



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**



**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**

**EDAD Y CRECIMIENTO DEL TIBURÓN *Mustelus californicus* EN EL ÁREA DE BAHÍA TORTUGAS,  
BAJA CALIFORNIA SUR**

**TESIS**

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

**PRESENTA**

**JORGE ENRIQUE BERNAL GUTIÉRREZ**

**LA PAZ, B.C.S, JULIO 2017**



**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 05 del mes de Junio del 2017 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 *Mustelus californicus***  
**EN EL ÁREA DE BAHÍA TORTUGAS, BAJA CALIFORNIA SUR"**

Presentada por el alumno:

<b>BERNAL</b>	<b>GUTIÉRREZ</b>	<b>JORGE ENRIQUE</b>
Apellido paterno	materno	nombre(s)
Con registro: <b>B 1 5 0 1 5 5</b>		

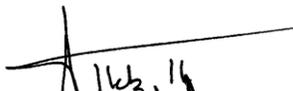
Aspirante de:

**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**

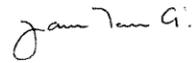
Directores de Tesis

  
\_\_\_\_\_  
**DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA**  
Director de Tesis

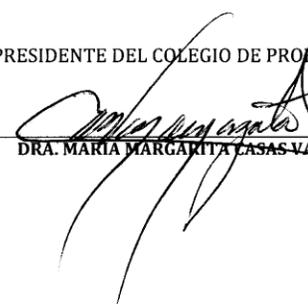
  
\_\_\_\_\_  
**DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA**  
2º. Director de Tesis

\_\_\_\_\_  
**DR. LEONARDO ANDRÉS ABUTIA CÁRDENAS**

  
\_\_\_\_\_  
**M EN C. FELIPE NERI MÉNDEZ BARRERA**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. JAVIER TOVAR ÁVILA**

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

  
\_\_\_\_\_  
**DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDE**





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 20 del mes de Junio del año 2017

El (la) que suscribe BM. JORGE ENRIQUE BERNAL GUTIÉRREZ Alumno (a) del Programa  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B150155 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 *Mustelus californicus*

EN EL ÁREA DE BAHÍA TORTUGAS, 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: jorge.bernal@hotmail.com - aherrera@ipn.mx - galvan.felipe@gmail.com

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

BM. JORGE ENRIQUE BERNAL GUTIÉRREZ

*Nombre y firma del alumno*

*Al “Gallo Rojo” y “Mi Estrella Guía”, porque gracias  
a su inmenso sacrificio y amor, el mar dejó  
de ser mi sueño para convertirse  
en mi realidad*

...Mi papá y Mi mamá

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN) por creer en mí, brindarme conocimiento y darme la oportunidad de crecer profesionalmente.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico que me brindó durante mi estancia en México.

A los proyectos Tiburones y Rayas CICIMAR y de Edad y Crecimiento de Elasmobranchios de la Zona de Bahía Tortugas, Baja California Sur, México dentro de los cuales se desarrolló mi investigación.

Al Doc Galván y al Doc Agustín por darme la oportunidad de conocer más afondo el mundo de los tiburones y por su apoyo incondicional y asesoría durante estos dos años.

Al Galván Team por dejarme hacer parte de una familia tan bacana.

A los pescadores de Bahía Tortugas y a los equipos de muestreo, aunque los tiempos no coincidieron para que les colaborara, sin su apoyo no habría podido llevar a cabo este estudio.

A Le ñoñé (Morgan), Ñoñis (Karla) y Abel, por ser los primeros en brindarme su amistad y por las “salidas tranquis”.

A los del “lado oscuro de la fuerza”, Nico, Pablo, Lorem, Peter, Athziri, el papi y Jolines por hacerme sentir en familia.

A los BROTHIS (Edgar, Lety y Stephy), por dejar de ser compañeros para convertirse en mis hermanos mexicanos, por la fiesta (“¿Jungle o miedo?”) y las conversaciones durante las alitas, ya saben que en Colombia tienen su casa.

A “Los Sometidos” (Alejo, Juan Carlos, Andrey, Juanri, Julián, Toño), porque a pesar de que pasan los años, seguimos siendo los mismos que cuando teníamos 12.

A Fresa (Karen) porque gran parte de que haya comenzado esta aventura fue gracias a ti y al amor que te tengo.

A mi mamá y mi papá porque con su “verraquera” me enseñaron que, con amor, sacrificio, empeño y el apoyo incondicional de la familia los sueños se hacen realidad.

A mis hermanos “El Andrés” y “Juanjo”, guerreros echados pa'lante, en ustedes siempre encuentro las palabras indicadas y el impulso para seguir con esta aventura que es el mar.

A México por abrirme las puertas de estas tierras tan bonitas y a toda su gente por su calidez y amabilidad.

¡A TODOS USTEDES MUCHAS GRACIAS!

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABLAS .....	x
GLOSARIO .....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	2
3. JUSTIFICACIÓN .....	8
4. OBJETIVOS.....	9
4.1. OBJETIVO GENERAL .....	9
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
5. MATERIALES Y MÉTODOS .....	9
5.1. Área de estudio y recolecta de muestras.....	9
5.2. Estructura de tallas .....	12
5.3. Preparación de las vértebras .....	12
5.4. Precisión y sesgo de las lecturas.....	13
5.5. Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento .....	14
5.6. Relación Longitud total-Radius de la vértebra (LT-RV) .....	15
5.7. Estructura de edades.....	16
5.8. Modelos de crecimiento .....	16
6. RESULTADOS.....	18
6.1. Estructura de tallas .....	18
6.2. Preparación de las vértebras .....	19
6.3. Precisión y sesgo de las lecturas.....	21
6.4. Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento .....	21
6.5. Relación Longitud total-Radius de la vértebra (LT-RV) .....	22
6.6. Estructura de edades.....	23
6.7. Modelos de crecimiento .....	24
7. DISCUSIÓN .....	27
8. CONCLUSIONES.....	34

9. RECOMENDACIONES .....	35
10. LITERATURA CITADA.....	36

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Área de distribución de <i>Mustelus californicus</i> sombreada en color amarillo.	2
<b>Figura 2.</b> Ejemplar de <i>Mustelus californicus</i> . Tomado de Santana-Morales et al. (2004).	3
<b>Figura 3.</b> Corte de una vértebra de <i>Mustelus californicus</i> observado con luz reflejada. Bandas opacas (B.O). Bandas traslúcidas (B.T). Marca de nacimiento (M.N).	5
<b>Figura 4.</b> Área de estudio. La zona en color amarillo representa la zona donde se captura <i>Mustelus californicus</i> por parte de la pesca artesanal que descarga en Bahía Tortugas B.C.S.	10
<b>Figura 5.</b> Esquema de la región de la columna vertebral de donde se obtuvieron las vértebras. Modificado de Porter et al. (2007).	12
<b>Figura 6.</b> Mediciones realizadas en las vértebras de <i>Mustelus californicus</i> . Radio de la vértebra (RV). Distancia del foco a la última marca totalmente depositada (rn). Distancia del foco a la penúltima marca totalmente depositada (rn-1).	15
<b>Figura 7.</b> Estructura de tallas por sexos de <i>Mustelus californicus</i> para las capturas en el área de Bahía Tortugas. Intervalos de talla de madurez para machos (línea punteada) y hembras (línea continua) tomados de Compagno (1984) y Pérez-Jiménez (2006).	19
<b>Figura 8.</b> Tratamientos para evidenciar las marcas de crecimiento en las vértebras de <i>Mustelus californicus</i> . Izquierda: fuente de luz reflejada. Derecha: fuente de luz transmitida. a. Sin tratamiento. b. cristal violeta al 0.001%. c. Verde claro al 0.01%. d. Azul de metileno al 0.01%. e. Nitrato de plata.	20
<b>Figura 9.</b> Gráfica de sesgo entre las lecturas hechas por el mismo lector (a) y entre lectores (b).	21
<b>Figura 10.</b> Tipo de borde e incremento marginal de las vértebras de <i>Mustelus californicus</i> para las capturas en el área de Bahía Tortugas B.C.S.	22
<b>Figura 11.</b> Relación longitud total (LT) y radio de la vértebra (RV) para las capturas de hembras y machos de <i>Mustelus californicus</i> en el área de Bahía Tortugas, B.C.S.	23
<b>Figura 12.</b> Estructura de edades por sexos de <i>Mustelus californicus</i> para las capturas en el área de Bahía Tortugas.	24

**Figura 13.** Modelos de crecimiento ajustados a los datos de captura de hembras de *Mustelus californicus* en el área de Bahía Tortugas..... 25

**Figura 14.** Modelos de crecimiento aplicados a los datos de captura de machos de *Mustelus californicus* en el área de Bahía Tortugas..... 26

**Figura 15.** Patrones de crecimiento de machos (VBGM) y hembras (GGM) de *Mustelus californicus* para el área de Bahía Tortugas, B.C.S. .... 27

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Modelos de crecimiento aplicados a los datos de captura de hembras de <i>Mustelus californicus</i> en el área de Bahía Tortugas. En negrilla se resalta el modelo con mejor ajuste. ....	25
<b>Tabla 2.</b> Modelos de crecimiento aplicados a los datos de captura de machos de <i>Mustelus californicus</i> en el área de Bahía Tortugas. En negrilla se resalta el modelo con mejor ajuste. ....	26
<b>Tabla 3.</b> Edades máximas reportadas para especies del género <i>Mustelus</i> . ....	31
<b>Tabla 4.</b> Parámetros de crecimiento para especies del género <i>Mustelus</i> . ....	33

## GLOSARIO

**Banda:** Franja formada en las vértebras por la acumulación diferencial de sales de calcio y fósforo durante el tiempo de vida de un individuo.

**Banda opaca:** Franja formada por una mayor acumulación de sales de calcio y fósforo permitiendo menor paso de luz.

**Banda traslúcida:** Franja formada por una menor acumulación de sales de calcio y fósforo permitiendo mayor paso de luz.

**Marca de crecimiento:** Conjunto de cada par de bandas opaca y traslúcida, el cual está asociado a una temporalidad.

**Marca de nacimiento:** Primera marca de crecimiento asociada a un cambio de ángulo en el *corpus calcareum*.

**Corpus calcareum:** Representa la parte menos calcificada de la vértebra de los elasmobranquios, en el corte longitudinal se identifica como los márgenes laterales.

**Intermedialia:** Representa la parte más calcificada de la vértebra de los elasmobranquios, en el corte longitudinal se identifica como la sección central.

**Edad:** Tiempo de vida de un organismo.

**Crecimiento:** Incremento de tamaño en un individuo.

**Tasa de crecimiento:** Incremento en la talla de un individuo en función del tiempo.

**Talla asintótica:** Tamaño promedio que un individuo alcanzaría si viviera indefinidamente.

## RESUMEN

Además de tener un papel importante dentro del ecosistema como depredador tope, los tiburones representan un recurso pesquero importante a nivel mundial. En México, se han reportado aproximadamente 26,000 t anuales, siendo Baja California Sur la tercera entidad pesquera con mayor producción (3,500 t/año). Para el manejo adecuado de los recursos pesqueros es recomendable conocer su historia de vida, por lo que el objetivo de este estudio fue estimar la edad y describir el crecimiento individual de *Mustelus californicus* provenientes del campo pesquero de Bahía Tortugas, BCS. Se realizaron tres salidas de un mes de duración cada año, durante el periodo de 2013-2016, recolectando 134 individuos representados en 90 hembras con tallas entre 55 y 123 cm de longitud total (LT) y 44 machos entre 53 a 89.2 cm de LT, con una talla promedio mayor en hembras ( $U=989.5$ ;  $p<0.05$ ) y una proporción sexual de 2:1 ( $\chi^2 = 15.79$ ;  $p<0.05$ ). Las técnicas para resaltar las marcas de crecimiento utilizadas no mostraron mejora en su visualización. Las lecturas fueron realizadas en cortes de 0.3 mm de grosor y con luz reflejada. El porcentaje de acuerdo  $\pm 1$  (93.3%), el porcentaje de error promedio (7.09%) y coeficiente de variación (1.49) indicaron una precisión alta de las lecturas. No fue posible evidenciar la periodicidad de las marcas de crecimiento, observándose la formación de bandas traslúcidas en el mes de agosto. Los grupos de edad fueron de 0 a 9 años para hembras y de 0 a 6 años para machos, con mayor porcentaje de individuos maduros para los dos sexos. Se compararon cuatro modelos de crecimiento, siendo los de mejor ajuste el de von Bertalanffy de tres parámetros para machos y Gompertz de tres parámetros para hembras. Los machos presentaron un crecimiento más rápido ( $k=0.17$ ;  $LT_{\infty}=108.0$ ) que las hembras ( $k=0.12$ ;  $LT_{\infty}=186.65$ ), las cuales alcanzan a su vez tallas mayores. La estimación de la edad y los parámetros de crecimiento obtenidos, al igual que los reportados previamente para esta y otras especies del género, indicaron que *M. californicus* tiene un crecimiento rápido y un tiempo de vida corto en comparación a otras especies de su mismo género y un crecimiento intermedio con respecto a otros tiburones.

**Palabras clave:** *Mustelus californicus*, vértebras, grupos de edad, modelos de crecimiento.

## ABSTRACT

In addition to its important role as a top predator within the ecosystem, sharks represent an important fishing resource worldwide. In Mexico, about 26,000 t have been reported annually, with Baja California Sur as the third largest fishing entity (3,500 t / year). For proper management of fishery resources, it is advisable to know their life history, so the objective of this study was to estimate the age and to describe the individual growth of the Californian forests coming from the fishing field of Bahía Tortugas, BCS. Three outbreaks of one month were carried out each year during the period 2013-2016, collecting 134 individuals represented in 90 females with lengths between 55 and 123 cm in total length (LT) and 44 males between 53 and 89.2 cm of LT, with a higher average size in females ( $\mu = 989.5$ ,  $p < 0.05$ ) and a sexual ratio of 2:1 ( $X^2 = 15.79$ ,  $p < 0.05$ ). Techniques to highlight growth marks did not show improvement in their visualization. The readings were made in cuts of 0.3 mm of thickness and with reflected light. The agreement percentage  $\pm 1$  (93.3%), mean error percentage (7.09%) and coefficient of variation (1.49) indicated a high accuracy of the readings. It was not possible to show the periodicity of the growth marks, observing the formation of translucent bands in the month of August. The age groups were 0-9 years for females and 0-6 years for males, with a higher percentage of mature individuals for both sexes. Four growth models were compared. The best fit being von Bertalanffy of three parameters for males and Gompertz of three parameters for females. The males higher growth rate ( $k = 0.17$ ;  $LT_{\infty} = 108.0$ ) than females ( $k = 0.12$ ;  $LT_{\infty} = 186.65$ ), which in turn attained larger sizes. Estimation of age and growth parameters obtained, as previously reported for this and other species of the genus, indicated that *M. californicus* has a rapid growth and a short lifetime compared to other species of its genus and an intermediate growth compared to other sharks.

**Keywords:** *Mustelus californicus*, vertebrae, age groups, growth models.

## 1. INTRODUCCIÓN

La explotación de los tiburones a nivel mundial se ha incrementado en los últimos 20 años por el interés comercial de sus aletas, carne, piel, dientes, hígado y cartílago; generándose una disminución en sus poblaciones (Anderson, 1990; Cailliet & Tanaka, 1990; Pratt & Casey, 1990; FAO, 1998; Lack, 2006; Cartamil *et al.*, 2011). Lo cual, los ha situado en un lugar de atención, ya que son individuos que, aunque presentan variabilidad en la productividad biológica, es baja en comparación con otros organismos marinos, esto es, presentan crecimiento lento, reproducción tardía, baja fecundidad y largos ciclos de gestación. (Holden, 1974; Camhi *et al.*, 1998; Walker, 2005).

