INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

EDAD Y CRECIMIENTO DE *Carcharhinus falciformis* (MÜLLER & HENLE, 1839) EN LA ZONA OCEÁNICA DEL PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL

TESIS

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

PRESENTA

B.M. FABIÁN CERVANTES GUTIÉRREZ

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DE 2013.

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 15 del mes de Noviembre del 2013 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 DE *Carcharhinus falciformis* (MÜLLER & HENLE, 1839) EN LA ZONA OCEÁNICA DEL PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL"

Presentada por el alumno:

CERVANTES	GUTIÉRREZ	FABIÁN
Apellido paterno	materno	nombre(s)

Con registro:

B	1	1	0	2	5	7

Aspirante de:

MAESTRÍA 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

MC. FELIPE NERI MELO BARRERA
Director de Tesis

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA
2º. Director de Tesis

DR. LEONARDO ANDRÉS ABITIA CÁRDENAS

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA

DR. JAVIER TOVAR ÁVILA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DRA. MARIA MARGARITA CASAS VALDEZ

PODER EJECUTIVO FEDERAL ESTADOS UNIDOS MEXICANOS MEXICO D.F.

IPN
CICIMAR
DIRECCION

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de **La Paz, B.C.S.,** el día **22** del mes **Noviembre** del año **2013**
el (la) que suscribe **BM. FABIÁN CERVANTES GUTIÉRREZ** alumno(a) del
Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**
con número de registro **B110257** adscrito al **CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
MC. FELIPE NERI MELO BARRERA Y DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA
y cede los derechos del trabajo titulado:
"EDAD Y CRECIMIENTO DE *Carcharhinus falciformis* (MÜLLER & HENLE, 1839)
EN LA ZONA OCEÁNICA DEL PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL"
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: fabian_ce@hotmail.com - fmelo@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. FABIÁN CERVANES GUTIÉRREZ
nombre y firma

DEDICATORIA

Este proyecto, así como todo lo que he hecho hasta el momento se lo dedico a Dios, ya que gracias a Él he tenido lo necesario.

A Hanny por estar conmigo, siempre apoyándome en las buenas y en las malas, y aguantarme por ya casi siete años. Gracias mi amor, TE AMO.

A mis papás, personas encantadoras, por todo el apoyo moral y económico que me han dado en el recorrido de ésta gran carrera profesional, por estar ahí siempre que los necesito, por la vida, la educación: "el mejor legado" (Mis-papás, 2013), los consejos, el tiempo, el dinero y el esfuerzo. Este es otro granito de arena de esa deuda enorme que tengo con ustedes.

A mis papás adoptivos (Cano y Lucy), por todo el apoyo y cariño que nos han brindado a Hanny y a mí, por estar ahí siempre que los necesitamos y por apoyarnos en todo, Gracias apás!

A mis hermanos (Leo, Susi, Yadi, Joy, Mary, Andrea y Melisa) gracias por ser parte de mi vida, por su compañía y por los momentos tan divertidos que a veces pasamos.

A mis sobrinos (Mariana, Emilio, Vanessa), y ahijados (Rebeca, Regina y Rommel) por todo el cariño, y porque me dan razón para vivir, amar y triunfar.

A TODA mi familia. Gracias por formar parte de mi vida!!!

Por último, pero no menos importante quiero dedicar esta tesis también a esas dos grandes personas (Profe Neri y Doc. Galván) que me apoyaron en TODO a lo largo de la maestría.

Y a todos aquellos que formaron, forman y formarán parte de esta aventura llamada vida.

"Amo al Señor, porque él escucha el clamor de mi súlpica,
porque inclina su oído hacia mi cuando yo lo invoco…,
Él libró mi vida de la muerte, mis ojos de las lágrimas y mis pies de la caída,
Yo caminaré en la presencia del Señor, en la tierra de los vivientes"
Salmo 116.

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada, quiero agradecer a CICIMAR-IPN por el apoyo brindado en el transcurso de este mágico momento, fungiendo como mi casa, "Con orgullo llevaré el estandarte Politécnico".

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) por los apoyos económicos brindados durante la realización de la Maestría.

Al M.C. Felipe Neri Melo Barrera y al Dr. Felipe Galván Magaña, (dos personas de las grandes), con mucho cariño, respeto, gratitud y admiración, por haber sido "mis papás institucionales" ó "los capitanes del barco", por su constante apoyo, su valiosísimo tiempo, sus acertadas correcciones y sus muy apreciables consejos, MIL GRACIAS!!!

Al Dr. Andrés, al Dr. Agustín, al Dr. Tovar y al Dr. René y por regalarme un poco de su valioso tiempo para hacer las correcciones pertinentes y por su tiempo brindado para el examen. Gracias!

A mi esposa-novia-amiga-amor-vida por todo el apoyo desde la Licenciatura, por ser mi apoyo moral y la razón para salir adelante desde el momento en que comenzamos, gracias Hanny.

A los compañeros del laboratorio (Fco. Javier (Don Pancheiro), Ana, Xchel, Liz, Chato, Lalo y Chayo, por los momentos que pasamos platicando y conviviendo y al cardumen (Moni, Fabián, Joao, Lavi, Chio, Lalo, Andrés, Marce) por las experiencias los primeros semestres de la maestría.

A mis papás, hermanos, tíos, primos y TODA mi familia (biológica y adoptiva), por estar siempre conmigo, compartiendo su tiempo, momentos, consejos, experiencias y enseñanzas.

Gracias a DIOS, por TODO!

INDICE

Página

GLOSARIO.....I
RESUMEN.....II
ABSTRACT.....IV
I. INTRODUCCIÓN 1
II. ANTECEDENTES 4
III. JUSTIFICACIÓN 6
IV. OBJETIVO GENERAL 7
IV.1. Objetivos particulares..... 7
V. ÁREA DE ESTUDIO 8
VI. METODOLOGÍA 9
VI.1. Muestreo 9
VI.2. Trabajo en laboratorio 10
VI.2.1. Limpieza y preparación de las muestras..... 10
VI.2.2. Corte de las vértebras..... 10
VI.2.3. Digitalización de los cortes de las vértebras 11
VI.2.4. Estimación de las marcas de crecimiento..... 12
VI.2.5. Estructura de tallas 12
VI.2.6. Crecimiento somático vs crecimiento de la vértebra..... 12
VI.2.7. Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento 13
VI.2.8. Estructura de edades..... 13
VI.2.9. Crecimiento individual..... 14
VII. RESULTADOS..... 16
VII. 1. Composición de las muestras 16
VII.2. Análisis de las muestras 18
VII.2.1. Digitalización de los cortes de las vértebras 18
VII.2.2. Estimación de las marcas de crecimiento..... 19
VII.2.3. Estructura de tallas 19
VII.2.4. Crecimiento somático vs. Crecimiento de la vértebra 21
VII.2.5. Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento 22

