más jóvenes con 2 y 3 años. Esta diferencia entre las proporciones de los grupos de edad es común en los estudios de edad y crecimiento debido a que las muestras que provienen de la pesca rara vez incluyen todos los grupos de edad ocasionado por el uso de diferentes artes de pesca y a la distribución de la especie en diferentes hábitats a diferentes edades, lo que conlleva a que únicamente se incluyan en mayor proporción a los organismos viejos o jóvenes (Ricker 1979). La tendencia muestra que en la zona de estudio las mayores capturas se realizan sobre organismos jóvenes que aún no alcanzan la madurez sexual.

7.6 Crecimiento individual

Como se mencionó anteriormente las estimaciones del crecimiento tiene importantes aplicaciones en las evaluaciones de stock y, por ende, en el manejo de los recursos. En este sentido, debido a los beneficios que ofrece el enfoque multimodelo, se decidió aplicar en el presente estudio ya que permite evaluar el mejor ajuste de los modelos sin utilizar una selección *a priori.*

Los modelos de crecimiento ajustados se seleccionaron por ser los más comunes en estudios de edad y crecimiento de elasmobranquios; además de ofrecer formas de curvas contrastantes, lo cual ha sido recomendado con el objetivo de obtener estimaciones más apropiadas a los datos (Smart *et al.* 2016). El modelo de von Bertalanffy es el más utilizado en pesquerías lo que permite la comparación entre especies y poblaciones; sin embargo, no siempre ofrece estimaciones adecuadas a los datos de talla a la edad (Katsanevakis 2006).

Actualmente los estudios de edad y crecimiento de *S. zygaena* han aplicado únicamente el modelo von Bertalanffy de tres parámetros (Garza 2004, Falconi 2015) y de dos y tres parámetros (Coelho *et al.* 2011 y Rosa *et al.* 2017). Con base en los criterios establecidos por Branstetter (1990) para las constantes de crecimiento de von Bertalanffy se determinó que el crecimiento de la especie para ambos sexos en la zona de estudio es intermedio (Garza 2004), mientras que para aguas del Ecuador y océano Atlántico es lento (Coelho *et al.* 2011, Falconi 2015, Rosa *et al.* 2017). Sin embargo, lo obtenido en este estudio, tanto en machos como hembras, nos indica que el modelo de von Bertalanffy presentó un pobre ajuste con valores de $L\infty$ sin significado biológico para la especie, especialmente en von Bertalanffy de tres parámetros para hembras ($L\infty$=1135.83 cm LT) y machos ($L\infty$=459475.69 cm LT). Goldman (2005) menciona que el modelo de von Bertalanffy es particularmente sensible a la poca representatividad de organismos pequeños o grandes, lo que puede causar pobres estimaciones de los parámetros. Por lo que los altos valores obtenidos en el presente estudio pueden deberse a la falta de organismos adultos, principalmente en los machos, por lo que el modelo no logra alcanzar la asíntota y arroja valores extremadamente altos de $L\infty$. En el caso de los valores de *k*, al ser inversamente proporcionales al valor de $L\infty$, fueron bajos en hembras y machos categorizando el crecimiento como lento.

En el caso de los modelos sigmoideos el modelo que presentó el peor ajuste fue el logístico de dos parámetros seguido del modelo de Gompertz de dos parámetros y tres parámetros. La incorporación de los modelos con valores fijos de L_o ha sido utilizado como técnica para corregir las estimaciones de crecimiento en las clases de talla de los juveniles y ajustar de esta forma la trayectoria del modelo (Cailliet *et al.* 2006, Coelho *et al.* 2011); sin embargo, Pardo *et al.* (2013) recomiendan evitar este tipo de modelos, debido a que puede limitar el ajuste a los datos, agregar error a las estimaciones de crecimiento e introducir error a los resultados del AIC. En el presente estudio los modelos de dos parámetros utilizados tuvieron también un bajo ajuste, el valor de $L\infty$ estimado fueron demasiado pequeños para la especie, tanto en hembras ($L\infty$=107.76 cm LT) como machos ($L\infty$=95.11 cm LT).

El modelo que presentó el mejor ajuste fue el logístico de tres parámetros para ambos sexos, con base en esto no fue necesario realizar una inferencia multimodelo debido a que un único modelo fue el que presento un ajuste con un peso de Akaike >90% (Katsanevakis y Maravelias 2008). De igual manera se ha observado que este modelo también fue el que mejor describió el crecimiento en machos y hembras de *Carcharhinus brevipinna* (Carlson y Baremore 2005), *C. sorrah* (Harry *et al.*2013) y *C. melanopterus* (Chin *et al.* 2013).