La susceptibilidad a ser capturados puede variar, ya que esta depende de las características biológicas de cada especie como tamaño y forma del cuerpo, hábitos alimenticios, distribución en la columna de agua, distribución geográfica e importancia pesquera; al igual que las características de la pesquería y de los métodos de captura (área de operación de la flota, selectividad y profundidad a la que se maneja el arte de pesca) (Walker ,2005).

Los estudios de edad y crecimiento en elasmobranchios son importantes, ya que permiten obtener información más detallada sobre las edades de machos y hembras, sus diferencias y la longevidad de la especie; así mismo, dichos estudios presentan una mayor relevancia en especies de importancia comercial proporcionando conocimiento acerca de la estructura de edades del stock y edades de mayor captura; lo cual, sumado a los aspectos reproductivos, permiten construir modelos demográficos que dan a conocer el estado de la población y sus posibles cambios a futuro (Holden & Raitt, 1975; Goldman *et al.*, 2012; Campana, 2014; Cailliet, 2015).

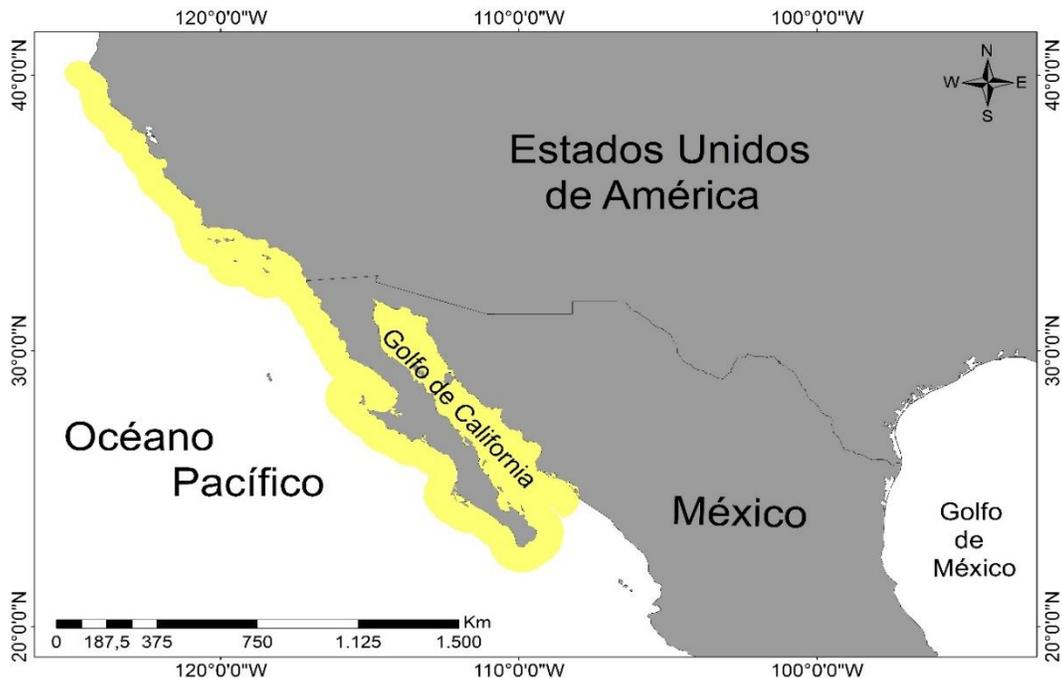
*Mustelus californicus* es una de las principales especies de tiburones de importancia comercial que se capturan a partir de la pesca artesanal en la costa occidental de Baja California, México, siendo la sexta con un 3% de la captura total (Cartamil *et al.* 2011), por lo que estudios que permitan un mayor conocimiento sobre su biología son relevantes como información para su manejo. Es por esto que en el

presente estudio tuvo como objetivo determinar la edad y el crecimiento de la especie en las pesquerías del área de Bahía Tortugas, mediante la descripción del crecimiento y la estimación de la estructura de edades en las capturas.

## 2. ANTECEDENTES

Dentro del Orden de los Carcharhiniformes, *Mustelus* es el tercer género con mayor diversidad (22 especies descritas), las cuales se caracterizan por ser abundantes tanto en aguas templadas como tropicales y ocupan un lugar importante en las actividades pesqueras comerciales y artesanales (Compagno, 1984).

La distribución de *M. californicus* va desde el norte de las costas de California en Estados Unidos de América, hasta la península de Baja California y el Golfo de California en México (Figura 1). Es residente al sur de la península por la costa del Pacífico, donde las aguas son más cálidas y realiza migraciones hacia el centro y norte de esta en verano (Compagno, 1984), mientras dentro del Golfo de California los individuos maduros tienden a realizar movimientos estacionales hacia adentro y fuera de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California utilizando posiblemente estas zonas como áreas de crianza y apareamiento (Pérez-Jiménez, 2006).



**Figura 1.** Área de distribución de *Mustelus californicus* sombreada en color amarillo.

*M. californicus* es una especie demersal que habita entre 0 y 100 m de profundidad, con una marcada preferencia entre los 2 y 46 m. Se alimenta de crustáceos (cangrejos y camarones) y ocasionalmente de peces pequeños (Compagno, 1984; Santana-Morales *et al.*, 2004; Compagno, 2005; Pérez-Jiménez *et al.*, 2015).

Presenta un ciclo reproductivo anual con un desarrollo ovárico y embrionario concurrente, por lo que poco después del alumbramiento ocurre una nueva ovulación permitiendo nuevamente el apareamiento. Su tipo de reproducción es vivípara placentada con una fecundidad de 7 a 16 crías, dependiendo del tamaño de las hembras (Pérez-Jiménez, 2006). Las crías tienen un periodo de gestación de 11 meses y los nacimientos tienen lugar en el mes de abril y principios de mayo (Pérez-Jiménez, 2006), con una talla de alrededor de 30 cm (Compagno, 1984; Santana-Morales *et al.*, 2004; Compagno, 2005; Pérez-Jiménez, 2006).

La talla máxima reportada para la especie es de 160 cm de longitud total (LT) (Figura 2). Los machos maduran entre 57 y 65 cm LT y llegan a medir hasta 116 cm LT, mientras que las hembras alcanzan la madurez alrededor de los 70 cm LT, con tallas máximas entre los 124 y 160 cm LT (Compagno, 1984; Compagno, 2005); sin embargo, Pérez-Jiménez (2006) establece que los machos del Golfo de California maduran entre 72 y 74 cm LT y las hembras entre 85 y 90 cm LT presentando una ovulación entre finales de abril y finales de junio.



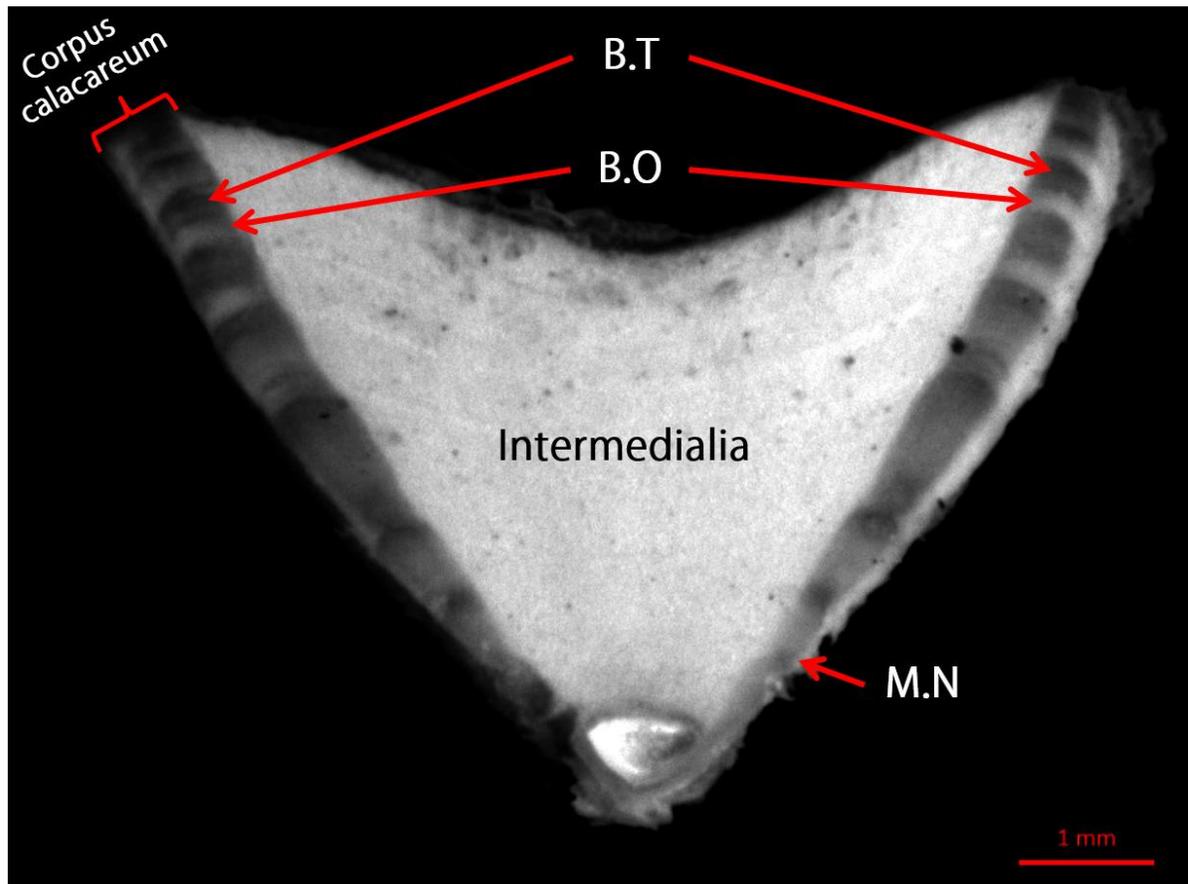
**Figura 2.** Ejemplar de *Mustelus californicus*. Tomado de Santana-Morales *et al.* (2004).

La edad y el crecimiento en elasmobranquios ha sido evaluada a través de varios métodos indirectos como marcado y recaptura (Grant *et al.*, 1979), el análisis de frecuencia de longitudes (Edwards, 1980), tasas de reemplazo de dientes para estimar las tasas de crecimiento (Moss, 1972) y el estado de desarrollo de los caracteres sexuales secundarios (Johnson & Horton, 1972); sin embargo, dichas técnicas son limitadas ya que sólo proporcionan estimaciones aproximadas (Cailliet *et al.*, 1983; Cailliet & Goldman, 2004; Cailliet *et al.*, 2006). Por lo que métodos directos como el conteo de marcas de crecimiento en estructuras calcificadas tales como espinas de la aleta dorsal, dentículos dérmicos, arcos neurales y vértebras, han sido aplicados más recientemente; siendo las vértebras las más empleadas por estar presentes en todas las especies y durante todo el ciclo de vida de los individuos (Cailliet *et al.*, 1983; Cailliet *et al.*, 1986; Cailliet, 1990; Cailliet & Goldman, 2004).

La observación de las marcas de crecimiento, en algunas especies de elasmobranquios, se lleva a cabo con la lectura de las marcas en las vértebras completas. En otros casos se realizan cortes longitudinales o trasversales, con un grosor entre 0.3 y 0.8 mm (Cailliet *et al.*, 1983; Cailliet & Goldman, 2004; Campana, 2014). Las marcas de crecimiento se encuentran constituidas por un par de bandas (opaca y translúcida) visibles tanto en la *intermedialia* como en el *corpus calcareum*, siendo este último en donde se lleva a cabo la lectura debido a que provee una mejor visualización (Cailliet & Goldman, 2004; Campana, 2014).

La primera marca de crecimiento, asociada al nacimiento, se observa como un cambio en el ángulo del *corpus calcareum* (Figura 3). Las bandas opacas y translúcidas se forman debido a la acumulación diferencial de sales de calcio y fósforo a medida que crecen los individuos, presentando las opacas una mayor concentración de sales y las translúcidas una menor. Aunque la diferencia de una banda con otra, proporciona información sobre la relación de la abundancia de alimento y las condiciones ambientales en las que se encuentran los individuos (Cailliet *et al.*, 1983; Cailliet & Goldman, 2004; Cailliet *et al.*, 2006; Campana, 2014); también se ve influenciada por la cantidad de mineralización del cartílago, variando

incluso entre individuos de la misma especie (Dean & Summer, 2006; Porter *et al.*, 2006).



**Figura 3.** Corte de una vértebra de *Mustelus californicus* observado con luz reflejada. Bandas opacas (B.O). Bandas traslúcidas (B.T). Marca de nacimiento (M.N).

Es por esto que las marcas de crecimiento se deben evaluar dependiendo de cada especie y de acuerdo a la ubicación espacial de la población, ya que la periodicidad y/o temporalidad de la formación de dichas marcas está relacionada con las características ambientales donde se desarrolle, influyendo sobre las tasas de crecimiento de los individuos (Goldman, 2005).

La mayoría de los estudios de edad y crecimiento en tiburones sugieren que el uso de las vértebras ubicadas debajo de la primera aleta dorsal genera los mejores resultados para la estimación de la edad, no obstante, cuando las muestras provienen de una pesquería, la extracción de dichas vértebras afecta la cantidad de músculo a comercializar y por lo tanto es difícil su obtención. Por lo que otra

alternativa ha sido utilizar las vértebras ubicadas en la parte posterior al cráneo (Natanson *et al.*, 2002).

Teniendo en cuenta lo anterior, Officer *et al.* (1996) y Piercy *et al.* (2006) llevaron a cabo estudios en cuatro especies de tiburones (*Carcharhinus plumbeus*, *Carcharhinus limbatus*, *Galeorhinus galeus* y *Mustelus antarcticus*) con el fin de dilucidar si el crecimiento se refleja diferente en las vértebras de la parte cervical comparadas con las de la parte torácica; encontrando que, aunque no hay cambios en la formación de las marcas de crecimiento entre una zona y otra, si se puede ver afectada la estimación de la edad debido al tamaño de la vértebra, ya que las que se encuentran cercanas al cráneo son más pequeñas y dificultan la lectura de las marcas.

Para la evaluación de las poblaciones y el manejo de las pesquerías, es necesario entender el crecimiento de los individuos relacionando su talla con la edad. Es así como se han propuesto diversos modelos de crecimiento para estimar el crecimiento de los organismos; el modelo más estudiado y comúnmente aplicado es el de von Bertalanffy, que está basado en los procesos fisiológicos y es el resultado neto de dos procedimientos opuestos, el catabolismo y el anabolismo; sin embargo, el uso a priori de este único modelo puede provocar una estimación sesgada y una falsa estimación de los parámetros de crecimiento, ya que la inferencia, la estimación y su precisión se basan únicamente en el modelo ajustado (Katsanevakis & Maravelias, 2008).

Es por esto que se han propuesto el uso de varios modelos para estimar el crecimiento, teniendo en cuenta que para muchas especies acuáticas otros modelos como Gompertz o el modelo logístico presentan una mejor descripción de su crecimiento. Es así como la selección de modelos basada en la teoría de la información ha sido la más utilizada en los últimos años, la cual consiste en escoger el modelo basándose en el principio de parsimonia según el criterio de información de Akaike, la estimación de los parámetros y su precisión (Katsanevakis & Maravelias, 2008).