VII.2.6. Estructura de edades 23
VII.2.7. Crecimiento Individual 24
VIII. DISCUSIÓN 27
VIII.1. Composición de las muestras 27
VIII.2. Estructura de tallas 30
VIII.3. Crecimiento somático vs crecimiento de la vértebra (RV-LT) 32
VIII.4. Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento 34
VIII.5. Estructura de edades 35
VIII.6. Crecimiento individual 37
IX. CONCLUSIONES 41
X. BIBLIOGRAFÍA 42
XI. ANEXOS 53

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA **PÁGINA**

Figura 1**.** Mapa del área de estudio. Cada punto representa un lance de la pesca de la flota atunera de la CIAT. 9

Figura 2. Izquierda: Esquema de un corte longitudinal de una vértebra. Derecha: Corte de una vértebra de tiburón montado en portaobjetos cubierto con Cytoseal con seis marcas de crecimiento. F-Foco de la vértebra, CC-*Corpus calcareum*, MN-Marca de nacimiento, BO-Banda opaca, BH-Banda hialina, R-radio de la vértebra, I-*Intermedialia*. 11

Figura 3**.** Organismos observados de *C. falciformis* por mes y por sexo en el Océano Pacífico oriental tropical. 16

Figura 4. Mapa de distribución por sexos de las muestras de *C. falciformis* en el Océano Pacífico oriental tropical. 17

Figura 5. Mapa de distribución por tallas de *C. falciformis* en el Océano Pacífico oriental tropical..... 17

Figura 6. Muestras de vértebras de *C. falciformis* por mes y por sexo..... 18

Figura 7. Izquierda: Imagen digitalizada de un corte antes de la corrección. Derecha: Imagen digitalizada después de la corrección. 19

Figura 8. Estructura de tallas de *C. falciformis* por sexo en la zona oceánica del Pacífico oriental tropical. Línea continua vertical: indica la talla de nacimiento. Línea punteada señala la talla de madurez. 20

Figura 9. Longitud mensual promedio de *C. falciformis* de machos, hembras y total.21

Figura 10. Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total (RV–LT) de machos y hembras de *C. falciformis* en la zona oceánica del Pacífico oriental tropical. 22

Figura 11. Relación entre el radio de a vértebra y la longitud total (RV–LT) para ambos sexos de *C. falciformis* en la zona oceánica del Pacífico oriental tropical. 22

Figura 12. Porcentaje del tipo de borde de las vértebras de *C. falciformis* en el Océano Pacífico oriental tropical. 23

Figura 13. Estructura de edades (machos, hembras y total) de *C. falciformis* capturado por la flota atunera del Pacífico oriental tropical. 24

Figura 14. Modelo de crecimiento individual de von Bertalanffy para sexos combinados. 25

Figura 15. Estimación del modelo de crecimiento individual (MCF), con el ajuste propuesto por Fabens (1965). 26

Figura 16. Estructura de tallas de *C. falciformis* reportadas por distintos autores..... 31

Figura 17. Relación entre el crecimiento somático y el crecimiento de la vértebra. .. 34

Figura 18. Comparación de la estructura de edades estimadas en el presente estudio con las reportadas para *C. falciformis.*..... 36

Figura 19. Representación del modelo de crecimiento individual de *C. falciformis* por diferentes autores para sexos combinados. 39

INDICE DE TABLAS

TABLA **PÁGINA**

Tabla 1. Relación del número de organismos medidos (N) y vértebras recolectadas (V) de *C. falciformis*. 28

Tabla 2. Proporción de sexos de los diferentes autores..... 29

Tabla 3. Tallas de madurez reportadas de *C. falciformis* (cm LT). 32

Tabla 4. Valores reportados de la relación entre el crecimiento somático y el crecimiento de la vértebra..... 33

Tabla 5. Edades máximas reportadas para *C. falciformis* por distintos autores. 35

Tabla 6. Valores reportados de los parámetros de la ecuación de crecimiento individual de von Bertalanffy para sexos combinados. 38

GLOSARIO

Banda opaca.- Zona de la vértebra que por su composición densa (mayor concentración de carbonatos) impide el paso de la luz y se asocia a periodos de rápido crecimiento y se tiende a depositar en verano o meses cálidos (puede ser banda, zona o región opaca) (Cailliet et al., 1983; Cailliet y Goldman, 2004).

Banda traslúcida o hialina.- Zona de la vértebra que permite el paso de luz y se asocia a periodos de crecimiento lento y tiende a depositarse en invierno o meses fríos (puede ser zona, banda o región translúcida) (Cailliet et al., 1983; Cailliet y Goldman, 2004).

Clase anual.- Año en el que nacieron los organismos (*e.g.* 1982).

Cohorte.- Grupo de organismos de una misma edad, éste no es determinado por la edad sino por el momento en el que nace (temporalidad).

***Corpus calcareum*.-** Parte más calcificada en las vértebras de los elasmobranquios y en un corte longitudinal (sagital) de la vértebra, la parte externa (Ashley y Chiasson, 1988).

Corte.- Porción que se toma de la estructura para poder estimar la edad, en este caso, corte longitudinal o sagital.

Crecimiento.- Incremento en el tamaño de un organismo, ya sea de longitud, peso o talla. (*e.g.* altura de un humano, largo de las uñas, grosor de masa corporal).

Edad.- Tiempo que ha vivido un organismo, pueden ser años, meses, semanas, etc.

Foco.- Parte central de una estructura, en este caso la vértebra, que va a ser analizada (Wilson *et al.*, 1983).

Grupo de edad.- Grupo de organismos de una edad determinada (*e.g.* Grupo de edad 1: Todos los organismos que tienen solo una marca sin contar la de nacimiento; edad que tenemos en años).

Incremento marginal.- Método que se encarga de evaluar la temporalidad en la formación de las marcas de crecimiento en estructuras duras como vértebras, escamas, espinas u otolitos, etc.

***Intermedialia*.-** Parte menos calcificada en una vértebra de tiburón y en un corte longitudinal es la parte interna de la vértebra (Ashley y Chiasson, 1988).

Marca de crecimiento.- Marca concéntrica presente en la vértebra que delimita un periodo de crecimiento, dicha marca está conformada por dos bandas, una opaca y una translúcida y es utilizada para asignar grupos de edad a los organismos.

Marca de nacimiento.- Marca bien definida próxima al foco y se observa junto con un cambio en el eje de crecimiento de la vértebra.

Precisión.- Es la cercanía entre las mediciones repetidas de un mismo objeto; por ejemplo, que de cinco lecturas de una vértebra, las cinco fueron la misma (Panfili *et al.*, 2002).

Retrocálculo.- Método que permite asignar talla a un organismo a edades pretéritas, utilizando la relación del crecimiento de alguna estructura dura (vértebras, espinas, escamas u otolitos, etc.).

Tasa de crecimiento.- Medida del cambio en el tamaño del organismo dependiente del tiempo.

Validación.- Método(s) que permite(n) confirmar la unidad temporal del crecimiento en la estructura. Se utilizan para determinar la exactitud en las estimaciones de edad respecto a la edad verdadera, por ejemplo marcaje y recaptura, marcaje con OTC y recaptura (Campana, 2001; Cailliet & Goldman, 2004).