Robertson y Allen (2015) menciona que la especie puede alcanzar longitudes totales de hasta 350 cm LT, los valores de $L\infty$obtenidos por el modelo logístico de tres parámetros son cercanos a lo reportado en la literatura para hembras ($L\infty$= 338.51 cm LT) y machos ($L\infty$= 338.51 cm LT); mientras que los valores de k son mayores en hembras (k=0.18) que en machos (k=0.16). Los parámetros estimados contrastan con lo reportado por Cortés (2000), quien registra que las hembras alcanzan tallas máximas mayores y crecen más lento que los machos. Esta discrepancia puede deberse a que los modelos de crecimiento son muy sensibles a los datos en las clases de tallas más pequeñas y grandes de la curva de crecimiento, el no contar con las clases de talla más grandes son difíciles de compensar y actualmente no existen técnicas para sustituir estos datos (Haddon 2011, Smart *et al.* 2016), por lo que la poca representación de los organismos más viejos, especialmente en machos, pudo ocasionar que el ajuste del modelo no sea del todo adecuado y las estimaciones de los parámetros podrían no ser precisas. Por lo anterior, Musick y Bonfil (2004) mencionan la importancia de tener un buen número de muestras con todas las clases de tallas representadas.

Carlson y Baremore (2005) mencionan que el crecimiento en tiburones puede estar representado por dos fases: Crecimiento rápido en organismos juveniles seguido por un crecimiento más lento en adultos, por lo que los modelos bifásicos podrían ser más apropiados en especies que viven varios años, el modelo logístico puede ser considerado como un modelo de dos fases que puede describir cambios en el crecimiento; dicho cambio se representa por el punto de inflexión (∞), si éste

tiene un valor diferente de cero entonces tendría un significado biológico ya que representa la edad donde ocurre un cambio en la tasa de crecimiento que puede asociarse a aspectos como reproducción, cambios de hábitat o alimentación (Thorson y Simpfendorfer 2009, Smart *et al.* 2016). El punto de inflexión en el presente estudio en hembras fue de 7.8 años y en machos de 8 años, dichos cambios en la tasa de crecimiento de *S. zygaena* podría estar asociado a aspectos reproductivos donde ocurriría un redireccionamiento de energía hacia la madurez sexual del organismo en vez del crecimiento, lo que provoca una disminución de la tasa de crecimiento (Cortés 2000). Nava y Márquez-Farías (2014) reportan para el Golfo de California una talla de madurez de 200 cm LT en hembras y 193.7 cm LT en machos, lo que, de acuerdo con este estudio, representaría edades de 10 y 9 años, respectivamente. El punto de inflexión se encuentra más cercano a la edad de madurez de machos que de hembras, sin embargo, es necesario poder estimar la talla de madurez para la especie en la zona de estudio con el objetivo de corroborar si existen diferencias en las tallas de madurez entre los organismos del Golfo de California y del océano Pacífico; además de verificar la estimación de los parámetros.

Debido al comportamiento del modelo logístico las tasas de crecimiento obtenidas en el presente estudio no muestran una disminución lineal del crecimiento, a diferencia de las tasas obtenidas por Garza (2004) y Falconi (2015) mediante el modelo von Bertalanffy, donde observan una disminución continua de entre 15 a 10 cm/año y de 10 a 5 cm/año, respectivamente. Como se mencionó anteriormente la presencia del punto de inflexión en los modelos sigmoideos marca el cambio en la tasa de crecimiento, esto pudo observarse en el crecimiento anual de los organismos donde se observó que antes del punto de inflexión el crecimiento en ambos sexos incrementó y, posterior a este punto los valores disminuyeron, con crecimientos anuales que variaron de 11.1 cm/año durante el primer año y 14.8 cm/año entre el sexto y séptimo año a una reducción de 6.8 cm/año entre los 17 y 18 años en hembras; y de 10.1 cm/año en el primer año y 14.05 cm/año del séptimo al octavo año a una reducción de 9.9 cm/año de los 14 a 15 años en machos.

VIII. CONCLUSIONES

La diferencia de la estructura de tallas entre sexos de *Sphyrna zygaena* se debe al dimorfismo sexual que presenta la especie, con hembras más grandes que los machos, lo que les permite tener mayor número de crías de mayor tamaño.

La proporción sexual de *S. zygaena* (mayor número de hembras que machos) podría relacionarse a una segregación por sexos debida a comportamiento reproductivo de las hembras al acercarse a expulsar a sus crías en zonas cercanas a la costa lo que las vuelve más vulnerables a la pesca.

Existe una relación lineal significativa entre la longitud del organismo y el radio de la vértebra, lo que nos indica que la estructura crece en proporción al cuerpo del individuo.

De acuerdo con el análisis de borde se sugiere que la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento es anual, con la tendencia a formar bandas opacas en los meses de verano-otoño y translúcidas en invierno-primavera.

Las hembras presentaron una longevidad mayor que los machos con 19 y 17 años, respectivamente. Sin embargo, en ambos sexos se observó la dominancia de los grupos de edad más jóvenes.