Las investigaciones de edad y crecimiento para el género *Mustelus* han reportado que su crecimiento es más rápido con respecto a otros géneros (Francis, 1981), encontrando que en los primeros años de vida (1 y 2 años), ambos sexos presentan un tamaño y crecimiento similar, sin embargo, después de esta edad, en los machos la tasa de crecimiento se incrementa permitiéndoles madurar a edades y tallas menores; mientras que las hembras tienen un crecimiento más lento alcanzando tallas y edades mayores (Francis, 1981; Moulton *et al.*, 1992; Yamaguchi *et al.*, 1999; Francis & Maolagáin, 2000; Conrath *et al.*, 2002; Da Silva, 2007; Méndez-Loeza, 2008 y Farrel *et al.*, 2010). Finalmente, dichos estudios indicaron que el modelo de von Bertalanffy modificado por Holden (1974) fue el que mejor se ajustó al crecimiento de este género.

Existen pocos estudios sobre a *M. californicus*, y son enfocados a diferentes aspectos de su historia de vida, proporcionando información sobre su área de distribución y abundancia (Compagno, 1984; Talent, 1985; Jordan y Everman, 1896; Castro, 1996; Ebert, 2003), hábitos alimentarios (Talent, 1982; Castro, 1996; Méndez-Loeza, 2004), reproducción (Compagno, 1984, Talent, 1985, Castro, 1996; Ebert, 2003), y taxonomía (Pérez-Jiménez, 2006). Encontrándose dos estudios relacionados con el tema de edad y crecimiento.

El estudio de Porter *et al.* (2007) se enfocó en la proporción de la concentración de calcio y fósforo fijados en las vértebras, destacando que esta especie tiene una variación mayor con respecto a otros tiburones además de presentar proporciones diferentes entre individuos; por su parte, Yudin & Cailliet (1990) en el área de Santa Bárbara y Bahía Humboldt, California, reportaron que para esta especie, las marcas de crecimiento se forman de manera anual, encontrando diferencias entre sexos, donde las hembras alcanzaron tallas y edades mayores (125 cm LT y 9 años) que los machos (93 cm LT y 6 años), y aunque la constante de crecimiento de von Bertalanffy indicó que ambos sexos presentaron un crecimiento rápido (en comparación con otra especie), los machos crecen con mayor velocidad alcanzando tallas y edades de madurez menores (57-65 cm y 1-2 años) que las hembras (70 cm y 2-3 años).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Según las estadísticas reportadas por CONAPESCA (2013), México ocupa el quinto lugar a nivel mundial de la pesquería de tiburones con un promedio anual de 24600 toneladas de peso vivo. En el país, los condriictios son capturados en gran parte por la pesca artesanal, la cual es una fuente importante de empleo y alimento (Castillo *et al.*, 1998).

Entre los años 2004 y 2013 se reportaron aproximadamente 26420 t/año, lo que ubica a este grupo como octavo en la producción pesquera del país, con una tasa media de crecimiento anual de la producción del 0.75%, encontrando que el estado de Baja California Sur ocupa el tercer lugar de las principales entidades pesqueras con el 12.71% de la producción de este recurso aportando 3256 t/año en promedio (CONAPESCA, 2013).

En las costas de Baja California, incluyendo el Golfo de California, la pesca artesanal es una de las pesquerías que captura mayor diversidad de especies de tiburones (INAPESCA, 2016). Dentro del género *Mustelus* se encuentran algunas con importancia comercial (*M. henlei*, *M. lunulatus* y *M. californicus*), las cuales representan el 79% de la captura en algunas áreas del Golfo (Márquez-Farías, 2000); siendo *M. californicus* una de las principales especies con un 3% de la captura total de tiburones en general (Cartamil *et al.* 2011). Sin embargo, la información sobre parámetros biológicos importantes como edad y crecimiento, para la descripción de la dinámica poblacional es nula.

Por lo anterior, se hace necesario desarrollar temas de investigación, que permitan una aproximación sobre la biología de la población, como el caso de la estimación de la edad y la descripción del crecimiento, lo cual tiene como fin conocer los grupos de edad presentes en las capturas, las edades mejor representadas, así como el tiempo que tardan los individuos en alcanzar la talla y edad para incorporarse a las capturas. Aportando de esta manera información base como cálculos de la tasa de crecimiento, la tasa de mortalidad y la productividad que alimentan los modelos de

evaluación de poblaciones en la administración pesquera (Jennings *et al.*, 2001; Siegfried & Sansó, 2006). Razón por la cual en el presente trabajo se planteó estimar la edad y describir el crecimiento individual de los individuos de *M. californicus* provenientes de la pesca artesanal del área de Bahía Tortugas, B.C.S.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Estimar la edad y describir el crecimiento del tiburón *Mustelus californicus*, capturado en el área de Bahía Tortugas, B.C.S.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Describir la estructura de tallas por sexos de *Mustelus californicus*.
- Identificar marcas de crecimiento en las vértebras de *Mustelus californicus*.
- Determinar la relación del tamaño de la vértebra y la longitud total de *Mustelus californicus*.
- Estimar la periodicidad en la formación de las marcas de crecimiento en las vértebras de *Mustelus californicus*.
- Estimar la estructura de edades por sexos de *Mustelus californicus*.
- Describir el crecimiento individual de *Mustelus californicus*.

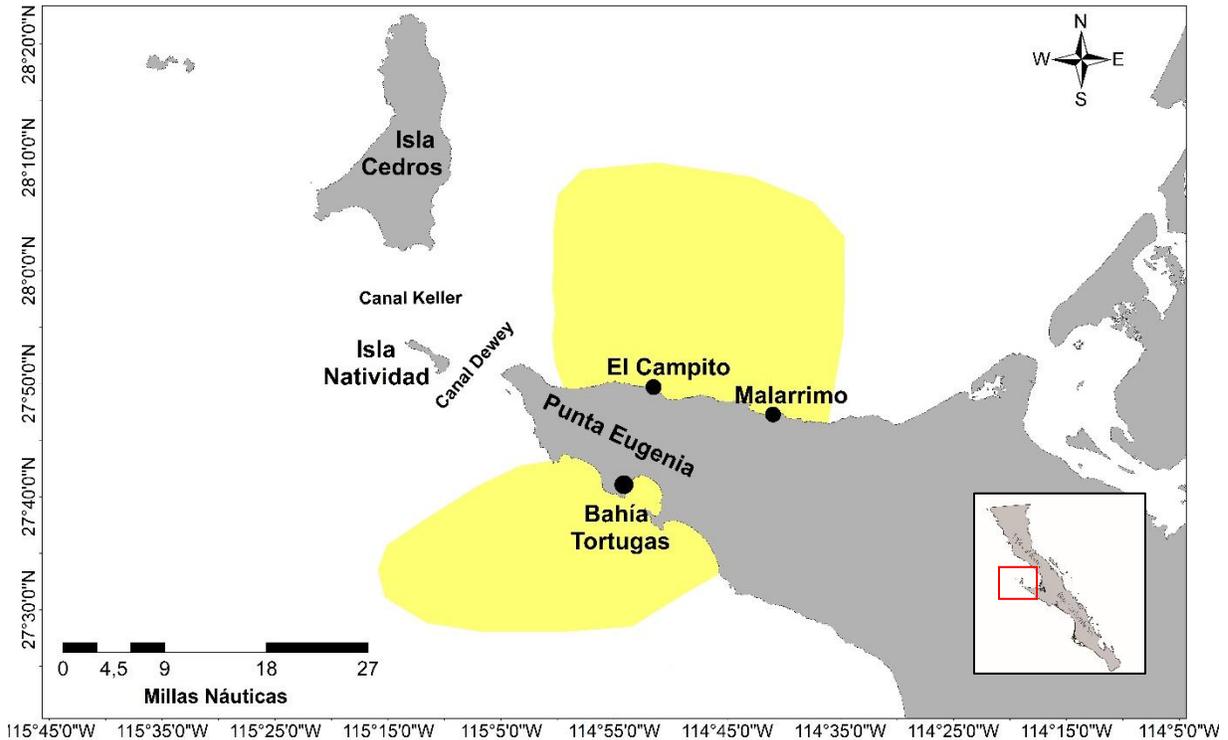
## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Área de estudio y recolecta de muestras**

El área de estudio se ubica dentro de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno a 870 km al noroeste de la Ciudad de La Paz, B.C.S. Se llevaron a cabo tres muestreos cada año durante el periodo de 2013 hasta 2016, el primer muestreo antes de la veda (marzo-abril), el segundo finalizando el periodo de veda (agosto) y el tercero después de veda (octubre-noviembre),

Los organismos se obtuvieron a partir de la pesca artesanal proveniente de diferentes campos pesqueros tanto de la Bahía de Sebastián Vizcaíno como de

Bahía Tortugas, este último utilizado como centro de acopio (Figura 4). Las capturas se realizaron entre 10 y 20 millas náuticas fuera de la costa, utilizando redes de enmalle colocadas entre 50 m y 70 m de profundidad, con dimensiones de 1.5 m de alto por 750 m de largo y luz de malla de 4 a 6 pulgadas.



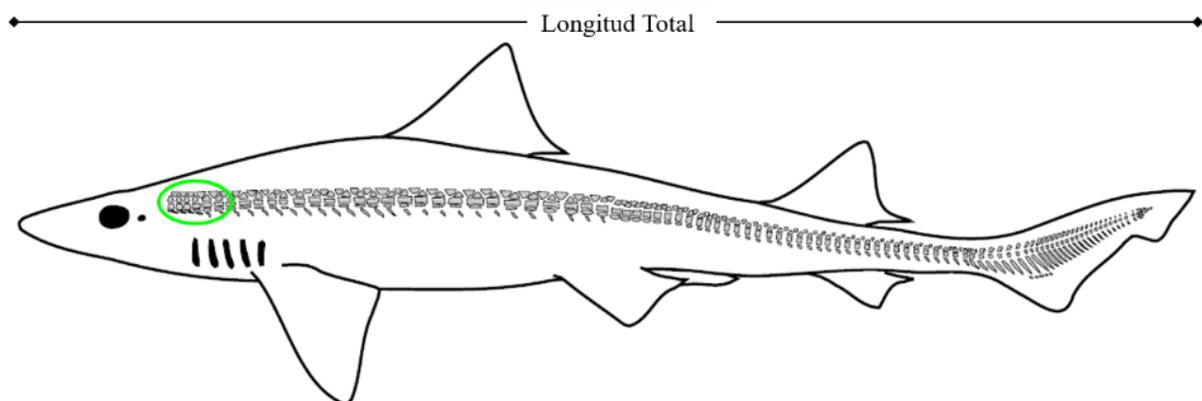
**Figura 4.** Área de estudio. La zona en color amarillo representa la zona donde se captura *Mustelus californicus* por parte de la pesca artesanal que descarga en Bahía Tortugas B.C.S.

La Bahía de Sebastián Vizcaíno tiene un diámetro aproximado de 100 km y presenta una amplia comunicación con el Océano Pacífico en la parte noroeste, mientras que, al suroeste, entre Punta Eugenia e Isla Cedros, se encuentran dos canales (Canal Keller y Canal Dewey) con una profundidad de 50 m que comunican la bahía con el Océano Pacífico. Debido a su posición geográfica y a que los vientos durante todo el año tienen dirección noroeste es una de las zonas de la corriente de California con mayor surgencia, lo que hace que la circulación dentro de la bahía este dominada por un giro anticiclónico de aguas relativamente cálidas (Amador-Buenrostro *et al.*, 1995; Palacios-Hernández *et al.*, 1996).

Bahía Tortugas tiene una extensión aproximada de 20.5 km<sup>2</sup> con una profundidad aproximada de 11 metros en el centro de la bahía y 19 m hacia la boca, los vientos tienen dirección noroeste principalmente, sin embargo, de agosto a diciembre dominan vientos del oeste, ocasionando que el agua entre a la bahía por la punta sureste circulando en contra de las manecillas del reloj, para salir por la parte noroeste. La temperatura del agua tiene un patrón estacional que varía desde los 12.7°C hasta los 19.9°C dependiendo de la época del año (Guzmán-Del Prío *et al.*, 1991; Guzmán-Del Prío *et al.*, 2000).

La identificación taxonómica de los organismos se realizó en campo, a partir de las claves de Compagno (1984), utilizando características externas como ubicación de la base de la primera aleta dorsal con respecto a las aletas pectorales y pélvicas y la longitud de la boca con respecto a la separación de los ojos. El sexo para cada uno de los organismos muestreados se estableció a partir de la presencia o ausencia de gonopterigios.

Mediante una cinta métrica se obtuvo la longitud total (LT,  $\pm 1$  cm), distancia que va desde la punta del hocico o morro hasta la punta del lóbulo superior de la aleta caudal (sin seguir el contorno del espécimen), extrayéndose entre 4 a 6 vértebras de la zona branquial (Figura 5). Las muestras fueron rotuladas con los datos correspondientes a fecha, LT y longitud precaudal (LP), sexo, campo pesquero y número de organismo para posteriormente ser congeladas y transportadas al laboratorio para su procesamiento y análisis.



**Figura 5.** Esquema de la región de la columna vertebral de donde se obtuvieron las vértebras. Modificado de Porter *et al.* (2007).

## 5.2. Estructura de tallas

A partir de los datos de LT para cada sexo, se construyeron histogramas de frecuencia relativa usando intervalos de 5 cm LT, con el fin de describir la estructura de tallas de la captura. Para evaluar las diferencias entre machos y hembras en la estructura de tallas se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, así como la prueba de Mann-Whitney para comparar las tallas promedio.

## 5.3. Preparación de las vértebras

En el laboratorio, las vértebras fueron descongeladas, y el exceso de tejido conectivo se removió manualmente con ayuda de cuchillo, bisturí y agua caliente. Posteriormente, fueron sumergidas en alcohol al 70% durante 24 h y finalmente fueron secadas a temperatura ambiente durante 24 h (Campana, 2014).

Las vértebras se fijaron con pegante sobre portaobjetos y se obtuvo un corte longitudinal (que incluyó el foco de la vértebra), con una cortadora de baja velocidad (Isomet Buehler) con cuchilla de filo de diamante. Se seleccionaron vértebras de individuos de tallas pequeñas (50-70 cm LT), medianas (70-90 cm LT) y grandes (>90 cm LT), cortándolas a tres grosores (0.3, 0.4 y 0.5mm) (Cailliet & Goldman, 2004; Campana, 2014).

Con el fin de incrementar la visibilidad de las marcas de crecimiento, se llevaron a cabo pruebas con diferentes tratamientos, cristal violeta al 0.001%, nitrato de plata (Cailliet *et al.*, 1983), azul de metileno al 0.01% y verde claro al 0.01% (afinidad por el calcio) en diferentes tiempos, con intervalos de 30 segundos hasta llegar a 15 minutos. Cada corte fue observado en el microscopio estereoscopio (Discovery V8, Zeiss) con dos fuentes de luz (reflejada y transmitida) y tres medios (seco, agua y alcohol) (Campana, 2014).

Una vez definida la técnica, los cortes fueron puestos en portaobjetos de vidrio y observados en un microscopio estereoscopio (Discovery V8, Zeiss) y se digitalizaron

con una cámara (AxioCam ERc5s), utilizando el software Zen Lite 2012 (Zeiss, 2012).

#### 5.4. Precisión y sesgo de las lecturas

Con el fin evaluar la precisión y el sesgo de la estimación de la edad, dos lectores, de manera independiente, realizaron lecturas sin tener conocimiento de la longitud de cada individuo (Goldman, 2005).