Verificación.- Método(s) que permite(n) confirmar una edad estimada comparando con otros métodos indeterminados (*e.g.* análisis de tipo de borde, incremento marginal).

RESUMEN

Carcharhinus falciformis es una de las especies más abundantes en las capturas de tiburones en la zona tropical y la más frecuente en la fauna incidental de barcos atuneros en el Océano Pacífico Oriental (OPO), sin embargo, se conoce poco de la edad y crecimiento en el OPO, por lo que en el presente estudio se estimó la edad y el crecimiento individual de *C. falciformis* capturado en aguas oceánicas del OPO, con el fin de conocer los tamaños y edades de los tiburones que son capturados en la pesquería y como puede estar afectando la pesquería en los grupos de edad de esta especie. Para ello, se recolectaron datos biométricos de 499 organismos, y se obtuvieron 347 vértebras de tiburones capturados incidentalmente por barcos atuneros de México y Ecuador. Se encontró una proporción macho: hembra de 1:0.95 (253 machos y 240 hembras) sin observarse diferencias significativas ($p > 0.05$). El mayor número de organismos se observó en los meses de marzo, mayo y junio. No se observó segregación por tallas, por sexos ni por estadio de madurez. El intervalo de tallas en las hembras fue de 56.6-220.6 cm de longitud total (LT) y para machos de 59.5-206 cm LT. No se detectaron diferencias significativas en la talla debidas al sexo ($p > 0.10$). Los adultos (≥ 180 cm) sólo aportaron el 9.8% de las muestras. La relación entre la LT y el radio de la vértebra fue lineal y significativa ($r^2 = 0.97$). El análisis de periodicidad de formación de las marcas de crecimiento mostró que la formación es anual. La estructura de edades fue de 0 a 19 años para hembras y de 0-18 años para machos, sin observarse diferencias significativas ($p > 0.10$). Los valores de la ecuación de crecimiento individual de von Bertalanffy fueron $L_\infty = 340.45$ cm LT, $k = 0.04$ (año^{-1}) y $t_0 = -6.53$ años, y los resultados del ajuste del modelo de Fabens (1965) fueron $L_\infty = 269.32$ cm LT, $k = 0.068$ (año^{-1}). La alta incidencia de organismos juveniles de *C. falciformis* en la pesquería incidental de la pesca de atún en el OPO es una alerta de atención para establecer planes de manejo o conservación de esta especie a nivel internacional.

Palabras clave: *Carcharhinus falciformis*, Océano Pacífico Oriental, edad y crecimiento, planes de manejo.

ABSTRACT

Carcharhinus falciformis is one of the most abundant species of shark fisheries in tropical regions and the most common in bycatch tuna vessels in the Eastern Pacific Ocean (EPO). In spite of this, research on their biology is limited. Only a few studies have been developed with age and growth, but none in the EPO, therefore the objective of this study was to estimate the age and individual growth of *C. falciformis* captured in oceanic waters of the EPO, in order to know the sizes and age groups of sharks that are caught in the fishery and how it may be affecting the fishery in the age groups of this species. To do that, biometric data were collected from 499 organisms and 347 vertebrae were obtained from shark bycatch by tuna vessels from Mexico and Ecuador. We found male: female sex ratio of 1:0.95 (253 males and 240 females) with no significant differences ($p>0.05$). The largest number of organisms was observed on March, May and June. No size segregation by sex non maturity stage was observed. The size range for females was 56.6 – 220.6 cm of total length (TL) and for males 59.5 – 206 cm de (TL); there was no significant difference in size due to sex were detected ($p>0.10$). Adults (≥1800) only accounted for 9.8% of the sample. The relationship between TL and vertebrae radius was significant and linear (r^2 = 0.97). The growth marks formation frequency analysis showed an annual formation. The age structure was from 0 – 19 years for females and 0 – 18 ages for males, with no significant differences ($p > 0.10$). Von Bertalanffy growth equation values were L_∞= 340.45 cm (TL), k = 0.04 (year^{-1}) and t_0 = -6.53 years, and the Fabens (1965) model fit values were L_∞= 269.32 cm (TL), k = 0.068 (year^{-1}). The high incidence of *Carcharhinus falciformis* young organisms in bycatch on tuna vessels fishery in the EPO is an attention alert to establish international conservation or management plans for this specie.

Key words: *Carcharhinus falciformis*, Eastern Pacific Ocean (EPO), age and growth, management plans.

I. INTRODUCCIÓN

Carcharhinus falciformis, conocido como tiburón sedoso o piloto pertenece a la familia Carcharhinidae. Presenta una extensa distribución geográfica, encontrándose en áreas tropicales y subtropicales del mundo. En la región oriental del Océano Pacífico se distribuye desde las costas de California hasta Perú. Habita principalmente en la zona oceánica hasta los 500 m de profundidad, aunque también se ha observado en zonas costeras a partir de los 18 m (Compagno, 1990).

La fecundidad de *C. falciformis* ha sido estimada entre 2 y 16 crías (Bonfil *et al.*, 2009), aunque el promedio es de cinco a siete (Strasburg, 1958; Yamaguchi *et al.*, 1997). Su talla de nacimiento es entre 64 y 78 cm de longitud total (LT), siendo esta talla, una de las mayores entre las especies pelágicas (Bass *et al.*, 1973; Yoshimura y Kawasaki, 1985; Bonfil *et al.*, 1993), alcanzando una longitud máxima de 330 cm LT (Garrick, 1982).

De manera general, se caracteriza a los tiburones por ser depredadores tope; sin embargo, también son organismos carroñeros, ayudando a eliminar de las aguas los desechos y evitando la propagación de enfermedades, por lo que juegan un papel muy importante en el ecosistema oceánico, manteniendo el equilibrio ecológico y formando parte fundamental de la cadena alimenticia marina (FAO, 1998; UICN, 2003).

Los tiburones poseen gran importancia económica, debido a que se puede aprovechar y comercializar la mayor parte de su cuerpo, siendo las aletas, la carne, la piel y el aceite de hígado los principales objetivos del comercio. Por lo anterior, estos organismos han sido sometidos a una intensa explotación desde la década de 1960 (FAO, 1998; UICN, 2003).

A partir de 1970, la explotación de los tiburones se ha incrementado significativamente (Anderson, 1990; Cailliet y Tanaka, 1990; FAO, 1998). Esto se debe en gran parte a la demanda de sus aletas, las cuales son el ingrediente principal para la elaboración de la sopa de aleta, la cual es uno de los platillos más cotizados en el mercado mundial (Compagno, 1990; Bonfil-Sanders, 1997).

De las aproximadamente 100 especies de elasmobranquios que han sido reportadas para México, el 40% está sometido a algún grado de explotación (Applegate *et al.*, 1993; Compagno, 2002) y se teme que varias de ellas estén en peligro de extinción. Dentro de las especies más explotadas, se encuentra *Carcharhinus falciformis*, la cual es una especie importante en las pesquerías tropicales (Compagno, 1984) y la más frecuente de las especies reportadas como pesca incidental en diversas pesquerías oceánicas, como la de atún y pez espada (Au, 1991, FAO, 2006). En el Pacífico Mexicano, es la especie más capturada por la pesquería artesanal ocupando el 51% de la producción de tiburones (FAO, 1998; UICN, 2003; DOF, 2004, Ramírez-Amaro *et al.*, 2013).