El crecimiento individual de machos y hembras fue descrito adecuadamente por el modelo logístico de tres parámetros.

Los parámetros de crecimiento estimados para hembras indican que esta tiene un crecimiento más rápido y alcanza tallas mayores que los machos.

El punto de inflexión obtenido por el modelo indica un cambio en el crecimiento a los 7.8 años en hembras y 8 años en machos, que pudiese estar relacionado con el proceso de madurez sexual de la especie.

La tasa absoluta de crecimiento por año es mayor para las hembras que para machos durante los primeros años de vida. En ambos sexos el 50% de la L_∞ se alcanza a los 7 años, mientras que el 75% a los 13 años.

IX. RECOMENDACIONES

Es necesario obtener muestras representativas de organismos, machos y hembras, neonatos, juveniles y adultos. Esto podría realizarse mediante la recolecta complementaria de muestras de organismos provenientes de la pesca artesanal y de la pesca de mediana altura del océano Pacífico.

Es importante estandarizar la región de extracción de las vértebras para permitir comparaciones más precisas y válidas entre individuos en una población y entre poblaciones. Se recomienda utilizar vértebras de la región dorsal cercanas a la primera aleta dorsal, puesto que se ha observado que estas son las que presentan un mayor tamaño lo que facilitaría la toma de medidas y lecturas de las marcas.

Es necesario realizar la validación de la formación de las marcas de crecimiento, para lo que se recomienda el marcaje químico y captura y recaptura de los individuos. En caso de no ser posible se recomienda contar con un año tipo con muestras representativas en todos los meses que permita verificar la formación de las marcas mediante análisis como el Incremento Marginal y/o prueba de Okamura.

Se recomienda el uso del enfoque multimodelo ya que, si bien el modelo von Bertalanffy es el más utilizado, no siempre es el que describe de mejor forma los datos a la edad de algunas especies, lo que podría llevar a estimaciones de los parámetros poco precisas. Además, el aplicar diferentes modelos de crecimiento permite comparar los parámetros obtenidos entre diferentes estudios de edad y crecimiento de individuos de una misma población o entre poblaciones.

Es importante contar con estudios complementarios acerca de la biología reproductiva de la especie, así como información sobre sus movimientos mediante el marcaje. Lo anterior ayudaría a aclarar algunos de los resultados obtenidos con los análisis de edad y crecimiento, así como poder plantear planes de manejo más adecuados para la especie en la zona de estudio.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar F., X. Chalén & C. Villón. 2005. Plan de acción nacional de tiburones. Instituto Nacional de Pesca. Quito, Ecuador.

Álvarez-Arellano, A. 1987. Aspectos oceanográficos del Golfo de Califo*rnia. Serie d*idá*ctica. A.4.* UABCS*. 37* pp.

Álvarez-Borrego S, J. Rivera, G. Gaxiola-Castro, M. Acosta-Ruiz & R. Schwartzlose. 1978. Nutrientes en el Golfo de California. Cienc. Mar. 5:53-71.

Anislado T. V. 1995. Determinación de la Edad y Crecimiento en el Tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffit y Smith, 1834) en el Pacífico Central Mexicano. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM, México.68 p.

Anislado-Tolentino V. & C. Robinson-Mendoza. 2001. Edad y crecimiento del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (griffith y Smith, 1834) en el Pacífico central de México. Ciencias Marinas. 4(27):501-520.

Anislado-Tolentino V., M. Gallardo-Cabello, F. Amezcua-Linares & C. Robinson-Mendoza.2008. Age and growth of the scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) from the southern coast of Sinaloa, Mexico. Hidrobiológica. 18(1):31-40.

Applegate S. P., L. Espinosa, L. B. Menchaca & F. Soltelo. 1979. Tiburones mexicanos. Subsecretaria de Educación e investigación. Dirección General de Ciencia y Tecnología del Mar. México.146 pp.

Applegate S.P., Soltelo-Macías, F. & I. Espinosa-Arrubarrena. 1993. An overview of Mexican shark fisheries, with suggestions for shark conservation in Mexico. *En*: S. Branstetter (Ed.). Conservation Biology of Elasmobranchs. NOAA Technical Report NMFS, 115: 31-38.

Bass A. J., J D D'Aubrey & N. Kistnasamy. 1975. Sharks of the east coast of Southern Africa. III. The families Carcharhinidae (excluding *Mustelus* and *Carcharhinus)* and Sphyrnidae. South African Association for Marine Biological Research. Oceanographic Research Institute. Investigational Reports.

Baum K. J., A.R. Myers, D.G. Kehler, B.Worm, S.J. Harley & P.A. Doherty. 2003. Collapse and Conservation of Shark Populations in the Northwest Atlantic. Science. 299: 389-392.

Beamish R.J. & D.A. Fournier. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 38:982–983.

Betancourt J.C.C., C.E. Ramírez & J.L. Castillo. 2013. Catálogo de aletas, tronchos y cabezas de tiburones en el Pacífico Mexicano. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Pesca. 64 p.