Para establecer la relación entre las dos lecturas (lector 1, mayor experiencia y lector 2, menor experiencia) y entre lecturas realizadas por el lector 2 (lectura 1 y lectura 2), se realizaron curvas de tendencia y se evaluó el porcentaje de acuerdo (*PA*) con lecturas iguales y con  $\pm 1$  marca de diferencia (Cailliet & Goldman, 2004):

$$PA = \frac{LI}{TL} * 100$$

Donde *LI* es el número de lecturas iguales y *TL* es el total de lecturas realizadas para cada vértebra.

De igual manera, para verificar la precisión entre las dos lecturas hechas por los lectores y entre las lecturas hechas por el lector 2, se calculó el índice de error promedio *APE* (por sus siglas en inglés), el cual determina el porcentaje de error en las lecturas (Beamish & Fournier, 1981):

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

Donde *R* es el número de veces que se leyó la estructura,  $X_j$  es el número de marcas promedio para el *j*-ésimo individuo,  $X_{ij}$  es el número de marcas del *i*-ésimo lector para el *j*-ésimo individuo y *N* es el número de muestras.

También se determinó el coeficiente de variación (*CV*), el cual establece la variación entre las observaciones realizadas (Chang, 1982)

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

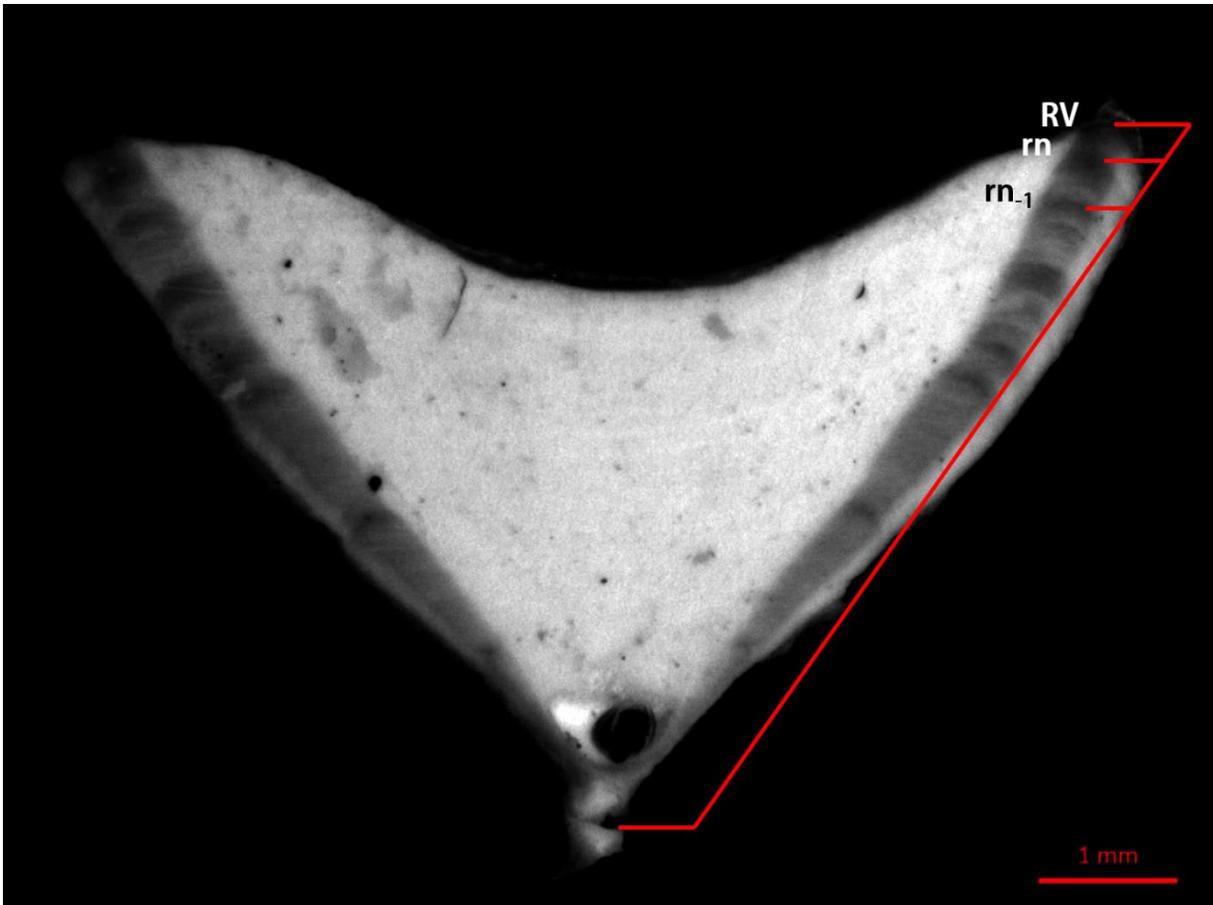
Donde  $R$  es el número de veces que se leyó la estructura,  $X_j$  es el número de marcas promedio para el  $j$ -ésimo individuo y  $X_{ij}$  es el número de marcas del  $i$ -ésimo lector para el  $j$ -ésimo individuo.

### 5.5. Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento

Con el fin de inferir la periodicidad de formación de cada banda, se utilizaron de manera complementaria dos métodos, uno cualitativo y otro cuantitativo, el primero consistió en calcular el porcentaje de individuos con vértebras terminadas en borde opaco y traslucido (Ishiyama, 1978; Tanaka & Mizue, 1979). El segundo fue el análisis del Incremento Marginal ( $IM$ ) con el que se estimó la frecuencia de la formación de las bandas de crecimiento, partiendo de la premisa de que los valores cercanos a cero indican el inicio de la formación de la banda y valores cercanos a uno indican la finalización. Calculado de la siguiente manera (Cailliet & Tanaka, 1990):

$$IM = \frac{RV - rn}{rn - rn_{-1}}$$

Donde  $RV$  es la distancia del foco al borde de la vértebra (mm),  $rn$  es la distancia del foco a la última marca totalmente depositada (mm) y  $rn_{-1}$  es la distancia del foco a la penúltima marca totalmente depositada (mm) (Figura 6). La medición de dichas distancias se llevó a cabo a través del programa de análisis de imágenes SigmaScan Pro 5.0 (SPSS Inc.). Posteriormente se graficaron de manera conjunta el porcentaje mensual de tipo de borde y los promedios mensuales de  $IM$ .



**Figura 6.** Mediciones realizadas en las vértebras de *Mustelus californicus*. Radio de la vértebra (RV). Distancia del foco a la última marca totalmente depositada (rn). Distancia del foco a la penúltima marca totalmente depositada (rn-1).

### 5.6. Relación Longitud total-Radio de la vértebra (LT-RV)

La relación LT-RV se estimó para hembras y machos usando una regresión lineal con la finalidad de comprobar si la estructura crece proporcionalmente a la longitud del organismo, expresándose de la siguiente forma:

$$LT = a + b * RV$$

Donde *LT* es la Longitud total, *RV* es el radio de la vértebra, *a* es la ordenada al origen y *b* es la pendiente de la recta. Para establecer si hubo diferencias entre sexos se realizó el análisis de homogeneidad de pendientes y elevaciones.

## 5.7. Estructura de edades

Los criterios establecidos por los dos lectores para estimar la edad fueron considerar cada par de bandas (opaca y traslúcida) como una marca de crecimiento, descontar la marca de nacimiento y cuando el borde de la vértebra fuera traslúcido asumirlo como un año completo. Con los conteos realizados se elaboraron histogramas de frecuencia con el fin de describir la estructura de edades, evaluando la diferencia entre las distribuciones de ambos sexos a partir de la prueba de Kolmogorov-Smirnov y entre tallas promedio mediante la prueba de Mann-Whitney.

## 5.8. Modelos de crecimiento

Para estimar el patrón de crecimiento de los individuos de *M. californicus* capturados en el área de Bahía Tortugas, B.C.S, a los datos observados de cada sexo, se ajustaron, a través del método de mínimos cuadrados, los siguientes modelos:

- Modelo de von Bertalanffy (VBGM) por sus siglas en inglés (Beverton & Holt, 1957)

Dos parámetros (VBGM2P):  $L_t = L_\infty - (L_\infty - L_0)(e^{(-k+t)})$

Tres parámetros (VBGM3P):  $L_t = L_\infty(1 - e^{-k(t-t_0)})$

- Modelo de Gompertz (GGM) por sus siglas en inglés (Ricker, 1979)

Dos parámetros (GGM2P):  $L_t = L_0 \times \left\{ e^{e^{\left[ \ln\left[ \frac{L_\infty}{L_0} \right] \times (1 - e^{-kt}) \right]}} \right\}$

Tres parámetros (GGM3P):  $L_t = L_\infty \times e^{\left[ e^{-k(t-t_0)} \right]}$

Donde según Branccini *et al.* (2007)  $t$  es la edad estimada,  $L_t$  es la longitud total a la edad  $t$ ,  $L_\infty$  es la talla asintótica teórica, es decir, el tamaño promedio que los individuos alcanzarían si viviera indefinidamente,  $k$  es el coeficiente de crecimiento,  $t_0$

es la edad hipotética a la edad cero y  $L_0$  es la longitud total al nacer, la cual fue promediada a partir de lo reportado por Compagno (1984) y Pérez-Jiménez (2006).

Para seleccionar el modelo con mejor ajuste se utilizó la teoría de información por medio del criterio de Akaike ( $AIC$ ), el cual tiene en cuenta la cantidad de parámetros, la bondad de ajuste y jerarquiza de acuerdo al valor de  $AIC$  de cada modelo (Katsanevakis & Maravelias, 2008), calculándose a partir de la siguiente fórmula:

$$AIC = 2 \ln(L) + 2p$$

Donde  $L$  es la máxima verosimilitud y  $p$  es el número de parámetros. Para conocer el soporte estadístico de cada modelo candidato, se estimó la diferencia de Akaike ( $\Delta_i$ ) calculando las diferencias entre los  $AIC$  de cada modelo:

$$\Delta_i = AIC_i - AIC_{min}$$

Donde, si el valor de  $\Delta_i$  del modelo es  $>10$  indica un modelo sin soporte estadístico y por lo cual no podrá ser tomado en cuenta como modelo alternativo para describir el crecimiento, si el valor de  $\Delta_i$  es  $<2$  indica un buen soporte estadístico, sugiriendo que el modelo puede ser utilizado como alternativo para la descripción del crecimiento y si el valor de  $\Delta_i$  se encuentra entre 4 y 7 el modelo puede considerarse como alternativo, pero con menor soporte estadístico que el anterior.

Finalmente, el peso de Akaike ( $W_i$ ) fue calculado para cada modelo con el fin de conocer la evidencia estadística (que porcentaje está explicando cada modelo), considerándose buena aquella en donde los valores sean iguales o mayores a 0.9 (90%) (Katsanevakis, 2006; Katsanevakis & Maravelias, 2008), cuya ecuación se da de la siguiente forma:

$$W_i = \frac{e^{\left(-\frac{1}{2}\Delta_i\right)}}{\sum e^{\left(-\frac{1}{2}\Delta_k\right)}}$$

## 6. RESULTADOS

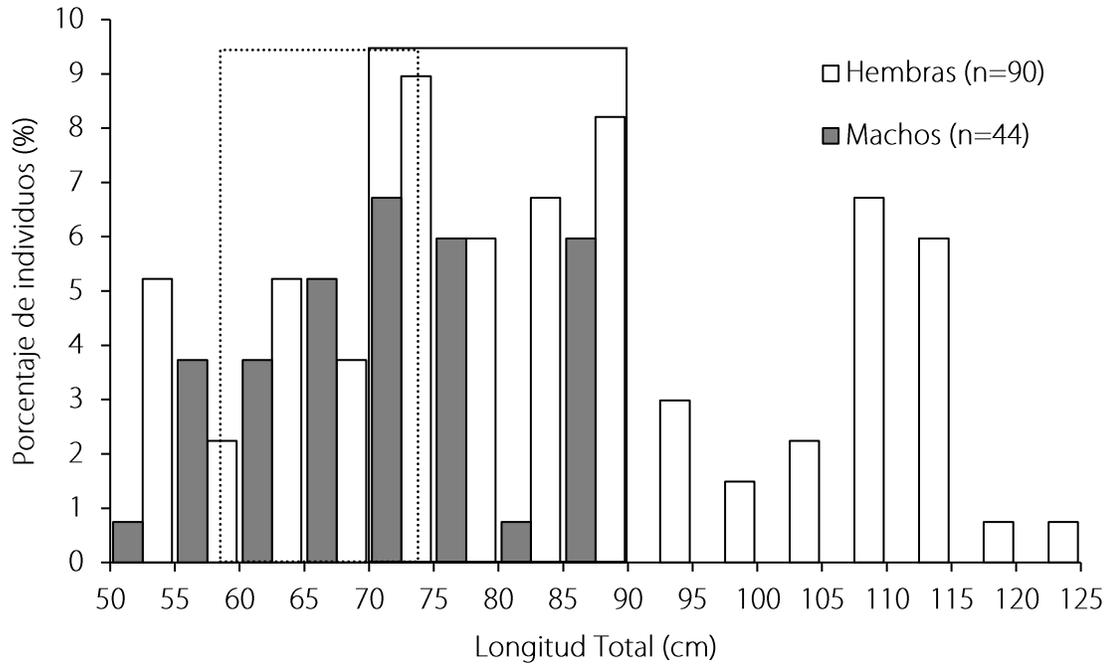
### 6.1. Estructura de tallas

De marzo de 2013 a agosto de 2016, se registraron 134 individuos de *M. californicus*, de los cuales 90 fueron hembras y 44 machos, cuya proporción sexual de 2H:1M fue significativamente diferente de la esperada (1H:1M;  $X^2 = 15.79$ ;  $p < 0.05$ ).

El intervalo de tallas general fue de 53-123 cm LT, mientras que para los machos fue de 53-89.2 cm LT y para las hembras de 55-123 cm LT. La talla promedio fue mayor ( $U=989.5$ ;  $p < 0.05$ ) en hembras (87.6 cm LT) que en machos (72 cm LT). La estructura de tallas fue significativamente diferente para machos y hembras (KS:  $D_{max}=0.44$   $p < 0.001$ ) (Figura 7).

La estructura de tallas de machos presentó una sola moda, alrededor de los 70 cm LT. Los individuos dentro del intervalo de talla de madurez (57-74 cm LT) (Yudin & Cailliet, 1990; Pérez-Jiménez, 2006) representaron el 16% de la muestra. En el caso de las hembras, fue posible observar tres modas, destacándose, al igual que para los machos, las tallas de 70-75 cm LT. El porcentaje de hembras que se encontraron en el intervalo de talla de madurez (70-90 cm LT) (Yudin & Cailliet, 1990; Pérez-Jiménez, 2006) fue del 30% de la captura.

La muestra se caracterizó por presentar un elevado porcentaje de individuos maduros de ambos sexos, donde los machos aportaron el 32% y las hembras el 55% del total, mientras que la presencia de inmaduros para ambos sexos fue mucho menor (machos=1% y hembras=13%).