Esta especie presentó un decremento de un 50% en sus capturas entre los años 1993 y 2004 (Minami *et al*., 2007). Además, entre 1994 y 2005 se observó que la captura incidental de *C. falciformis* al norte del ecuador fue principalmente de organismos juveniles, menores a los 90 cm LT (Watson *et al.*, 2008). Lo anterior, intensificó la preocupación por esta especie, tanto así que *C. falciformis* ha sido catalogada como una especie vulnerable y casi amenazada a nivel mundial debido a sus altas capturas en el Océano Pacífico central y sureste, así como en el Océano Atlántico noroeste y centro-occidente (Dulvy *et al.*, 2008).

Se ha propuesto como una solución a la pesca incidental de esta especie, cierres espaciales a las pesquerías o la prohibición de la pesca asociada a objetos flotantes, en regiones que presenten una elevada pesca incidental de *C. falciformis* (Watson *et al.*, 2008).

En algunas pesquerías de tiburones se han determinado parámetros de crecimiento y de reproducción; sin embargo, en la mayoría de ellas, no se dispone de datos básicos, como composición específica, esfuerzo de pesca, sexo, talla, edad y crecimiento de las especies involucradas en las capturas (Tovar-Ávila, 2000).

Al estimar la edad de los organismos, se puede llegar a definir su tiempo de vida (longevidad), identificar los grupos de edad que componen las capturas, la edad de primera madurez o de reclutamiento, así como la tasa de crecimiento individual (Ehrhardt, 1981), los cuales son aspectos fundamentales en los planes de manejo

dirigidos hacia la explotación sustentable de los recursos y permiten dar seguimiento a su dinámica poblacional (Holden y Raitt, 1975).

Para estimar la edad en elasmobranquios, el método más comúnmente utilizado hoy en día, es la lectura o conteo de las marcas de crecimiento en las vértebras o en espinas de aquellas especies que las presentan (Hoenig, 1979; Cailliet *et al.*, 1983). Estas marcas de crecimiento son el resultado de conjuntar una banda opaca y una banda translúcida, las cuales crecen en forma radial alrededor del foco en función de los cambios metabólicos a través del tiempo (Ehrhardt, 1981).

Se han realizado pocos trabajos de edad y crecimiento para *C. falciformis* (Branstetter, 1987; Oshitani *et al.*, 2003; Zea de la Cruz, 2007; Shoou-Jeng *et al.*, 2008; Sánchez de Ita *et al.*, 2011) De manera particular, en México sólo se han analizado organismos provenientes de la pesca artesanal que opera en la zona costera, es por ello, que el objetivo de este trabajo es estimar la edad y describir el crecimiento para esta especie, a partir de muestras obtenidas en la zona oceánica del Océano Pacífico oriental tropical.

II. ANTECEDENTES

Se han desarrollado diversos trabajos sobre la edad y el crecimiento de tiburones en distintas regiones. En el Océano Atlántico y Golfo de México: *Prionace glauca* (Stevens, 1975), *Carcharhinus limbatus* y *C. brevipinna* (Branstetter, 1987), *Rhizoprionodon terranovae* (Branstetter, 1987a), *C. obscurus* (Natanson *et al.*, 1995), *C. plumbeus* (Sminkey y Musick, 1995), *Sphyrna tiburo* (Carlson y Parsons, 1997), *C. porosus* (Lessa y Marcante-Santana, 1998), *Galeocerdo cuvier* (Natanson *et al.*, 1999), *C. limbatus* (Tovar-Ávila, 2000), *C. leucas* (Cruz-Martínez, 2000) y *Lamna nasus* (Natanson *et al*, 2002). En el Océano Pacífico se destacan los trabajos sobre *C. leucas* (Thorson y Lacy, 1982), *Carcharodon carcharias* (Cailliet *et al.*, 1985), *Squatina californica* (Natanson y Cailliet, 1990) *Mustelus manazo* (Cailliet *et al.*, 1990; Yamaguchi *et al.,* 1997). En la costa occidental de Baja California Sur se encuentran estudios de *Isurus oxyrinchus* (Ribot-Carballal, 2003) y de *Sphyrna lewini* (Anislado-Tolentino, 1995; Andrade-González, 1996; Zárate-Rustrián, 2010)

De manera particular para *C. falciformis* en el Pacífico mexicano, se han desarrollado estudios sobre aspectos biológico-pesqueros (Ronquillo-Benítez, 2000 Villavicencio-Garayzar *et al.*, 2000), sobre su biología reproductiva (Cadena-Cárdenas, 2001; Hoyos-Padilla, 2003) y sus hábitos alimenticios (Andrade-González, 2005; Cabrera-Chávez-Costa *et al.*, 2010).

Con respecto a la edad y el crecimiento de *C. falciformis*, Branstetter (1987b), estimó la edad y el crecimiento individual en el noroeste del Golfo de México, en donde se reportó un intervalo de tallas de 82-267 cm LT, y encontró que las hembras maduran a los 225 cm LT (7-9 años); mientras que los machos lo hacen a los 210–220 cm LT (6-7 años). Los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy (MCVB) para sexos combinados, fueron $L\infty$ = 291 cm LT, k = 0.153 año^{-1} y t_0= -2.2 años.

En el Banco de Campeche (Golfo de México), Bonfil *et al.* (1993) estimaron edades máximas para esta especie de 22 y 20 años para hembras y machos, respectivamente. Encontraron que las hembras maduran entre los 232-245 cm LT (mayores de 12 años); mientras que los machos lo hacen a los 225 cm LT (10 años).

Los parámetros del MCVB para sexos combinados fueron: $L\infty$ = 311 cm LT, *k* = 0.101 año^{-1} y t_0 = -2.72 años.

En el Pacífico Occidental, Oshitani *et al.* (2003) observaron hasta 13 y 8 marcas en las vértebras de hembras y machos respectivamente. Reportaron que las hembras maduran entre los 145-150 cm de longitud precaudal (LP), aproximadamente a los 6–7 años, mientras que los machos lo hacen a los 130 cm de LP (5-6 años). Los parámetros del MCVB para machos y hembras fueron $L\infty$ = 216.4 cm de LP, *k* = 0.148 año^{-1} y t_0 = -1.76 años.

En las costas de Puerto Madero Chiapas en el golfo de Tehuantepec, Zea-de la Cruz (2007) reportó que las hembras nacen de 50 cm LT y los machos de 53 cm LT. Así mismo encontró que las hembras maduran entre los 6 y 7 años con 177 cm LT y los machos a los 6 años con 168 cm LT. Y encontró también que la edad máxima teórica es de 24 años para hembras y 23 años para machos. Estimó los parámetros del MCVB para hembras: $L\infty$ = 315 cm LT, *k*= 0.106 año^{-1} y t_0 = -1.642 años y para machos: $L\infty$ = 315 cm LT, *k*= 0.102 año^{-1} y t_0 = -1.86 años y para ambos sexos: $L\infty$ = 315 cm LT, *k*= 0.104 año^{-1} y t_0 = -1.69 años.