Bolaño N. & F. Galván. 2007. Hábitos alimentarios en juveniles de *Sphyrna zygaena* Linnaeus 1758 (Chondricthyes: Sphyrnidae) en Santa Rosa de Salinas, Ecuador. En: Tiburones en ecuador: Casos de estudio. Pp. 57-65. EPESPO-PMRC, Manta, Ecuador

Bonfil R. 1994. Overview of world elasmobranch fisheries. FAO Fisheries Technical Paper No. 341. Roma.

Bonfil R.S., D. De Anda, F., & R. Mena, A. 1990. Shark fisheries in México: The case of Yucatán as an example. In: Pratt H.L., S.H. Gruber y T. Taniuchi (eds). 1990. Elasmobranch as living resources: advances in the biology, ecology, systematics, and the status of the fisheries. NOAA Technical Report NMFS. 90:518 p.

Burnham K.P. & D.R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information theoretic approach. Springer. New York. 488p.

Branstetter S. 1987. Age, growth and reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis,* and the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini,* from the northwestern Gulf of Mexico. Enviromental Biology of Fishes. 19(3):161-173.

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.* Copeia. 1987(2). 291-300.

Branstetter, S.D. (1990). Early life-history implications of selected carcharhinoid and lamnoid sharks of the Northwest Atlantic. 17–28. H.L. Pratt Jr., S.H. Gruber y T. Taniuchi. (Eds). Elasmobranchs as living resources: Advances in biology, ecology, systemaics and status of fisheries US. Dep. Commer. NOAA. Tech. Rep. NMFS. 90.

Branstetter S. & J.A. Musick. 1994. Age and growth estimates for the sand tiger in the northwestern Atlantic Ocean. Transactions of the American Fisheries Society. 123:242-254.

Branstetter S., J.A. Musick & J.A. Colvocoresses. 1987. A comparison of the age and growth of the tiger shark, *Galeocerdo cuvier*, from off Virginia and from the Northwestern Gulf of Mexico. Fish.Bull. 88(2):269-279.

Briones J. & J. Armijos. 2012. Edad y crecimiento del tiburón azul *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) en la zona del Pacífico Ecuatoriano. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Facultad de Ciencias del Mar Biología Pesquera. Tesis de grado previa a la obtención del título de Biólogo Pesquero. Manta, Ecuador. 74 pp.

Cailliet G.M. 1990. Elasmobranch age determination and verification: an updated review. In H.I. Pratt, S.H. Gruber y T. Tamiuchi (eds) Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematics and the Status of the Fisheries. NOAA Tech. Report. 90 157-165.

Cailliet, G. M. & K. J. Goldman. 2004. Age Determination and Validation in Chondrichthyan Fishes. In: Carrier, J. C., J. A. Musick & M. R. Heithaus (Eds.) Biology of Sharks and Their Relatives. CRC Press, Boca Raton, London, USA. 339-340.

Cailliet G.; L. Martin; D. Kusher; P. Wolf & B. Welden. 1983. Techniques for enhancing vertebral bands in age estimation of California elasmobranchs. Proceedings International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: tunas, billfishes, sharks. 157-165 p.

Cailliet G. M., R. L. Radtke & B. A. Welden. 1986. Elasmobranch age determination and verification: a review. En Indo-Pacific Fish Biology: Proceedings of the Second International Conference on Indo-Pacific Fishes, Ichthyological Society of Japan, Tokyo. 345-359 p.

Cailliet, G.M., W.D. Smith, H.F. Mollet & K.J. Goldman. 2006. Age and growth studies of chondrichthyan fishes: the need for consistency in terminology, verification, validation, and growth function fitting. Environmental Biology of Fishes 77, 211–228.

Camhi M., S.L. Fowler, J.A. Musick, A. Bräutigam & S.V. Fordham. 1998. Sharks and their Relatives – Ecology and Conservation. Gland, Suiza & Cambridge, Reino Unido: IUCN/SSC (Grupo Especialista de Tiburones).

Campana, S. E. 1998. How reliable are growth back-calculations based on otoliths?. Can. J. Fish. Aquat. Sci 47: 221 9-2227.

Campana S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including review of the use and abuse of age validation methods. Journal of Fish Biology, 59:197-242.

Carrera-Fernández M. & J. Martínez-Ortíz. 2007. Aspectos reproductivos de los tiburones martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) y *S. zygaena* (Linnaeus, 1758) en aguas del Ecuador: Casos de estudio. EPESPO-PMRC. 7 p.

Carlson J.K. & G.R. Parsons. 1997. Age and growth of the bonnethead shark, *Sphyrna tiburo*, from northwest Florida, with comments on clinal variation. Enviromental Biology of Fishes. 50:331-341.