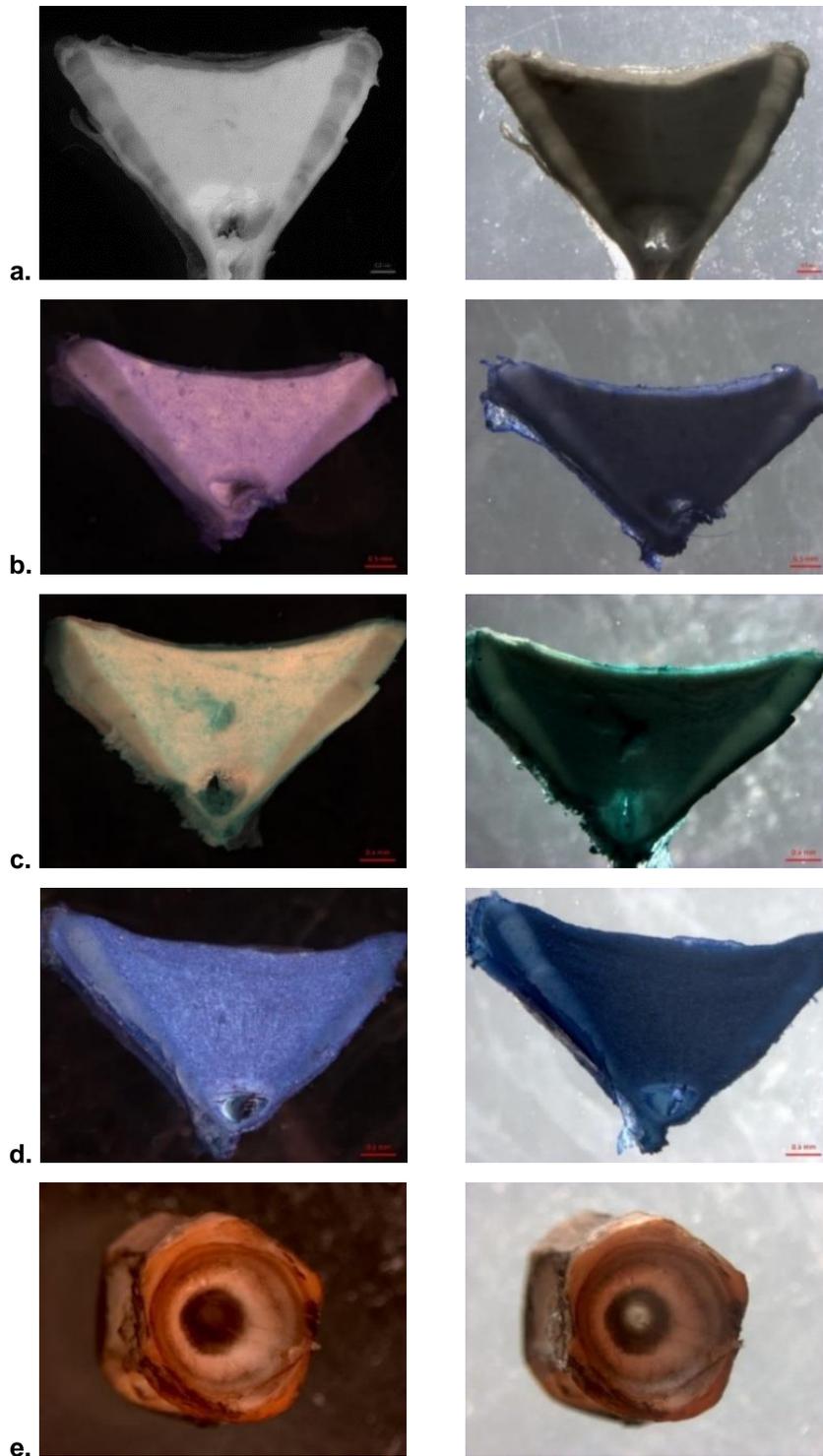


**Figura 7.** Estructura de tallas por sexos de *Mustelus californicus* para las capturas en el área de Bahía Tortugas. Intervalos de talla de madurez para machos (línea punteada) y hembras (línea continua) tomados de Compagno (1984) y Pérez-Jiménez (2006).

## 6.2. Preparación de las vértebras

Las pruebas para mejorar la visualización de las marcas de crecimiento mostraron que el corte más adecuado fue el de 0.3 mm con luz reflejada. Por otro lado, las técnicas para resaltar las marcas no mostraron una diferencia clara, ya que los cortes se cubrieron de manera homogénea sin incrementar la diferencia entre las bandas opacas y translúcidas (Figura 8a-d).

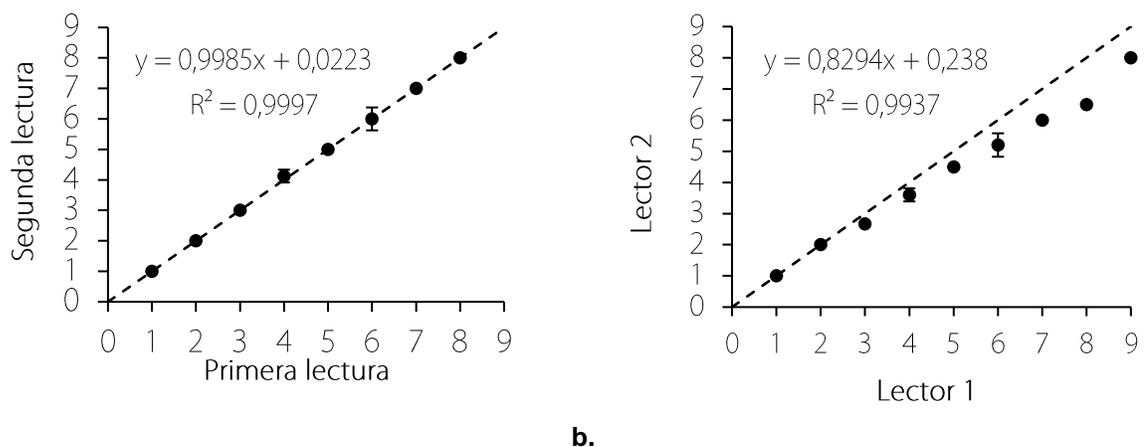
Con el nitrato de plata, además de no ser posible estandarizar los tiempos de exposición a la luz ultravioleta, en aquellas que se logró una correcta exposición, solo se pudieron evidenciar las marcas cercanas al foco (Figura 8e). Por lo anterior, las lecturas fueron hechas en el grosor de 0.3 mm, sin tinción y con luz reflejada.



**Figura 8.** Tratamientos para evidencias las marcas de crecimiento en las vértebras de *Mustelus californicus*. Izquierda: fuente de luz reflejada. Derecha: fuente de luz transmitida. **a.** Sin tratamiento. **b.** cristal violeta al 0.001%. **c.** Verde claro al 0.01%. **d.** Azul de metileno al 0.01%. **e.** Nitrato de plata.

### 6.3. Precisión y sesgo de las lecturas

Los registros de las lecturas de marcas de crecimiento mostraron una alta correlación tanto para las efectuadas por el mismo lector ( $R^2=0.99$ ) como para las hechas entre lectores ( $R^2=0.99$ ), con un porcentaje de acuerdo elevado ( $PA=90\%$ ;  $PA_{\pm 1}=100\%$  y  $PA=33\%$ ;  $PA_{\pm 1}=93.33\%$  respectivamente) (Figura 9). Así mismo los valores de porcentaje de error promedio y coeficiente de variación para los dos casos fueron  $<10\%$  (entre lecturas  $APE=2.49$ ;  $CV=0.39$  y entre lectores  $APE=7.09$ ;  $CV=1.49$ ), lo cual indicó una buena precisión en las lecturas. Sin embargo, se pudo observar que, a partir de la marca seis existe una variación en los conteos entre los lectores de  $\pm 1$  marca de crecimiento.



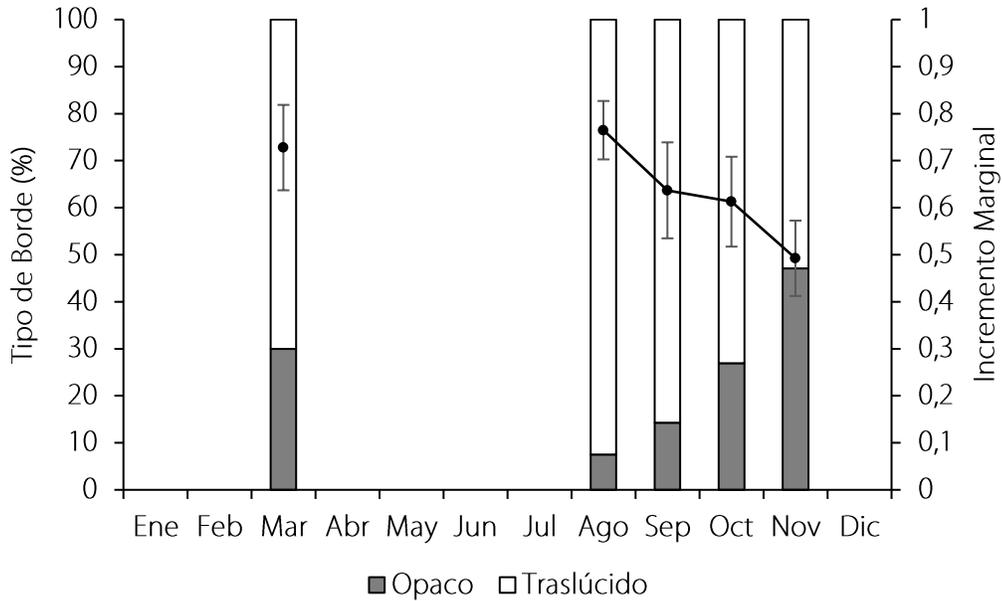
a.

b.

**Figura 9.** Gráfica de sesgo entre las lecturas hechas por el mismo lector (a) y entre lectores (b).

### 6.4. Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento

Se pudo observar que los promedios de  $IM$  mostraron valores altos en el mes de agosto, coincidiendo con un porcentaje alto de individuos con borde traslúcido, destacándose una tendencia a la finalización de la formación de la marca hacia el mes de agosto (Figura 10); La ausencia de datos en algunos meses no permitió estimar con claridad la periodicidad de las marcas de crecimiento, por lo que se tomó como referencia la formación anual de las marcas de crecimiento, reportada para esta especie en aguas de California por Yudin y Cailliet (1990).

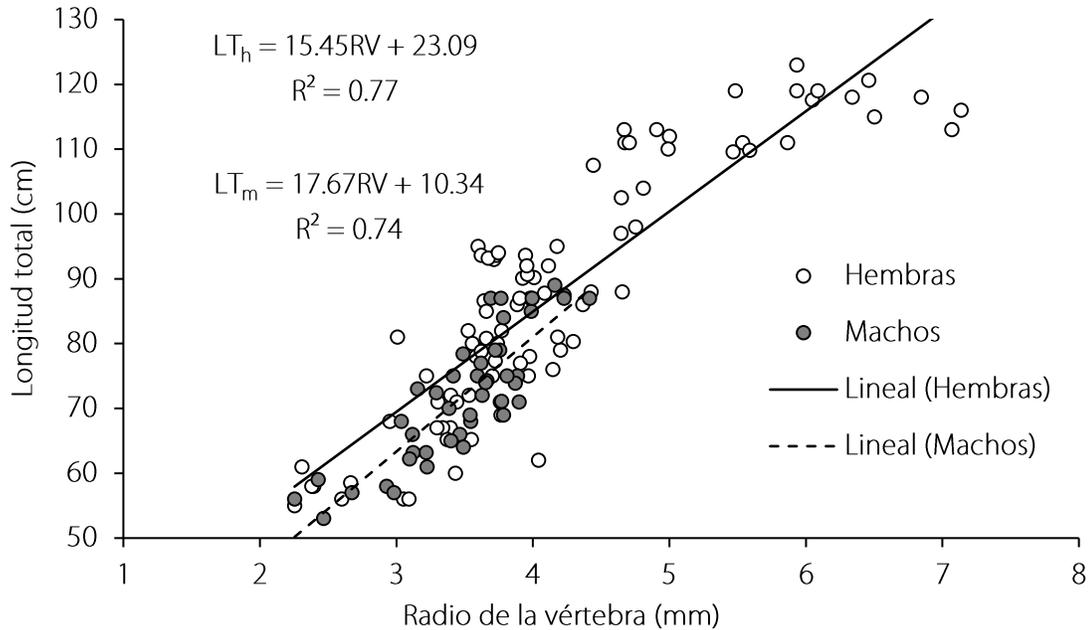


**Figura 10.** Tipo de borde e incremento marginal de las vértebras de *Mustelus californicus* para las capturas en el área de Bahía Tortugas B.C.S.

### 6.5. Relación Longitud total-Radio de la vértebra (LT-RV)

Se llevó a cabo una regresión con el fin de ver si el tamaño de las vértebras está relacionado con la talla de los individuos. Se encontró una correlación lineal relativamente alta entre la talla de los individuos y el tamaño de la estructura en ambos sexos (machos:  $R^2 = 0.74$ , hembras:  $R^2 = 0.77$ ) (Figura 11), con diferencias significativas entre las pendientes de ambos sexos (pendiente:  $F=11.98$ ,  $p<0.01$ ; elevación:  $F=147.08$ ,  $p<0.01$ ), por lo que el análisis se realizó para machos y hembras por separado.

La relación encontrada muestra que las vértebras crecen de manera proporcional a los individuos de *M. californicus*, lo que indica que son estructuras que evidencian de una manera apropiada el crecimiento, permitiendo la estimación de la edad de las capturas de la pesca artesanal del área de Bahía Tortugas, B.C.S.

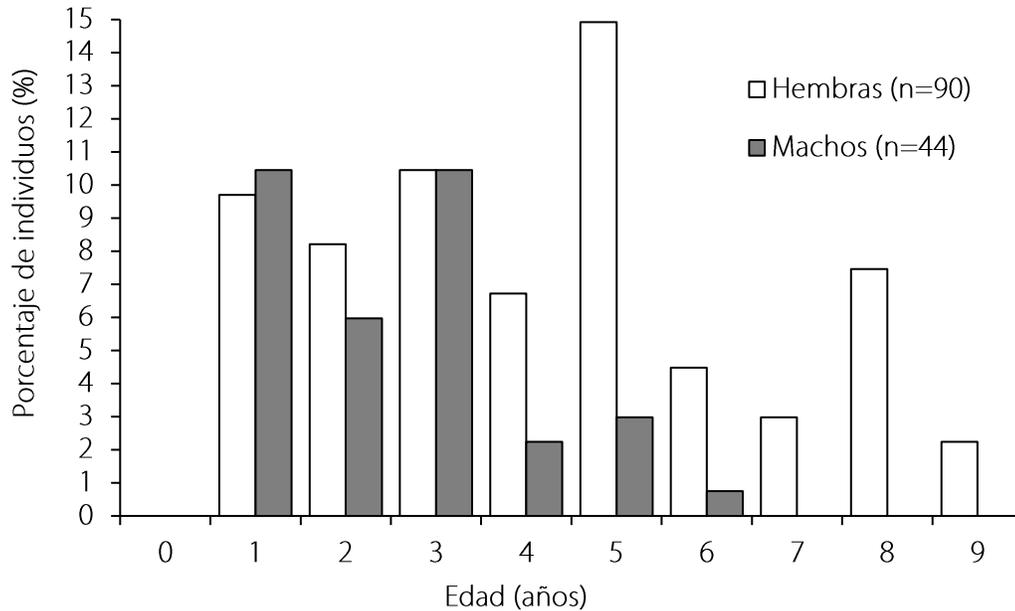


**Figura 11.** Relación longitud total (LT) y radio de la vértebra (RV) para las capturas de hembras y machos de *Mustelus californicus* en el área de Bahía Tortugas, B.C.S.