En la costa occidental de Baja California Sur, Sánchez-de Ita *et al.* (2011), reportaron un intervalo de tallas de 88-230 cm LT para hembras y 142-260 cm LT para machos; encontraron hembras de 2-16 años y machos desde 3 hasta 14 años; no encontraron diferencias significativas entre sexos, por lo que el MCVB para sexos combinados fue: $L\infty$ = 240 cm LT, *k*= 0.14 año^{-1} y t_0 = -2.98 años.

III. JUSTIFICACIÓN

Los tiburones en general, presentan un potencial de reproducción muy bajo, una tasa de crecimiento individual lenta, una madurez sexual tardía, poseen tasas de fecundidad bajas y largos períodos de gestación, lo cual los hace susceptibles a la sobrepesca (Holden, 1977; Stevens *et al.*, 2000).

Por otro lado, poco se sabe sobre aspectos básicos de su biología como hábitos alimenticios, reproducción, estructura por edades y crecimiento ya que los estudios que han abordado estos tópicos, se han desarrollado principalmente con muestras provenientes de las zonas costeras. Se desconoce hasta el momento el comportamiento de la especie en zonas oceánicas.

La estimación de la estructura por edades y el crecimiento individual son elementos importantes para establecer medidas de administración pesquera de los recursos, ya que se identifican las clases anuales que componen el stock o la población, se estima la longevidad, la edad de primera madurez y el reclutamiento a la reproducción, así como la tasa de crecimiento y otros aspectos demográficos, los cuales también permiten inferir sobre la vulnerabilidad de esta especie con respecto a la pesca, y de esta manera proponer mejoras en los planes de manejo.

De esta manera, el presente estudio responde a la demanda de información por parte del Plan de Acción Internacional de Tiburones (PAI: Tiburones) el cual tiene como objetivo garantizar la conservación y ordenamiento de los tiburones mediante el aporte de información biológica, la cual da soporte para dictar las medidas de regulación o protección internacional (FAO, 1998).

IV. OBJETIVO GENERAL

Estimar la edad y el crecimiento de *Carcharhinus falciformis* en la zona oceánica del Océano Pacífico oriental tropical.

IV.1. Objetivos particulares

- Estimar la estructura de tallas de *C. falciformis* con base en las muestras colectadas en la pesca incidental de barcos atuneros en el Océano Pacífico oriental tropical.

- Determinar la relación entre el crecimiento de la vértebra y el crecimiento corporal del tiburón piloto.

- Estimar el número de marcas de crecimiento presentes en los cortes de las vértebras cervicales de *C. falciformis*.

- Estimar la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento.

- Estimar la estructura de edades de *C. falciformis* capturado en la zona oceánica del Océano Pacífico oriental tropical.

- Estimar los parámetros del crecimiento individual de *C. falciformis* con base en el modelo de von Bertalanffy.

V. ÁREA DE ESTUDIO

Las muestras fueron obtenidas de la captura incidental de barcos atuneros de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT), en la zona oceánica del Pacífico oriental tropical, entre los 18° N y los 13° S, y entre 78.45° y 174.90° W (Fig. 1).

En esta zona se describen tres tipos de masas de agua que influyen en la parte superficial del océano de acuerdo con las características oceanográficas que presenta:

1) Agua superficial tropical con temperaturas elevadas y concentraciones de salinidad bajas.

2) Agua superficial subtropical generalmente cálida aunque su temperatura es variable, y de concentraciones de salinidad elevadas; y

3) Agua superficial de las corrientes de California y Perú, las cuales presentan temperaturas y concentraciones de salinidad bajas 15-20°C y 33.5$^{0}/_{00}$.

Normalmente todos los límites entre esas masas de agua están sujetos a fluctuaciones estacionales dependiendo de la fuerza de los vientos de deriva (Wyrtki, 1967). Cuando los vientos se debilitan y se alejan hacia el norte en la segunda mitad del año, la contracorriente ecuatorial del norte es más fuerte (Wyrtki, 1974).

La circulación en el Océano Pacífico central se encuentra dominada por las regiones del Este, ecuatorial y parte de los giros anticiclónicos subtropicales en el norte y sur del Océano Pacífico (Wyrtki, 1965). En el norte del Océano Pacífico consiste en la corriente de California y en la corriente ecuatorial de norte; en el sur del Océano Pacífico consiste en la corriente de Perú y la corriente ecuatorial del sur (Fig. 2). Entre estos dos giros se desarrolla una contracorriente tan larga como la convergencia intertropical al norte del ecuador aproximadamente entre los 4° y los 10°N (Wyrtki, 1967).

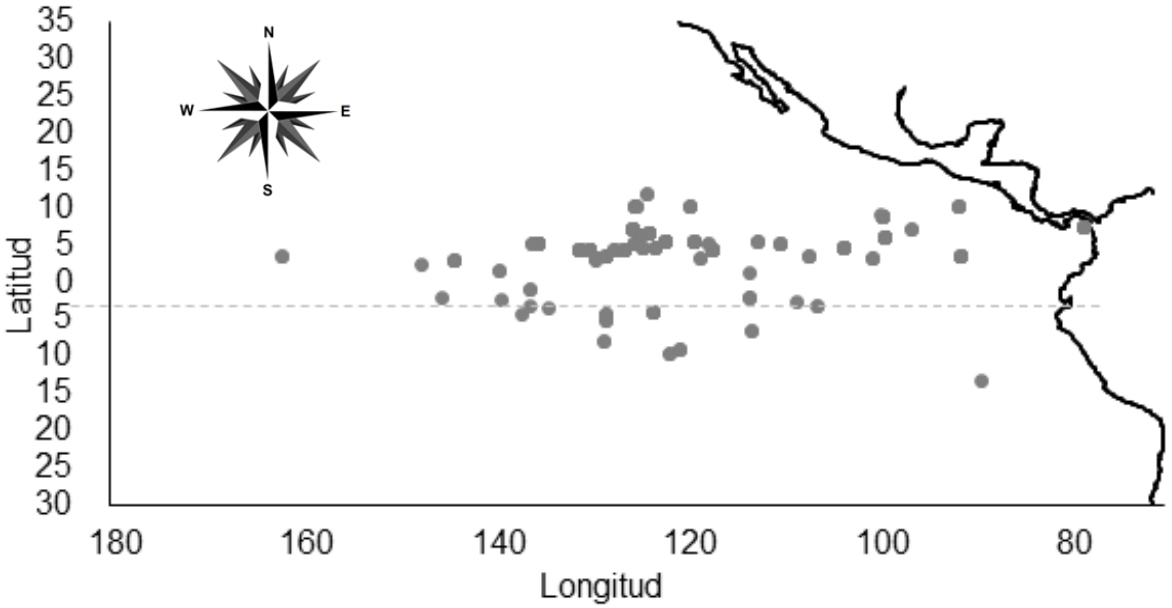

Figura 1**.** Mapa del área de estudio. Cada punto representa un lance de la pesca de la flota atunera de la CIAT.