Carlson J.K. & I.E. Baremore. 2005.Growth dynamics of the spinner shark (*Carcharhinus brevipinna*) off the United States southeast and Gulf of Mexico coasts: a comparison of methods. Fish. Bull. 103:280-291.

Casselman J.M. 1982 Age and growth assessment of fish from their calcified structures-techniques and tools. Proceedings International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: tunas, billfishes, sharks. 1-17 p.

Castañeda J. & L. Sandoval. 2004. Hábitos alimentarios de los tiburones martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1838) y *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en el Pacífico Ecuatoriano. Bogotá, Colombia. Tesis de grado. Universidad Tadeo Lozano.

Castillo-Geniz J.L. & J. Tovar-Ávila. 2016. Tiburones mexicanos de importancia pesquera en la CITES. Instituto Nacional de Pesca. 56 p.

Castro J.I. 1993. The shark nursery of Bulls Bay, South Carolina, with a review of the shark nurseries of the southeastern coast of the United States. Environmental Biology of Fishes. 38:37-48.

Chang W.Y.B. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 39:1208-1210.

Chen C.; T. Leu; J. Joung & N. Lo. 1990. Age and growth of the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, in Northeastern Taiwan Waters, Pacific Science, 44(2): 156-170.

Chin A., C. Simpfendorfer, A. Tobin & M. Heupel. 2013. Validated age, growth and reproductive biology of *Carcharhinus melanopterus,* a widely distributed and exploited reef shark. Marine and Freshwater Research. http://dx.doi.org/10.1071/MF13017

Clark S.C.2006. Global estimates of shark catches using trade records from commercial markets. Ecology Letters 9(10):1115–1126.

Clement, J.G. 1992. Re-examination of the fine structure of endoskeletal mineralization in chondrichthyans: implications for growth, ageing and calcium homeostasis. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 43:157-181.

Coelho R.; J. Fernandez; S. Amorim & M. Santos. 2011. Age and growth of the smooth hammerhead shark, *Sphyrna zygaena*, in the Eastern Equatorial Atlantic Ocean, using vertebral sections. Aquatic Living Resource, 24: 351-357 p.

Compagno L.J., F. Krupp & W. Schneider. 1995. Guía FAO para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca. Pacífico Centro Oriental. FAO. Vol. 2(1): 646-1200.

Compagno L.J. 2002. FAO species catalogue. Vol. 4. Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2. Carcharhiniformes. FAO Fishes Synopsis, 125 p.

CONAPESCA Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 2003. Anuario Estadístico de Pesca. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), México, 265 pp.

CONAPESCA-INP. 2004. Plan de Acción Nacional para el manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca e Instituto Nacional de la Pesca, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Mazatlán, México. 80 p.

CONAPESCA Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 2014. Anuario Estadístico de Pesca. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), México, 306 pp.

Conrath C. L., J. Gelsleichter & J.A. Musick. 2002. Age and growth. Fish.Bull.100:674-682.

Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES). Apéndices I, II y III. (Consultado: 10 de febrero de 2016, http://www.cites.org/eng/app/appendices.php).

Cortés E. 2000.Life history patterns and correlations in sharks. Reviews in Fisheries Science. 8 (4): 299-344.

Cortés E. 1997. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: Application to elasmobranches fishes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 54:726–738.

Cruz A., S. R. Soriano, H. Santana, C. E. Ramírez & J. J. Valdez. 2011. La pesquería de tiburones oceánicos-costeros en los litorales de Colima, Jalisco y Michoacán. *Rev. Biol. Trop*. 59(2):655-667.

Del Moral-Flores L.F., J.J Morrone, J. Alcocer Durand, H. Espinoza & G. Pérez-Ponce de León. 2015. Lista patron de los tiburones, rayas y quimeras (Chondrichthyes, Elasmobranquii, Holocephali) de México.

Di Lorenzo A., Miller J., Douglas J., Neilson B., Cornuelle D. & Moisan John R. 2004. Modelling observed California Current mesoscale eddies and the ecosystem response. Scripps Institution of Oceanography. Universidad de California, San Diego, La Jolla, California. (25)7-8, 1307-1312 p.

Devries, D. R. & R. V. Frie. 1996. Determination of age and growth. En: Fisheries Techniques, second edition. B.R. Murphy and D.W. Willis (eds.). American Fisheries Society, Bethesda, MD. 483-512 p.

DOF. 2007. NOM-029-PESC-2006. Pesca responsable de Tiburones y Rayas. Especificaciones para su aprovechamiento.

FAO. 2011. Código de Conducta para la Pesca Responsable, Roma, Italia 2011; 108 p. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

Franks P.J.S. 1992. Phytoplanckton blooms at fronts: patterns, scales and physical forcing mechanisms. *Rev. Aqua. Sci.* 6(2): 121-137.

Galván F., H. Nienhuis & A.P. Klimley. 1989. Seasonal abundance and feeding habits of sharks of the lower Gulf of California. California Fish and Game. 75:74-84.