### 6.6. Estructura de edades

La estructura de edades mostró 9 grupos de edad, sin la presencia de individuos del grupo cero, con diferencias entre sexos (KS:  $D_{max}=0.39$ ;  $p<0.001$ ). La edad promedio ( $U=1098.5$ ;  $p<0.05$ ) fue mayor para hembras (4.3 años) que para machos (2.5 años).

Las hembras tuvieron un intervalo de 1 a 9 años, con una mayor presencia de organismos de cinco años de edad (15%) seguido de los grupos de tres (10%) y un año (10%); mientras que para los machos se encontró una edad máxima de 6 años con mayor abundancia de individuos en las edades de uno (10%) y tres años (10%) y con un menor porcentaje (1%) de individuos del grupo de edad 6 (Figura 12).



**Figura 12.** Estructura de edades por sexos de *Mustelus californicus* para las capturas en el área de Bahía Tortugas.

### 6.7. Modelos de crecimiento

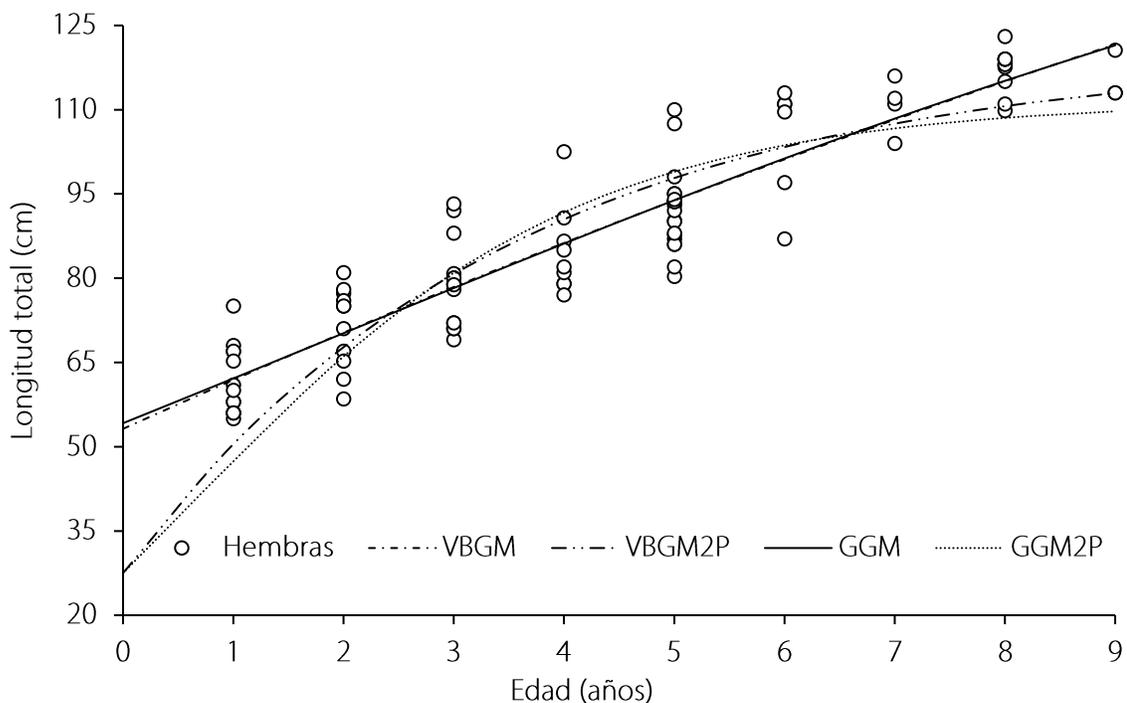
De los cuatro modelos evaluados para los datos observados, en ambos sexos, ninguno mostró un ajuste que se destacara, debido a que los valores de  $AIC$  fueron muy similares. Por lo que se tuvo en cuenta el soporte estadístico ( $\Delta_i$ ) de cada modelo, encontrando como modelos alternativos los de VBGM3P y GGM3P.

Debido a que el peso de Akaike ( $W_i$ ) fue similar para ambos modelos, tanto para machos como para hembras, presentando valores  $<90\%$ , se tuvieron en cuenta parámetros como la talla asintótica y coeficiente de crecimiento, para determinar el modelo mejor ajustado a los datos de las capturas del área de Bahía Tortugas, B.C.S.

Para las hembras, el modelo con mejor ajuste de acuerdo a los parámetros mencionados, fue el de GGM3P debido a que la talla asintótica ( $LT_{\infty}$ ) que presentó fue más próxima a la talla máxima (160 cm  $LT$ ) reportada por Compagno (1984) y por lo tanto la tasa de crecimiento ( $k$ ) no es subestimada como se observa en el caso de VBGM3P (Tabla 1; Figura 13).

**Tabla 1.** Modelos de crecimiento aplicados a los datos de captura de hembras de *Mustelus californicus* en el área de Bahía Tortugas. En negrilla se resalta el modelo con mejor ajuste.

<b>Modelo</b>	<b>LT<math>\infty</math></b>	<b>k</b>	<b>to</b>	<b>LTo</b>	<b>AIC</b>	<b><math>\Delta_i</math></b>	<b>wi</b>
VBGM3P	307.34	0.03	-5.45	NA	356.62	0.25	0.47
VBGM2P	120.12	0.28	NA	27.5	400.07	43.70	0.00
<b>GGM3P</b>	<b>186.65</b>	<b>0.12</b>	<b>1.81</b>	<b>NA</b>	<b>356.38</b>	<b>0.0</b>	<b>0.53</b>
GGM2P	111.56	0.49	NA	27.5	422.15	65.77	0.00

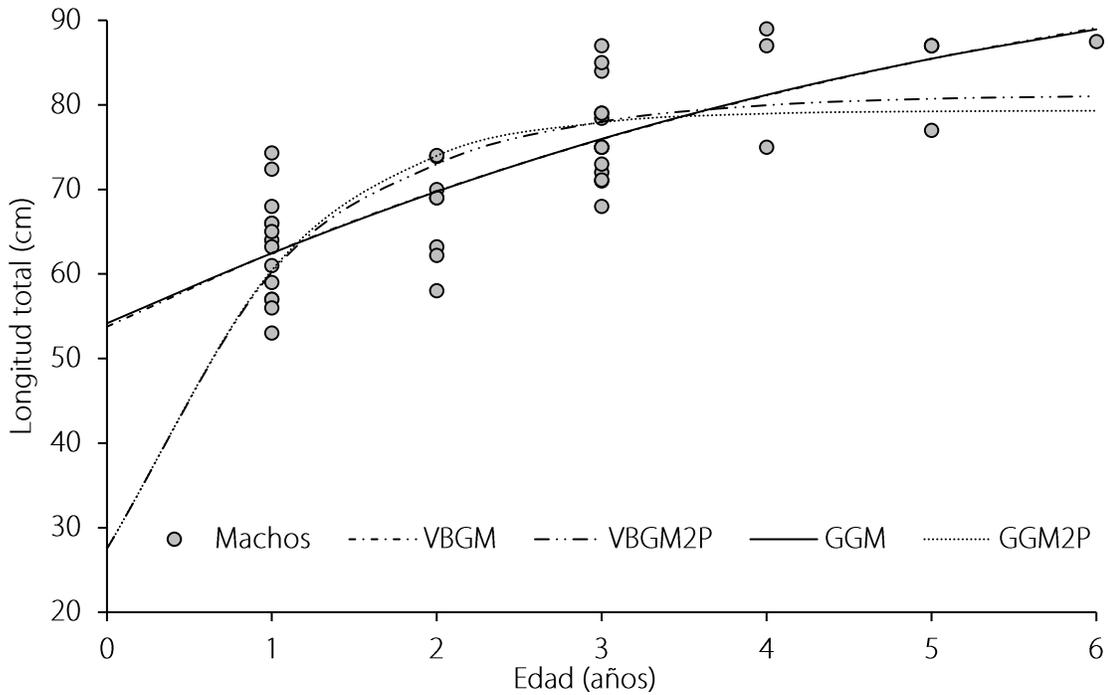


**Figura 13.** Modelos de crecimiento ajustados a los datos de captura de hembras de *Mustelus californicus* en el área de Bahía Tortugas.

En los machos, los valores de los parámetros a tener en cuenta fueron relativamente similares, observándose que tanto la  $LT_{\infty}$  como la  $k$  no presentaron valores subestimados o sobreestimados, por lo que el modelo que se consideró con un mejor ajuste fue el de VBGM3P, ya que la talla asintótica fue más cercana a los 116 cm  $LT$  máximos reportados por Compagno (1984) (Tabla 2; Figura 14).

**Tabla 2.** Modelos de crecimiento aplicados a los datos de captura de machos de *Mustelus californicus* en el área de Bahía Tortugas. En negrilla se resalta el modelo con mejor ajuste.

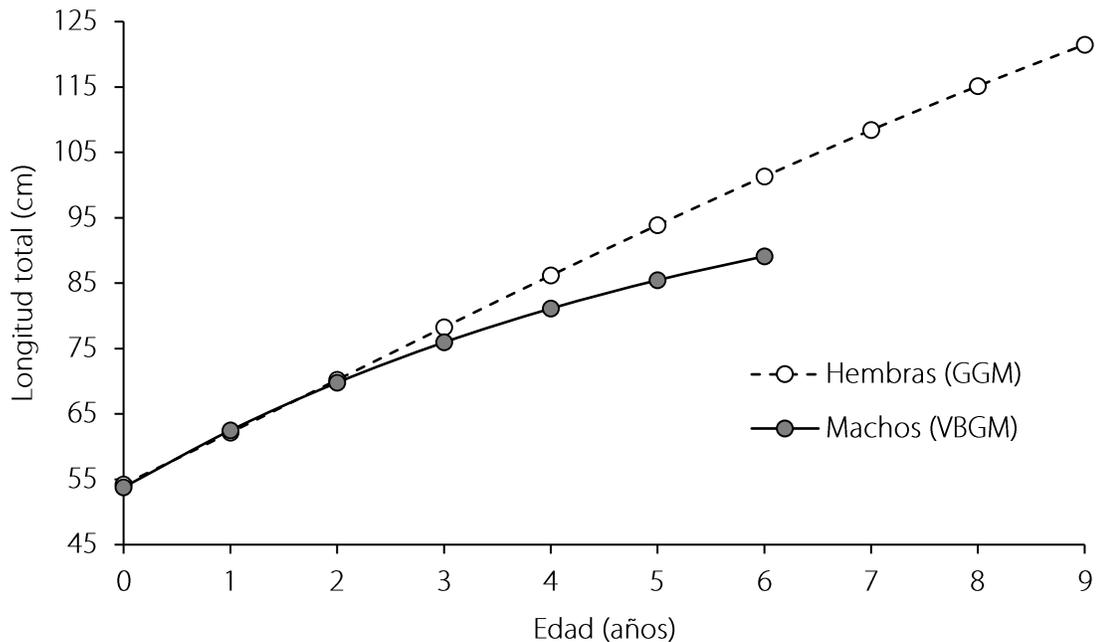
Modelo	$LT_{\infty}$	k	$t_0$	$L_{T_0}$	AIC	$\Delta_i$	$w_i$
<b>VBGM3P</b>	<b>108.0</b>	<b>0.17</b>	<b>-0.87</b>	<b>-3.91</b>	<b>159.24</b>	<b>0.11</b>	<b>0.48</b>
VBGM2P	81.21	0.94	NA	NA	169.14	10.01	0.00
<b>GGM3P</b>	<b>102.0</b>	<b>0.25</b>	<b>0.00</b>	<b>-1.79</b>	<b>159.13</b>	<b>0.0</b>	<b>0.52</b>
GGM2P	79.32	1.36	NA	NA	173.15	14.02	0.00



**Figura 14.** Modelos de crecimiento aplicados a los datos de captura de machos de *Mustelus californicus* en el área de Bahía Tortugas.

Al comparar los modelos con mejor ajuste de ambos sexos, se pudo observar que tanto machos como hembras presentaron el mismo crecimiento durante los dos primeros años de vida, alcanzando una  $LT$  de 70 cm, la cual es cerca del 79% de la talla máxima observada para los machos.

A partir del tercer año, se evidenció un incremento en la talla por parte de las hembras, llegando al 63% de su talla máxima observada con una LT de 78 cm. Se puede observar que el incremento de talla en las edades cinco y seis es mayor, alcanzando una diferencia de 10 cm sobre los machos (Figura 15).



**Figura 15.** Patrones de crecimiento de machos (VBGM) y hembras (GGM) de *Mustelus californicus* para el área de Bahía Tortugas, B.C.S.

## 7. DISCUSIÓN

Los intervalos de tallas encontrados en este estudio fueron similares a los reportados por Yudin & Cailliet (1990), las hembras de *M. californicus* presentaron valores mayores que los machos, sin embargo, los individuos encontrados en aguas de California mostraron tallas ligeramente mayores (+2 cm para hembras y +4 cm para machos) a las del presente estudio.

En la mayoría de las especies de tiburones, incluyendo el género *Mustelus*, las hembras presentan tallas mayores que los machos (Francis, 1981; Yudin & Cailliet, 1990; Moulton *et al.*, 1992; Yamaguchi *et al.*, 1999; Francis & Maolagáin, 2000; Conrath *et al.*, 2002; Sims, 2005; Da Silva, 2007; Mééndez-Loeza, 2008 y Farrel *et*

al., 2010) está diferencia en tamaño posiblemente se deba a los requerimientos fisiológicos y energéticos utilizados en la reproducción (Sims, 2005).

Se encontró que, el mayor porcentaje de los individuos en la muestra eran maduros de acuerdo a las tallas de madurez reportadas por Yudin, (1987), Compagno (1984) y Pérez-Jiménez (2006). Sin embargo, también se contó con presencia de tallas por debajo de la madurez, evidenciando una representación apropiada de la estructura de tallas para el estudio de edad y crecimiento.

La estructura de tallas de las capturas se ve influenciada por el arte de pesca, la zona y profundidad de las faenas, así como la talla de los organismos presentes en la zona (Walker ,2005). Es posible suponer que en el área existen organismos juveniles menores a 50 cm LT, ya que se han observado hembras grávidas con embriones a término que muy probablemente tengan a las crías en la zona, sin embargo, estos organismos (<50 cm LT) no están accesibles a la pesquería.

Aunque la pesquería artesanal es un factor importante, debido a los artes de pesca utilizados y la ubicación de sus sitios de captura, también es preciso considerar que esta diferencia en tallas puede verse influenciada de igual manera por las migraciones hacia el norte de su distribución en verano permaneciendo poco tiempo en aguas cercanas a la costa (Yudin & Cailliet, 1990; Márquez-Farías, 2000; Compagno, 2005; Pérez-Jiménez, 2006).

La diferencia en la proporción sexual, pudiera ser atribuida a que al igual que en el Golfo de California, en el área de Bahía tortugas se presenten zonas exclusivas para la reproducción y crianza (Pérez-Jiménez, 2006), ocasionando una segregación sexual que se ve representada en las capturas de *M. californicus* de la pesquería del área de Bahía Tortugas.

La aplicación de diferentes procedimientos para resaltar la visibilidad de las marcas de crecimiento, tienen como fin facilitar su identificación y conteo (Neer, 2005; Neer & Thompson, 2005). En este trabajo, las tinciones realizadas no mejoraron la visibilidad de las marcas de crecimiento. Aun cuando la tinción con nitrato de plata, resaltó las primeras marcas de crecimiento, esta no permitió

distinguir las marcas que se encontraban en la periferia de la vértebra coincidiendo con lo reportado por Yudin & Cailliet (1990) para las muestras obtenidas de las pesquerías de California.