VI. METODOLOGÍA

VI.1. Muestreo

El muestreo fue realizado por técnicos de la CIAT quienes participaron como observadores a bordo de barcos atuneros de cerco, principalmente de las flotas de México y Ecuador, las cuales operaron entre agosto de 2004 y agosto de 2005 en el área de estudio.

Los tiburones fueron identificados con las claves de Compagno *et al.* (1984). Para determinar la longitud total (LT ± 1 mm), los tiburones se colocaron con la parte ventral hacia abajo, y con el lóbulo superior de la aleta caudal en línea con el eje del cuerpo. El sexo se registró con base en la presencia-ausencia de gonopterigios. Las vértebras (entre 6 y 10) fueron recolectadas de la región cervical, justo después del cráneo (Officer *et al.*, 1996; Sánchez de Ita *et al.*, 2011). Aunque se ha observado que no hay diferencias en la estimación en el número de marcas de crecimiento entre vértebras cervicales y torácicas (Piercy *et al.*, 2006).

Las vértebras se colocaron en bolsas de plástico etiquetadas, especificando crucero, lance, número de organismo, sexo y LT. Asimismo se registró la fecha y

coordenadas geográficas de la captura. Las muestras fueron congeladas hasta su traslado al Laboratorio de Ecología de Peces del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN), en La Paz, B.C.S., México.

VI.2. Trabajo en laboratorio

VI.2.1. Limpieza y preparación de las muestras

Para retirar el exceso de tejido (conjuntivo, músculo, etc.) de las vértebras se utilizó un cuchillo (limpieza general). Posteriormente se realizó una limpieza fina, sumergiendo las vértebras en agua casi a punto de ebullición, para que el tejido excedente se ablandara, y pudiera ser retirado con pinzas de disección. Finalmente, con la parte posterior de la navaja de un bisturí se eliminó la mayor cantidad de tejido, dejando la muestra lo más limpia posible. Une vez limpia la sección vertebral, los "*centrum*" se separaron, se enjuagaron y se les agregó alcohol etílico al 70%, dejándolas durante una semana en esta solución.

Posteriormente, fueron removidas del alcohol y se dejaron secar a temperatura ambiente durante ocho horas, cuatro horas por cada cara de las vértebras para que quedaran completamente secas.

VI.2.2. Corte de las vértebras

Para observar las marcas de crecimiento se utilizaron cortes longitudinales de las vértebras (Fig. 2), los cuales se obtuvieron al fijar cada vértebra a una etiqueta de cartulina con cianoacrilato, y se esperó a que éste secara por completo, para evitar que la vértebra se despegara de la etiqueta al momento de entrar en contacto con el líquido lubricante de la cortadora. Una vez que secó el cianoacrilato, la etiqueta fue sujetada a un soporte de aluminio diseñado específicamente para una cortadora de baja velocidad (marca Buehler, modelo IsoMet). Para los cortes, se utilizó una cuchilla con borde de diamante (10.16 cm de diámetro y 0.0305 cm de grosor), y éstos tuvieron un grosor aproximado de 0.508 mm; para que el corte se considerara

apto para la estimación de las marcas de crecimiento debía de contener el foco de la vértebra (Fig. 2).

Los cortes obtenidos se colocaron en portaobjetos, se fijaron con resina Cytoseal, se cubrieron con cubreobjetos y se dejaron a temperatura ambiente hasta que la resina secara, posteriormente se organizaron y guardaron en cajas.

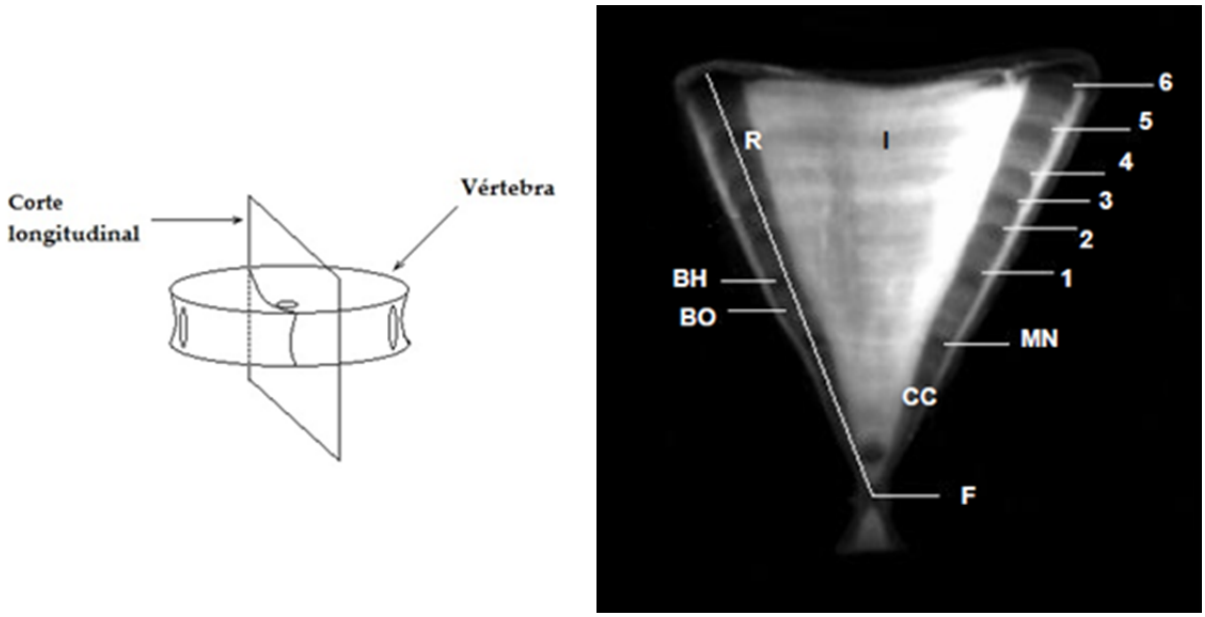

Figura 2. Izquierda: Esquema de un corte longitudinal de una vértebra. Derecha: Corte de una vértebra de tiburón montado en portaobjetos cubierto con Cytoseal con seis marcas de crecimiento. F-Foco de la vértebra, CC-*Corpus calcareum*, MN-Marca de nacimiento, BO-Banda opaca, BH-Banda hialina, R-radio de la vértebra, I-*Intermedialia*.

VI.2.3. Digitalización de los cortes de las vértebras

Para digitalizar las secciones de las vértebras se utilizó una tarjeta de video TARGA 1000, que recibe la señal analógica de una cámara de video a color (SONY, CCD-IRIS/RGB), que está montada sobre un microscopio estereoscópico (Olympus, SZX9). Todas las imágenes fueron observadas utilizando luz transmitida y la mayoría

de ellas a un aumento de 8X. En algunos casos cuando el diámetro de las vértebras fue mayor a 1.5 ó 2 cm, se utilizó un aumento de 6.3X.