Garza E. 2004. Edad y crecimiento de *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en las costas de Baja California Sur, México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, México.

Goldman K.J. 2005. Age and growth of elasmobranch fishes. En Elasmobranch fisheries management techniques, Musick J.A. y R. Bonfil (eds.). 97-132 p.

Goldman K.J., G.M. Cailliet, A.H. Andrews & L.J. Natanson. 2012. Assessing the age and growth of chondrichthyan fishes. Biology of sharks and their relatives.

González-García M.J. 2001. Revisión Sistemática de Los Tiburones Martillo (Carcharhiniformes: Sphyrnidae). Tesis de Maestría. Instituto de Ecología de Xalapa, México. 183 p.

Griffin E., K.L. Miller, B. Freitas. & M. Hirshfield. 2008. Predators as prey: Why healthy oceans need sharks. Washington DC.

Guzmán-Del Próo S.A., S.R. Mille-Pagaza, R. Guadarrama-Granados, S. De la Campa-De Guzmán, J. Carrillo-Laguna, A. Pereira-Corona, J. Belmar-Pérez, M. De J. Parra-Alcocer & A.C. Luque-Guerrero. 1991. La comunidad bentónica de los bancos de abulón (*Haliotis spp.* Mollusca:gastropoda) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. Esc. Nac. Cienc. Biol. Méx. 36:27-59.

Haddon M. 2011. Modeling and Quantitative Methods in Fisheries. Chapman y Hall/CRC Press. 406 p.

Hayes C.G., Y. Jiao & E. Cortes. 2009. Stock assessment of scalloped hammerhead sharks in the Western North Atlantic Ocean and Gulf of México. North American Journal of Fisheries Management.

Hearn A., E. Utreras & S. Henderson. 2010. Informe sobre el estado de los tiburones del Pacífico Este Tropical, Vol. 1. Quito, Ecuador: Conservación Internacional.

Holden M.J. 1974. Problems in the rational exploitation of elasmobranch populations and some suggested solutions. In: Sea fisheries research. F.R.H. Jones, (ed.) New York, Wiley and Sons. pp. 117-137.

INP. 2010. Sustentabilidad y pesca responsable en México: evaluación y manejo. SAGARPA. México. 544 p.

Katsanevakis, S. 2006. Modelling fish growth: Model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. Fisheries Research 81, 229–235.

Katsanevakis, S. & C.D. Maravelias. 2008. Modelling fish growth: multimodel inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. Fish and Fisheries 9, 178–187.

Kimura D. K. 1980. Likelihood methods for the von Bertalanffy Growth curve. Fishery Bulletin. (77): 765-776.

Klimley P.A. 1987. The determinants of sexual segregation in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini.* Environmental Biology of Fishes. 18(1):27-40.

Kotas J.E. V. Mastrochirico & J.M Petrere. 2011. Age and growth of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini* (Griffith and Smith, 1834), from the southern Brazilian coast. Braz.J.Biol. 71(3):1-7.

Loor A.P:J. 2013. Ecología trófica de los tiburones martillos *Sphyrna lewini* y *Sphyrna zygaena* en el Pacífico ecuatoriano basada en isótopos estables. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 82 p.

Márquez J. 2001. Tiburones en el golfo de California. Sustentabilidad y pesca responsable en México, 1999-2000. Instituto Nacional de Pesca – SAGARPA. 237-258 pp.

Márquez-Farías J. F. 2002. The artisanal ray fishery in the Gulf of California: development, fisheries research and management issues. Shark News (IUCN Shark Specialist Group), 14: 12-13.

Martínez J.; F. Galván; M. Carrera; D. Mendoza; C. Estupiñán & L. Cedeño. 2007. Abundancia estacional de tiburones desembarcados en Manta-Ecuador. En: Tiburones en Ecuador, Casos de estudio. 9-27 pp.

Medina-Bautista J. 2014. Estructura espacial de la captura de la pesquería de mediana altura de tiburón en el Pacífico Mexicano. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. 178 p.

Muñoz-Chapuli R. 1984. Ethologie de la reproduction chez quelques requins de l'Atlantique Nord-est. Cybium 8:1-14.

Musick J.A. & R. Bonfil. 2004. Elasmobranch fisheries management techniques. APEC Fisheries working group. 379 p.

Myers R.A., J.K. Baum, T.D. Shepherd, S.P. Powers & C.H. Peterson. 2007. Cascading effects of the loss of apex predatory sharks from a coastal ocean. Science. 315: 1846-1850.

Natanson L. J., J. J. Mello & S. E. Campana. 2002. Validated age and growth of the porbeagle shark, *Lamna nasus*, in the western North Atlantic Ocean. Fisheries Bulletin 100: 266–278.

Nava N. 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.

Nelson J.S. 2006. Fishes of the world. Cuarta edición. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken. 601 p.