Estos resultados, pueden atribuirse a la variación en la mineralización de las vértebras de *M.californicus*, ya que es mayor con respecto a otras especies de tiburones e incluso presenta una alta variación entre individuos (Porter *et al.*, 2006; Porter *et al.*, 2007). Lo anterior, se debe a que la mineralización del cartílago vertebral muestra variación en tres niveles (interespecíficos, intraespecíficos e individual), la cual cambia dependiendo del área o localidad donde se encuentren (condiciones ambientales) y de la capacidad de fijación de cada especie e individuo, lo que afecta la proporción en la concentración de calcio y fósforo fijados en estas estructuras (Dean & Summer, 2006; Porter *et al.*, 2006). Como consecuencia, existe una diferencia en la afinidad con los compuestos químicos de cada técnica entre especies e incluso entre individuos.

Teniendo en cuenta que la estimación del sesgo y la precisión son criterios clave para considerar que las lecturas son adecuadas para estimar la edad (Campana *et al.*, 1995). Los resultados del presente estudio, en los que se observó una variación de  $\pm 1$  marca de crecimiento a partir de la edad 6, evidenciaron que hubo una precisión elevada, indicando que se mantuvieron criterios consistentes en la lectura de las marcas de crecimiento (Campana, 2001).

La variación observada en el conteo de marcas de crecimiento en los individuos de seis años en adelante, puede ser atribuida según Campana (2014), a que en la lectura de vértebras de edades mayores, puede haber una subestimación. Debido a que los individuos más grandes, aumentan en edad, pero su crecimiento es más lento, lo que ocasiona que las marcas formadas en los últimos años se apilen unas con otras, dificultando su lectura.

Para validar adecuadamente el ciclo completo de la formación de las marcas de crecimiento, Campana (2001) recomienda un periodo de muestreo de al menos dos años con el fin de obtener muestras de un año tipo. En el presente estudio se contó

con muestras de tres años, sin embargo, solo se obtuvieron datos para cinco meses y en algunos de ellos fueron escasos. Por lo anterior, no fue posible evidenciar de una manera clara la periodicidad en la formación de las marcas de crecimiento, impidiendo compararla con la formación anual reportada para esta misma especie por Yudin & Cailliet (1990). Sin embargo, de manera preliminar, con los datos observados se infiere, que para esta zona las marcas de crecimiento podrían estar terminando su formación en el mes de agosto.

La escasa cantidad de datos en algunos meses y la ausencia en otros, posiblemente se deba no solo a que, en investigaciones con especies de importancia comercial, como el presente estudio, las muestras están sujetas a las capturas provenientes de la pesca artesanal (Márquez-Farías, 2000), sino también a la presencia estacional de individuos en la zona de pesca, la cual está influenciada por las condiciones ambientales o disponibilidad de alimento (Walker, 2005).

Establecer el tipo de relación del crecimiento entre las vértebras y el individuo, es un factor importante para determinar si estas estructuras reflejan el crecimiento corporal y, por lo tanto, permiten describir el crecimiento y estimar la edad (Piercy *et al.*, 2006). Por lo que la buena correlación de RV-LT obtenida, evidenció que las vértebras crecen de manera proporcional a los individuos de *M. californicus* y que son estructuras aptas para determinar de su edad y describir su crecimiento.

En el género *Mustelus*, se ha encontrado de manera general que las hembras presentan edades mayores que los machos, sin embargo, el espectro de edades varía ampliamente entre especies del mismo género, encontrando edades para hembras que van desde los 9 hasta los 24 años y para machos desde los 5 hasta los 18 años (Tabla 3).

De acuerdo al conteo de marcas de crecimiento de *M. californicus* en este estudio, se estimó que esta especie presenta edades máximas de 9 años para las hembras y 6 años para los machos, valores que coinciden con los reportados previamente por Yudin & Cailliet (1990) en aguas de California, E.U.A.

La diferencia en la edad máxima entre machos y hembras, al igual que las diferencias en las tallas, puede ser atribuida, a que en los elasmobranquios que presentan un tipo de reproducción vivíparo las hembras no presentan senescencia reproductiva, por lo que aquellas que presentan edades y por lo tanto tallas mayores suelen ser las más fecundas (Pratt & Casey, 1990; Cortés, 2000).

La estructura por edades de ambos sexos evidenció que la mayor parte de los individuos capturados, se encuentra por encima de la edad de madurez (machos:1-2 años y hembras: 2-4 años) reportada por Yudin & Cailliet (1990) para *M. californicus*, por lo que se puede establecer que en esta zona *M. californicus* está siendo aprovechado en los grupos de edad adecuados.

Las edades máximas obtenidas en el presente estudio, son similares a las de *M. manazo* (Yamagochi *et al.*, 1999), siendo ambas especies, las de menor longevidad con respecto al resto de las especies del género (Tabla 3). Lo anterior, sugiere que *M. californicus* no es tan longeva como sus especies congéneres.

**Tabla 3.** Edades máximas reportadas para especies del género *Mustelus*.

Especie	Edad (años)		Fuente
	Machos	Hembras	
<i>M. californicus</i>	6	9	Este estudio
<i>M. californicus</i>	6	9	Yudin & Cailliet, 1990
<i>M. antarcticus</i>	13	16	Moulton <i>et al.</i> , 1992
<i>M. manazo</i>	5	9	Yamagochi <i>et al.</i> , 1999
<i>M. lenticulatus</i>	11	12	Francis & Maolagáin, 2000
<i>M. canis</i>	10	16	Conrath <i>et al.</i> , 2002
<i>M. mustelus</i>	18	24	Da Silva, 2007
<i>M. henlei</i>	9	14	Méndez-Loeza, 2008
<i>M. asterias</i>	13	18	Farrel <i>et al.</i> , 2010

Los parámetros a tener en cuenta para conocer la historia de vida de una especie, son los estimados a través de los estudios de edad y crecimiento, ya que son pieza importante para entender sus estrategias de vida y evaluar sus poblaciones (Frisk *et al.*, 2001; Cailliet *et al.*, 2006).

En elasmobranchios, el modelo de crecimiento más utilizado es el propuesto por von Bertalanffy, debido a que está construido partiendo del fundamento biológico de que el crecimiento es el producto de dos procesos opuestos, catabolismo y anabolismo (Goldman, 2005). Sin embargo, algunos estudios han examinado otros modelos de crecimiento (Carlson & Baremore, 2005), con el fin de determinar cuál proporciona la mejor descripción del proceso de crecimiento (Haddon, 2001). Dentro de estos, el de Gompertz ha mostrado un ajuste adecuado al crecimiento de varias especies acuáticas (Katsanevakis, 2006).

De acuerdo con lo anterior, en este estudio se evaluaron los dos modelos mencionados con sus variantes de dos y tres parámetros, teniendo en cuenta la recomendación realizada por Carlson *et al.* (2003), en donde indican que se debe utilizar el valor conocido de  $LT_0$  en reemplazo de  $t_0$ , ya que este último se considera un parámetro sin significado biológico.

Teniendo en cuenta que la teoría de información de Akaike no presentó un modelo único para describir el crecimiento en ambos sexos, la selección del modelo con mejor ajuste se definió con base en las estimaciones de los parámetros biológicamente más significativos ( $LT_\infty$  y  $k$ ) y las características de la especie, de aquellos modelos con mayor  $W_i$  (Romine *et al.*, 2006; Katsanevakis y Maravelias; 2008).

Aunque las tasas de crecimiento halladas para ambos sexos en el presente estudio, mostraron valores más bajos que los reportados por Yudin y Cailliet (1990) para esta especie (Tabla 4) en las costas de California. El crecimiento de los machos es más rápido que en las hembras, al igual que en este estudio.

El ajuste de modelos diferentes entre el estudio realizado en California (VBGN3P para ambos sexos) y el presente estudio (BVGM3P para machos y GGM3P para hembras) puede ser debido a que las vértebras que se encuentran bajo la primera aleta dorsal (zona torácica) son las más adecuadas para estimar la edad, ya que son las de mayor tamaño y por lo tanto facilitan la lectura de las marcas de crecimiento (Cailliet *et al.*, 1983; Goldman, 2004). Sin embargo, en los tiburones capturados

comercialmente, como fue el caso de nuestra especie objetivo, se extraen las vértebras de la zona cervical (zona posterior al cráneo), con el fin de afectar lo menos posible el producto al momento de su comercialización (Natason *et al.*, 2002).

Las diferencias en la descripción del crecimiento en California y el área de Bahía Tortugas, pueden ser consecuencia de la diferencia en el tamaño de muestra, el ajuste de modelos de crecimiento aplicados (Cailliet & Goldman, 2004), o que dentro de un mismo grupo de edad pueden encontrarse individuos con diferentes tamaños debido a las condiciones ambientales durante el desarrollo y crecimiento de cada uno y su capacidad para aprovechar el alimento (Dean & Summer, 2006; Porter *et al.*, 2006; Porter *et al.*, 2007).

Al comparar las constantes de crecimiento y las tallas asintóticas obtenidas en el presente estudio, con las reportadas para del género, se observó que al igual que en las otras especies, ambos sexos presentan un crecimiento similar en los dos primeros años de vida (Francis, 1981), aunque los machos tienen un crecimiento más rápido y las hembras alcanzan tallas mayores. De igual manera, los valores de  $k$  indicarían que *M. californicus* podría clasificarse de crecimiento intermedio a rápido dentro de los *Mustelus* (Tabla 4).

**Tabla 4.** Parámetros de crecimiento para especies del género *Mustelus*.

<b>Especie</b>	<b>Sexo</b>	<b>k</b>	<b>LT<sup>∞</sup></b>	<b>To</b>	<b>Fuente</b>
<i>M. californicus</i>	Hembras	0.12	186.6	1.81	Este estudio
	Machos	0.17	108.0	-0.87	
<i>M. californicus</i>	Hembras	0.22	142.4	-1.03	Yudin y Cailliet (1990)
	Machos	0.35	101.8	-1.00	
<i>M. antarticus</i>	Hembras	0.08	233.1	-3.09	Peter <i>et al.</i> (1992)
	Machos	0.19	144.1	-1.83	
<i>M. manazo</i>	Hembras	0.12	113.7	-2.78	Yamaguchi <i>et al.</i> (1999)
	Machos	0.23	82.9	-2.18	
<i>M. lenticulatus</i>	Combinados	0.11	147.2	-2.35	Francis y Maolagáin (2000)
<i>M. canis</i>	Hembras	0.29	123.6	-1.94	Conrath <i>et al.</i> (2002)
	Machos	0.44	105.17	-1.52	
<i>M mustelus</i>	Hembras	0.05	220	4.67	Da Silva (2007)
	Machos	0.08	171	-4.36	
<i>M. henlei</i>	Hembras	0.14	94.41	-2.38	Méndez-Loeza (2008)

---

	Machos	0.28	72.33	-1.36	
	Hembras	0.15	123.5	3.49	
<i>M. asterias</i>	Machos	0.19	103.7	3.81	Farrell <i>et.al.</i> (2010)

---

En cuanto al crecimiento de *M. californicus* comparado con el de otras especies de tiburones, los individuos del área de Bahía Tortugas podrían clasificarse como de crecimiento intermedio, teniendo en cuenta que se han reportado tasas que van desde 0.03 (*Rhincodon typus*) hasta 1.34 (*Carcharhinus plumbeus*; Cailliet & Goldman, 2004).

Finalmente, teniendo en cuenta los parámetros de crecimiento estimados en el presente estudio, y que en los trabajos de edad y crecimiento para el género se han reportado tasas rápidas con respecto a otras especies de tiburones; vale la pena poner en consideración el argumento de que los condriictios tienen un crecimiento lento, ya que según Cailliet & Goldman (2004) existe una amplia variedad de tasas de crecimiento entre este grupo.

## 8. CONCLUSIONES

- Al igual que la mayoría de los condriictios, en el área de Bahía Tortugas, la estructura de tallas evidenció que las hembras de *M. californicus* presentan tallas mayores que los machos.
- Aunque en condriictios se utilizan diferentes técnicas para resaltar las marcas de crecimiento, no fue posible su estandarización debido a la alta variación en la mineralización de las vértebras entre individuos de *M. californicus*, encontrando que el grosor del corte y la fuente de luz fueron los componentes determinantes para las lecturas.
- La marca de crecimiento podría estar finalizando su formación hacia el mes de agosto, sin embargo, la escasez de datos para la construcción de un año tipo, no permitió determinar la periodicidad de las marcas de crecimiento.

- Los grupos de edad encontrados para el área de Bahía Tortugas fueron de 1 a 6 años para machos y de 1 a 9 años para hembras con una representación alta de individuos maduros.
- Debido a la poca presencia de juveniles, es posible considerar que las capturas de *M. californicus*, en el área de Bahía Tortugas tienen un impacto moderado sobre esta población, sin embargo, es necesario corroborarlo con estudios específicos que permitan ampliar la temporalidad y el esfuerzo aplicado.
- El análisis de los modelos de crecimiento mostró que hay un crecimiento diferencial entre sexos, encontrando un mejor ajuste en Gompertz para las hembras y en von Bertalanffy para los machos.
- Las hembras presentaron un crecimiento más lento que los machos alcanzado edades y tallas mayores.
- *M. californicus* presenta un crecimiento de intermedio a rápido dentro su género, mientras que, en comparación a otras especies de tiburones su crecimiento es intermedio.

## **9. RECOMENDACIONES**

Debido a la falta de estudios enfocados a las migraciones de *M. californicus*; se recomienda llevar a cabo estudios de telemetría a lo largo de su zona de distribución, con el fin de evidenciar certera los movimientos realizados por esta especie.

## 10. LITERATURA CITADA

- Amador-Buenrostro, A., Argote-Espinosa, M. L., Mancilla-Peraza, M & Figueroa-Rodríguez, M. 1995. *Ciencias Marinas*, 21(2): 201-223.
- Anderson, E. D. 1990. Estimates of large shark catches in the Western Atlantic and Gulf of Mexico, 1960-1986. En: Pratt Jr., H. L., S. H. Gruber & T. Taniuchi (Eds.). *Elasmobranch as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematic and the Status of the Fisheries*. NOAA Technical Report NMFS 90.
- Anislado-Tolentino, V. & C. Robinson-Mendoza. 2001. Age and growth of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834), along the central Pacific coast of Mexico. *Ciencias Marinas*, 27(4):501-520.
- Beamish, R. J. & Fournier, D. A. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 38: 982-983 p.
- Branccini, J. M., Guillaunders, B.M., Walker, T. I. & Tovar-Avila, J. 2007. Comparison of deterministic growth models fitted to length-at-age data of the piked spurdog (*Squalus megalops*) in south-eastern Australia. *Mar. Fres. Res.* 58, 24–33.
- Cailliet, G. M., Martin, L. K., Kusher, D., Wolf, P. & Welden, B. A. 1983. Techniques for enhancing vertebral bands in age estimation of California elasmobranchs. 157–165. En: Prince, E. D. & Pulos, L. M. (Eds.), *Proceedings International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes, Sharks*, NOAA Tech. Rep. NMFS 8.
- Cailliet, G.M., Radtke R. L. & Welden B. A., 1986. Elasmobranch Age Determination and Verification: A Review, 345 – 360. En: Uyeno, T., R. Arai, T. Taniuchi & K. Matsuura (Eds) *Indo – Pacific Fish Biology: Proceedings of the Second International Conference on Indo – Pacific Fishes*. Ichthyological Society of Japan. Tokyo.
- Cailliet, G. M. 1990. Elasmobranch age determination and verification: an updated review. pp. 157–165 p. En: Pratt Jr., H. L., Gruber, S. H. & Taniuchi, T. (Eds.),

*Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematics and the Status of the Fisheries. NOAA Technical Report NMFS 90.*

Cailliet, G. M. & Tanaka S. 1990. Recommendations for research needed to better understand the age and growth of elasmobranch. En: Pratt Jr. H. L., Gruber S. H & T. Taniuchi, (Eds.). p. p. 505-507 p. *Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematic, and the Status of the Fisheries. NOAA Technical Report 90.*

Cailliet, G.M. & Goldman K. J. 2004. Age Determination and Validation in Chondrichthyan Fishes, 399-439. En: Carrier, J. C., J. A. Musick & M. R. Heithaus (Eds.) *Biology of Sharks and Their Relatives*. CRC Press. Florida, EU.