VI.2.4. Estimación de las marcas de crecimiento

La interpretación (identificación y conteo) de las marcas de crecimiento en los cortes de las vértebras se realizó en las imágenes digitales por dos lectores de manera simultánea. Con el fin de hacer más evidentes las marcas de crecimiento presentes, cada imagen se mejoró utilizando el programa Paint Shop Pro (8.0) modificando el brillo y el contraste de manera individual y con el realce automático.

Las marcas de crecimiento solo se contaron en el *corpus calcareum* (Fig. 2). Se asumió que una marca de crecimiento es representada por una banda opaca y una banda translúcida, dicho criterio ha sido utilizado por otros autores que han trabajado con *C. falciformis* (Branstetter, 1987b; Bonfil *et al.*, 1993; Oshitani *et al.*, 2003; Sánchez de Ita *et al.*, 2011). La marca de nacimiento se identificó como una marca situada cerca del foco, con un cambio en el eje de crecimiento de la vértebra.

VI.2.5. Estructura de tallas

Para describir la estructura por tallas, se analizó la distribución de frecuencias de la longitud, utilizando una amplitud de intervalo de 100 mm de LT, lo que permitió hacer comparaciones con estudios previos. Con la finalidad de evaluar las diferencias en la estructura de tallas entre machos y hembras se aplicó una prueba de Kolmogorov-Smirnov a un nivel de confianza del 95% (Sokal y Rohlf, 1981).

VI.2.6. Crecimiento somático vs crecimiento de la vértebra

Con la ayuda del programa Sigma Scan Pro 4.0 se midió el radio de la vértebra (distancia del foco al borde de la estructura sobre el *corpus calcareum*), y el radio a cada una de las marcas de crecimiento (distancia del foco a cada una de las marcas). Cabe mencionar que para cada aumento utilizado para digitalizar las

vértebras (6.3 y 8), se contó con una reglilla digitalizada, por lo que cada imagen se calibró con la reglilla correspondiente.

Para evaluar si el crecimiento de la vértebra era proporcional al crecimiento corporal, se estimó la relación entre el radio de la vértebra (RV) y la longitud total (LT) de los organismos, mediante un análisis de regresión lineal simple de acuerdo a:

$$\mathrm{LT} = a + bRV$$

Dónde:
LT – longitud total
RV – radio de la vértebra
b – pendiente de la recta
a – ordenada al origen en la relación RV-LT

Para determinar si el sexo de los organismos tiene un efecto sobre la proporcionalidad del crecimiento de la vértebra y la talla se aplicó una prueba “t” para pendientes y elevaciones (Zar, 1996).

VI.2.7. Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento

Con la finalidad de estimar la temporalidad de formación de las marcas de crecimiento se utilizó un método cualitativo en donde se calculó el porcentaje mensual de vértebras con borde opaco (Ishiyama, 1978; Tanaka y Mizue, 1979).

VI.2.8. Estructura de edades

Para describir la estructura de edades, se graficó la distribución de frecuencias del número de marcas de crecimiento presentes en las vértebras, tanto de hembras como de machos. Para determinar si existen diferencias significativas en el número

de marcas entre sexos se aplicó una prueba de Kolmogorov-Smirnov (Sokal y Rohlf, 1981).

VI.2.9. Crecimiento individual

Para estimar el crecimiento individual de *C. falciformis*, a los datos de talla a la edad, se les ajustó el modelo de von Bertalanffy, ya que es el modelo más utilizado en elasmobranquios, se ajusta a una amplia gama de esquemas de crecimiento, además de que su desarrollo fue basado en estudios fisiológicos. Su fórmula es la siguiente:

$$L_t = L_\infty \left(1 - e^{-k(t-t_0)}\right)$$

Dónde:

L_t – longitud total a la edad t

L_∞ – longitud asintótica

k – coeficiente de crecimiento

t – edad en años

t_0 – edad teórica a la cual la longitud es igual a cero

Para estimar los parámetros de la ecuación se utilizó un método iterativo no lineal, contenido en el programa Statistica 7.0. Para determinar si existen diferencias entre las curvas de crecimiento de machos y hembras, se utilizó el análisis de la suma de cuadrados residuales propuesto por Chen *et al.* (1992), que compara todos los parámetros del modelo de von Bertalanffy (Haddon, 2001). En este mismo sentido, se decidió evaluar de manera alternativa las diferencias en el patrón de crecimiento entre hembras y machos, mediante la tasa absoluta de crecimiento para cada sexo y se comparó con una prueba Chi-cuadrada.

Adicionalmente se estimó el modelo de crecimiento individual de von Bertalanffy pero con el ajuste propuesto por Fabens (1965), quien propone utilizar la

talla de nacimiento (L_0) en lugar de t_0 debido a que la talla de nacimiento generalmente es más fácil de obtener en elasmobranquios. La fórmula con el ajuste es la siguiente:

$$L_t = L_\infty - \left(L_\infty - L_0\right)e^{kt}$$

Dónde:

L_t – longitud total a la edad t

L_∞ – longitud asintótica

L_0 – longitud a la que nace la especie

k – coeficiente de crecimiento

t – edad en años

VII. RESULTADOS

VII. 1. Composición de las muestras

Se analizaron un total de 499 organismos de *C. falciformis* de (agosto del 2003 a julio de 2004) en 113 laces diferentes. La mayor abundancia de muestras se obtuvo en junio (92), mayo (87) y marzo (86), mientras que el menor número se obtuvo de noviembre a febrero, sin detectarse un patrón definido de abundancia (Fig. 3).

De los 499 organismos, 253 fueron machos y 240 hembras, mientras que a 6 de ellos no se les registró el sexo. La proporción sexual obtenida fue de 1:0.95 (macho: hembra), no detectándose diferencias significativas en esta proporción según la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Dmáx.: -0.012; p > 0.10).