NOAA. 1983. Techniques for enhancing vertebral bands in age estimation of California elasmobranchs. Proceedings International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: tunas, billfishes, sharks. 228 p.

NOAA. 2017. ERDDAP: Make a graph. En línea. Disponible en: http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/erdGAssta8day.graph?

Ochoa-Díaz M.R. 2009. Espectro trófico del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en Baja California Sur: aplicación de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$. Tesis de maestría. CICIMAR. 90 p.

Okamura H., A.E. Punt, Y. Semba & M.Ichinokawa. 2013. Marginal increment analysis: a new statistical approach of testing for temporal periodicity in fish age verification. Journal of Fish Biology. Doi: doi:10.1111/jfb.12062.

Officer, R.A., R.W. Day, J.G. Clement & L.P. Brown. 1997. Captive gummy sharks, *Mustelus antarcticus*, form hypermineralized bands in their vertebrae during winter. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 54:2677–2683

OSPESCA. 2008. Protocolo de Colecta de Datos de los Desembarques y Muestreo Biológico en la Pesca Artesanal e Industrial de Tiburones y Rayas en América Central. Grupo Técnico Regional de Tiburones (GTRT) de la Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano (OSPESCA). 36 p.

Parés–Sierra A. M. & J. J. O'Brien. 1989. The seasonal and interanual variability of the California Current system: A numerical model. J. Geophys. Res. 94: 3159- 3180.

Passerotti M.S., J.K. Carlson, A.N. Piercy & S.E. Campana. Age validation of great hammerhead shark (*Sphyrna mokarran*), determined bu bomb radiocarbon analysis. Fishery Bulletin. 108(3):346

Pérez-Jiménez J.C., O. Sosa-Nishizaki, E. Furlong-Estrada, D. Corro-Espinosa, A. Venegas-Herrera & O.V. Barragán-Cuencas. 2005. Artisanal shark fishery at "Tres Marias" Islands and Isabel Island in the central Mexican Pacific. J. Northw. Atl. ish. Sci. 35(43).

Pérez-Jiménez J. C. 2001. Análisis de la Pesquería Artesanal de Tiburones y Rayas de Isla Isabel, Nayarit, México. Tesis de Maestria. CICESE. 75 p.

Pérez-Jiménez J. C. & A. Venegas-Herrera.1997. Análisis Biológico-Pesquero de Tiburones de las Familias Sphyrnidae, Alopiidae y Lamnidae (Elasmobranchii)

Capturados por la Principal Flota Artesanal del Sur de Nayarit, México. Temporada 1995-1996. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara. 62 p.

Piercy A.N., J.K. Carlson & M.S. Passerotti. 2010. Age and growth of the great hammerhead shark *Sphyrna mokarran* in the north western Atlantic Ocean and Gulf of Mexico. Marine and freshwater research. 61:992-998.

Powers J. E. 1983. Some statistical characteristics of ageing data and their ramifications in population analysis of oceanic pelagic fishes. In: D. Prince & L. M. Pulas (Eds.). Proceedings of the International Workshop on Age determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes and Sharks. Miami, Florida. U. S. A. 19-24.

Ramírez A. S.R. 2011. Caracterización de la pesquería artesanal de elasmobranquios en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN.

Ricker W.E. 1979. Growth Rates and Models. Fish Physiology, Vol. 8. (eds W.S. Hoar, D.J. Randall and J.R. Brett). Academic Press, New York NY. 677–743 p.

Ricker W.E. 1975. Computational and interpretation of biological statistics of fish populations. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 191:1–382.

Ricker W. E. 1995. Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Population. Bulletin Fisheries Research Board of Canada 191: 1-382.

Robertson D.R. & Gerald R Allen. 2015. Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: sistema de Información en línea. Versión 2.0 Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, República de Panamá.

Rosa D., R. Coelho, J. Fernández-Carvalho & M.N. Santos. 2017. Age and growth of the smooth hammerhead, *Sphyrna zygaena* in the Atlantic Ocean: comparison with other hammerhead species. Marine Biology Research. http://dx.doi.org/10.1080/17451000.2016.1267366

Sáenz-Arroyo A, C.M. Roberts, J. Torre, M. Cariño-Olvera & R.R. Enríquez-Andrade. 2005. Rapidly shifting environmental baselines among fishers of the Gulf of California. Proc. R. Soc. B 272: 1957–1962.

Sala E, O. Aburto-Oropeza, M. Rez, G. Paredes & L.G. López-Lemus. 2004. Fishing down coastal food webs in the Gulf of California. Fisheries 29: 19–25.

Salinas-Zavala C.A, A. Leyva-Contreras, D. Lluch- Belda & E. Díaz- Rivera. 1990. Distribución geográfica y variabilidad climática de los regímenes pluviométricos en Baja California Sur, México. Atmósfera. (3):217-237 p.