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

Cailliet, G. M. & Andrews A. H. 2008. Age-validated Longevity of Fishes: Its Importance for Sustainable Fisheries. 103-120, En: K. Tsukamoto, T. Kawamura, T. Takeuchi, T. D. Beard, Jr. and M. J. Kaiser (Eds). *Fisheries for Global Welfare and Environment, 5th World Fisheries Congress 2008*. Terrapub. Tokyo.

Cailliet G. M. 2015. Perspectives on elasmobranch life-history studies: a focus on age validation and relevance to fishery management. *J. Fish Biol.* 87, 1271–1292.

Camhi M., Fowler S. L., Musick J.A., Bräutigam A.& Fordham S. V. 1998. *Sharks and their Relatives – Ecology and Conservation*. IUCN/SSC Shark Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 39 p.

Campana, S. E. 1990. How reliable are growth back-calculations based on otoliths? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47: 2219–2227.

Campana, S. E., Annand, M. C., & McMillan, J. I. 1995. Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determination. *Transactions of the American Fishery Society*. 124: 131-138.

- Campana S. E. 2001. Accuracy, precision, and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J. Fish Biol.* 59:197–242.
- Campana S. E. 2014. *Age determination of elasmobranchs, with special reference to Mediterranean species: a technical manual*. Studies and Reviews. General Fisheries Commission for the Mediterranean. No. 94. Rome, FAO. 38 p.
- Carlson, J. K., Cortés, E & Bathea D. M. 2003. Life history and population dynamics of the finetooth shark (*Carcharhinus isodon*) in the northeastern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin* 101(2) 281-292.
- Carlson, J. K., and Baremore, I. E. 2005. Growth dynamics of the spinner shark *Carcharhinus brevipinna*) off the United States southeast and Gulf of Mexico coasts: a comparison of methods. *Fishery Bulletin* 103, 280–291.
- Cartamil D, O Santana-Morales, Escobedo-Olvera M, Kacev D, Gastillo-Géniz J. L., Graham J.B., Rubin R.D & O Sosa-Nishizaki. 2011. The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California, Mexico. *Fisheries Research* 108: 393–403.
- Castro, J. I. 1996. *The Sharks of North American Waters*. Texas A. & M. University Press., College Station. Segunda Edicion. Texas, USA. 180 p.
- Chang, W. Y. B. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 39: 1208-1210.
- Compagno, L. J. V. 1984. FAO species catalogue. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Carcharhiniformes. *FAO Fish.Synop.*, (125) Vol.4, Pt.2:251-655.
- Compagno, L. J. V. 2005. Check list of living elasmobranchs. 503-548. En: W.C. Hamlett. (Ed). *Reproductive Biology and Phylogeny of Chondrichthyes: Sharks, batoids and chimaeras*. Science Publishers, Enfield.

- CONAPESCA-Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 2013. *Anuario Estadística de Acuacultura y Pesca*. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. 295 p.
- Conrath, C., Gelsleichte, J. & Musick, J. 2002. Age and growth of the smooth dogfish (*Mustelus canis*) in the northwest Atlantic Ocean. *Fish. Bull.* 100:674–682.
- Cortés, E. 2000. Life History Patterns and Correlations in Sharks. *Reviews in Fisheries Science* 8(4): 299-344.
- Da Silva, C. 2007. *The status and prognosis of the smoothhound shark (Mustelus mustelus) fishery in the southeastern and southwestern cape coasts, south africa*. Tesis de Maestría. Rhodes University. 154 p.
- Dean M. N & A. Summer. 2006. Mineralize cartilage in the skeleton of chondrichthyan fishes. *Zoology*, 109:164-168.
- Ebert, D. A. 2003. Sharks, Rays, and Chimaeras of California. *University of California Press*, Berkeley, California, USA. 284 p.
- Edwards, R. R. C. 1980. Aspects of the population dynamics and ecology of the white spotted stingaree, *Urolophus paucimaculatus* Dixon, in Port Phillip Bay, Victoria. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 31:459-467.
- FAO. 1998. Plan de Acción Internacional para la Conservación y Ordenación de los Tiburones (PAI-Tiburones). *Orientaciones Técnicas para la pesca responsable*. No.4. Supl.1. Roma. 66 p.
- Farrell, E., Mariani S. & Clarke M. 2010. Age and growth estimates for the starry smoothhound (*Mustelus asterias*) in the Northeast Atlantic Ocean. *ICES J Mar Sci*: 67: 931–939.
- Francis, M. 1981. Von Bertalanffy Growth Rates in Species of *Mustelus* (Elasmobranchii: Triakidae). *Copeia* (1), 189-192.
- Francis, R. I. 1990. Back calculation of fish length: a critical review. *J. Fish Biol.*, 36:883-902.

- Francis, M. & Ó Maolagáin, C. 2000. Age, growth and maturity of a New Zealand endemic shark (*Mustelus lenticulatus*) estimated from vertebral bands. *Mar. Freshwater Res.*, 51, 35-42
- Frisk, M. G., T. J. Miller & Fogarty M. J. 2001. Estimation and analysis of biological parameters in elasmobranch fishes: a comparative life history study. *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 58: 969–981.
- Goldman, K. J. 2004. Age and growth of elasmobranch fishes. 97-131. En: Musick, J. & Bonfil R (Eds.) *Elasmobranch Fisheries Management Techniques*. Asia Pacific Economic Cooperation. Singapore.
- Goldman, K. J. 2005. Age and growth of elasmobranch fishes, 76 – 102. En: Musick J. A. y Bonfil R (Eds). *Management Techniques for Elasmobranch Fisheries*. FAO Fisheries Technical Paper.
- Goldman K. J., Cailliet G. M., Andrews A. H & Natanson L. J. 2012. Assessing the age and growth of chondrichthyan fishes. 419–447, En: Carrier, J., J. A. Musick & Heithaus M. R (Eds.). *Biology of Sharks and their relatives*, 2nd edn. CRC Press LLC, Boca Raton, FL.
- Grant, C. J., Sand Land R. L & Olsen A.M. 1979. Estimation of growth, mortality and yield per recruit of the Australian school shark, *Galeorhinus australis* (Macleay), from tag recoveries. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 30:625-637.
- Guzmán-Del Prío, S. A., Mille-pagaza, S. R., Guadarrama-granados, R., De la Campa-De Guzmán, S., Carrillo-Laguna, J., Pereira-corona, A., Belmar-pérez, J., Parra-Alcocer, N. de J & Luque-guerrero A.C. 1991. La comunidad bentónica de los bancos de abulón (*Haliotis* spp. molusca: gastropoda) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. *An. Ese. nac. Cienc. biol.* 36: 27-59.
- Guzmán-Del Prío, S. A., Salinas, F., Saytsev, O., Belamar-Perez, J & Carrillo-Laguna J. 2000. Potential dispersion of reproductive products and larval stages of abalone (*Haliotis* spp.) as a function of the hydrodynamics of Bahia Tortugas, Mexico. *J. Shellfish Res.* Vol. 19, No. 2. 869-881.

- Haddon, M. 2001. *Modeling and Quantitative Methods in Fisheries*. Chapman & Hall/CRC Press. Florida, E.U. 406 p.
- Holden, M. J. 1974. Problems in the rational exploitation of elasmobranch populations and some suggested solutions, in *Sea Fisheries Research*, F.R. Jones, Ed., Halstead Press/John Wiley & Sons, New York, 117–138.
- Holden, M. J. & Raitt D. F.S. 1975. *Manual de Ciencia Pesquera. Parte 2. Métodos para Investigar los Recursos y sus Aplicaciones*. FAO. Roma. 211 p.
- INAPESCA. 2016. Tiburones Mexicanos de Importancia Pesquera en la CITES. *Instituto Nacional de Pesca*. México. 95 p.
- Ishiyama, R. 1978. Reexamination of the age and growth of Raja. *Monthly Marine Science (Japan)*, 10(3):188-194.
- Jennings, S., Kaiser, M. J. & Reynolds, J. D., 2001. *Marine Fisheries Ecology*. Blackwell Science Ltd., London.
- Johnson, A. G., and H. F. Horton. 1972. Length-weight relationship, food habits, parasites, and sex and age determination of the ratfish, *Hydrolagus colliei* (Lay and Bennett). *Fish. Bull.*, U.S. 70:421-429.
- Jordan, D. S. & Evermann B. W. 1896. The fishes of north and middle America. *Bulletin of the United States National Museum*, 47(1): 1-1240.
- Katsanevakis, S., 2006. Modelling fish growth: model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research* 81, 229-235.
- Katsanevakis, S. & Maravelias, C. D. 2008. Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish and fisheries*, (9):178–187.
- Lack, M. & Sant, G. 2006. *World shark catch, production and trade 1990-2003*. Australian Government and TRAFFIC report 28 p.

- Márquez-Farías, F. 2000. *Tiburones del Golfo de California*. En: "Sustentabilidad y Pesca Responsable en México: Evaluación y manejo 1999- 2000". INP, SEMARNAP, México. 237-257 p.
- Méndez-Loeza, I. 2004. Hábitos alimentarios de los cazones *Mustelus californicus* y *Mustelus lunulatus* (Triakidae) en el Alto Golfo de California. *Tesis de Licenciatura*. UABC. 57 p.
- Méndez-Loeza, I. 2008. *Edad y crecimiento del cazón pardo, Mustelus henlei (gill, 1863), en la región norte del golfo de California*. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional- Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 57 p.
- Moss, S. A. 1972. Tooth replacement and body growth rates in the smooth dogfish, *Mustelus canis* (Mitchill). *Copeia* 1972:808-811.
- Moulton, P., Walker, T. & Saddler, S. 1992. Age and Growth Studies of Gummy Shark, *Mustelus antarcticus* Günther, and School Shark, *Galeorhinus galeus* (Linnaeus), from Southern Australian Waters. *Mar. Freshwater Res.*, 43, 1241-67.
- Natanson, L. J, Mello, J. J, Campana, S. E. 2002. Validated age and growth of the porbeagle shark (*Lamna nasus*) in the western North Atlantic Ocean. *Fish Bull* 100:266-278.
- Neer, J. A. 2005. *Aspects of the life history, ecophysiology, bioenergetics, and population dynamics of the cownose ray, Rhinoptera bonasus in the northern Gulf of Mexico*. Tesis de Doctorado. Louisiana State University. 124 p.
- Neer J. A. & Thompson B. A. 2005. Life history of the cownose ray, *Rhinoptera bonasus*, in the northern Gulf of Mexico, with comments on geographic variability in life history traits. *Environ Biol Fish.*, 73: 321–331.
- Officer R. A., Gasson A. S., Tenrence I.W. & Clement J. G. 1996. Sources of variation in counts of growth increments in vertebrae from gummy shark, *Mustelus antarcticus*, and school shark, *Galeorhinus galeus*: implications for age determination. *Aquat. Sci.* 53: 1765–1777.

- Palacios-Hernández, E. Argote, M. L., Amador-Buenrostro, A., Mancilla-Peraza, M. 1996. Simulación de la circulación Barotrópica inducida por viento en la Bahía Sebastián Vizcaino, B.C. *Atmósfera.*, 9: 171-188.
- Pérez-Jiménez J. 2006. *Biología y Taxonomía de los Tiburones del Género Mustelus (Elasmobranchii) de la Región Norte del Golfo de California*. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 174 p.
- Pérez-Jiménez J., Vásquez, V. E. Chabot, C. L. & Ebert, D. A. 2015. *Mustelus californicus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T161334A80672080.<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T161334A80672080.en>. Downloaded on 02 December 2015.
- Piercy, A., Ford, T., Levy, M. & Snelson Jr, F. 2006. Analysis of variability in vertebral morphology and growth ring counts in two Carcharhinid sharks. *Environ Biol Fish.*, 77:401–406.
- Porter, M. E., Beltrán, J. L., Koob, T. J. and Summers. A. P. 2006. Material properties and biochemical composition of mineralized vertebral cartilage in seven elasmobranch species (Chondrichthyes). *J. Exp. Biol.* 209, 2920-2928.
- Porter, M. Koob, T. & Summers A. 2007. The contribution of mineral to the material properties of vertebral cartilage from the smooth-hound shark *Mustelus californicus*. *J. Exp. Biol.* 210, 3319-3327.
- Pratt, H. L. & Casey G. 1990. Shark reproductive strategies as a limiting factor in directed fisheries, with a review of Holden's method of estimating growth parameters. 97-109. En: *Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology) Systematics, and the Status of the Fisheries*. H. L. Pratt, S. H. Gruber, & T. Taniuchi (Eds.). NOAA Tech. Rep. NMFS 90, U.S. Dept. of Comm., Washington, D.C.
- Ricker, W. E. 1992. Back-calculation of fish lengths based on proportionality between scale and length increments. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49: 1018–1026.

- Romine, J. G., Grubbs, R. D., & Musick, J. A. 2006. Age and growth of the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*, in Hawaiian waters through vertebral analysis. *Environ Biol Fish*, 77: 229–239.
- Santana-Morales, O., Castillo-Géniz, J., Sosa-Nishizaki, O. & Rodríguez-Medráno, C. 2004. *Catálogo de Tiburones, Rayas y Quimeras (Chondrichthyes) que habitan en las aguas del Norte del Golfo de California. Reporte técnico*, Laboratorio de Ecología Pesquera. 119 p.
- Siegfried, K.I. & Sansó, B. 2006. Two Bayesian methods for estimating parameters of the von Bertalanffy growth equation. *Environ Biol Fish.*, 77, 301–308.
- Talent, L. G. 1982. Food habits of the gray smoothhound, *Mustelus californicus*, the Brown smoothhound, *Mustelus henlei*, the shovelnose guitarfish, *Rhinobatos productus*, and the bat ray *Myliobatis californica*, En: Elkhorn Slough, California. *California Fish and Game*, 68: 224-234 p.
- Talent, L. G. 1985. The occurrence, seasonal distribution, and reproductive condition of elasmobranch fishes in Elkhorn Slough, California. *California Fish and Game*, 71:210-219
- Tanaka, S. & Mizue K. 1979. Age and growth of Japanese dogfish *Mustelus manazo* in the East China Sea. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 45(1):43-50.
- Walker, T. I. 2005. Management measurements. 76-102. En: Musick J. A and Bonfil R (Eds.). *Management techniques for elasmobranch fisheries*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- Yamaguchi, A., Huang, S., Che-Tsung, C. & Taniuchi, T. 1999. Age and growth of the starspotted smooth-hound, *Mustelus manazo* (chondrichthyes: triakidae) in the waters of north-eastern taiwan. *Paris: Soco Fr. Ichtyol.* 505-513.
- Yudin, K. G. & Cailliet, G. M. 1990. Age and growth of the gray soothhound, *Mustelus californicus*, and the brown smoothhound, *M. henlei*, sharks from central California. *Copeia*. 1:191-204.