Santana-Hernández H. J.J. Valdez-Flores & I.M Gómez-Humarán. 2009. Distribución espacial y temporal de las especies que conforman la captura objetivo e incidental, obtenida por barcos palangreros de altura en el Pacífico mexicano:1983-2002. Ciencia Pesquera. 17(2):

Smale M.J. 1991. Ocurrence and Feeding of Three Shark Species, *Carcharhinus brachyurus, C. obscurus and Sphyrna zygaena*, on the Eastern Cape Coast of South Africa. S.Afr.J.Mar.Sci. 11: 31-42.

Smale M.J. & G. Cliff. 1998. Cephalopods in the diets of four shark species (*Galeocerdo cuvier, Sphyrna lewini, S. zygaena and S. mokarran*) from KwaZulu-Natal, South Africa, South African Journal of Marine Science, 20:1, 241-253.

Smart J. J., A. V. Harry, A.J. Tobin & C.A. Simpfendorfer. 2013. Overcoming the constrains of low sample sizes to produce age and growth data for rare threatened sharks. Aquatic Conserv.Mar.Freshw.Ecosyst. 23:124-134.

Smart J.J., A. Chin, A.J. Tobin & C.A. Simpfendorfer. 2016. Multimodel approaches in shark and ray growth studies: strengths, weaknesses and the future. Fish and Fisheries. DOI: 10.1111/faf.12154.

Smith W. D., J. J. Bizzarro & G. M. Caillet. 2009. The artisanal elasmobranch fishery on the east coast of Baja California, Mexico: Characteristics and management considerations. *Ciencias Marinas*. 35(2):209-236.

Schmiter-Soto J.J. 1992. Aspectos autoecológicos de los triglide (Picis:Scorpaeniformes) en la costa occidental de B. C. S. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN.98 pp.

Schwartz F. 1983. Shark aging methods and age estimates of scalloped hammerhead, *Sphyna lewini*, and dusky, *Carcharhinus obscurus*, sharks based on vertebral ring counts. Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes and sharks. 167-174 p.

Simkiss K. 1974. Calcium metabolism of fish in relation to ageing, 1–12. En: Bagenal, J.B. (Ed.) The ageing of fish. Unwin Brothers.

Sokal R. & F. Rohlf. 1996. Biometry. San Francisco: 3ra Ed. Freeman Company.

Soriano M., J. Moreau, J.M. Hoenig & D. Pauly. 1992. New Functions for the Analysis of Two-Phase Growth of Juvenile and Adult Fishes, with Application to Nile Perch. Transactions of the American Fisheries Society 121, 486–493.

Soriano S.R., D. Acal-Sánchez, J.L. Castillo-Géniz & C.E. Ramírez-Santiago. 2006. Tiburón del Golfo de Tehuantepec, p. 325-364. In S.F. Arreguín, M.J. Meléndez, M.I. Gómez-Humarán, S.R. Solana & D.C. Rangel (eds.). Sustentabilidad y pesca responsable de México, evaluación y manejo 1999-2000. Instituto Nacional de Pesca, México.

Springer V.G. & J.P.Gold. 1989. Sharks in Question. Smithsonian Institution Press. E.U.A. 187 pp.

Stevens J.D., R. Bonfil, K. Dulvy & P.A. Walker. 2000. The effects of fishing on sharks, rays and chimaeras (chondrichthyans) and the implications for marine ecosystems. ICES J. Mar. Sci., 57: 476-494.

Torres-Orozco. E. 1993. Análisis volumétrico de la masa de agua del Golfo de California. *Tesis de Maestría*. CICESE. México. 75 p.

Thorson J.T. & C.A. Simpfendorfer. 2009. Gear selectivity and sample size effects on growth curve selection in shark age and growth studies. Fisheries Research. 98: 75–84.

Tricas T.C., K. Deacon, P. Last, J.E. Mccosker, T.I. Walker & L. Taylor.1998. Tiburones y Rayas. Ediciones Omega. España. 288 pp.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). 2016. UICN Red List of Threatened Species. (Consultado: 25 de enero de 2016, http://www.UICNredlist.org).

Urist M. R. 1961. Calcium and phosphorus in the blood and skeleton of the elasmobranchii. Endocrinology 69:778-801.

Vinueza R. 2015. Edad y crecimiento del tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*) en las costas de Puerto López-Ecuador, durante el año 2013. Tesis de Maestría. Universidad Internacional del Ecuador. 99 p.

Walker T. I. 1998. Can shark resources be harvested sustainably? A question revisited with a review of shark fisheries. Marine and Freshwater Research. 49:553-572.

Zarate-Rustrian J. 2010. Edad y crecimiento del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) en la costa sur de Oaxaca, México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 59 p.

Zhu L., L. Li & Z. Liang. 2009. Comparison of six statistical approaches in the selection of appropriate fish growth models. Chinese Journal of Oceanology and Limnology. 27(3): 457-467.