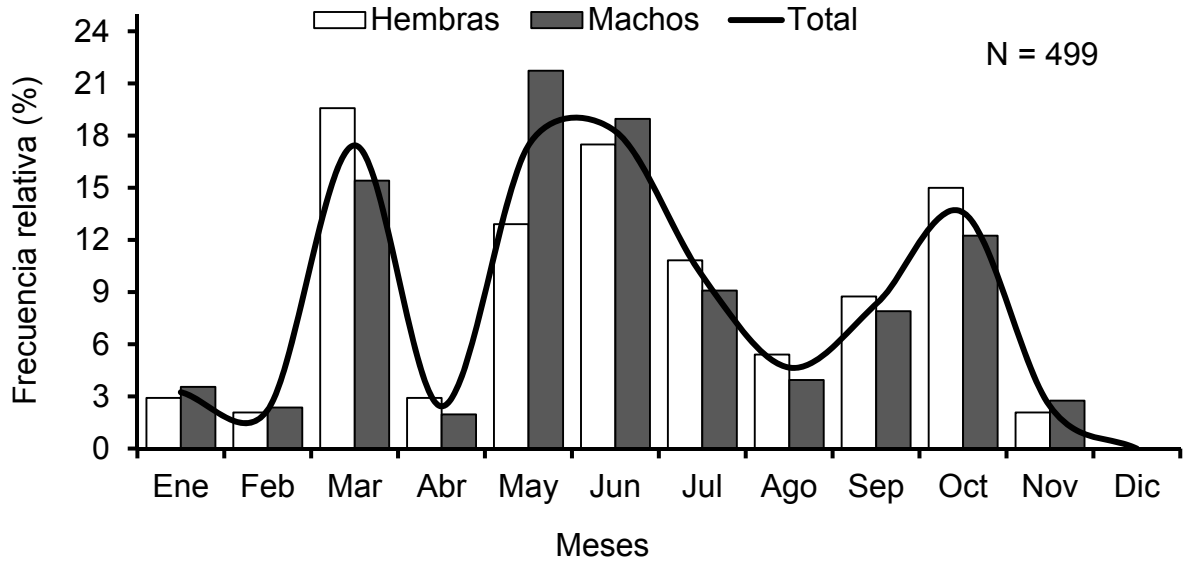

Figura 3**.** Organismos observados de *C. falciformis* por mes y por sexo en el Océano Pacífico oriental tropical.

Así mismo, se analizó la distribución de las muestras con las coordenadas en donde fueron obtenidas, sin que se detectaran diferencias entre sexos y por estadio de madurez (organismos menores a 182 cm LT para machos y 180 cm LT para

hembras, son inmaduros; Cadena-Cárdenas, 2001; Hoyos-Padilla, 2003), lo anterior se observa en las figuras 4 y 5 respectivamente.

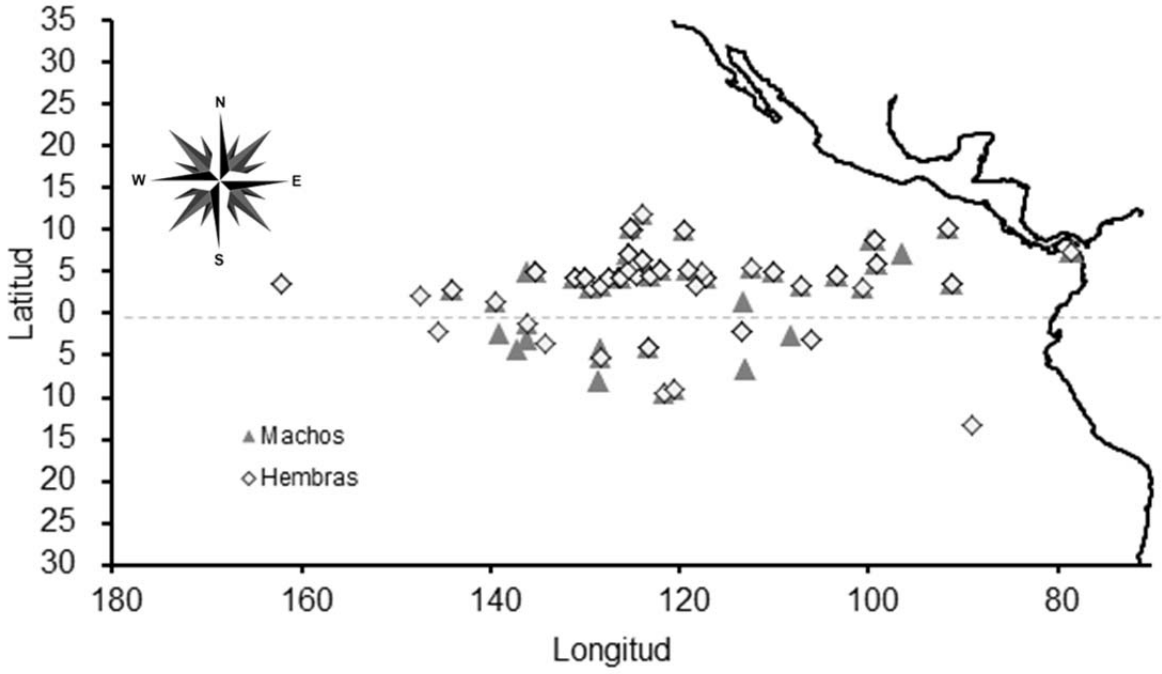

Figura 4. Mapa de distribución por sexos de las muestras de *C. falciformis* en el Océano Pacífico oriental tropical.

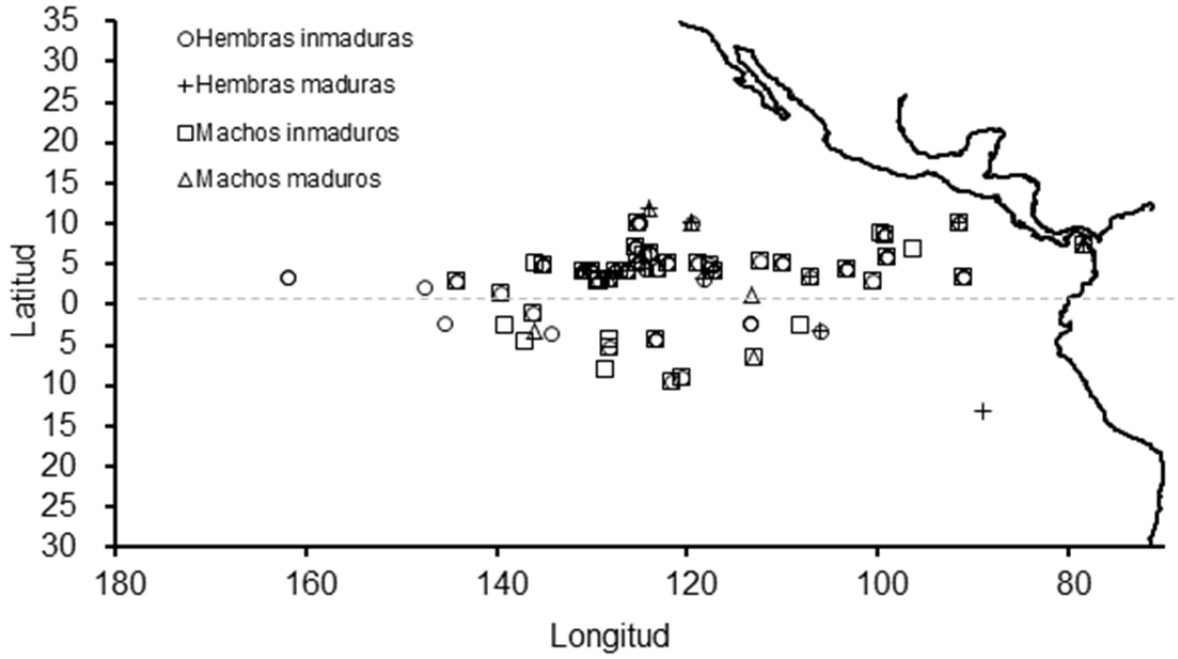

Figura 5. Mapa de distribución por tallas de *C. falciformis* en el Océano Pacífico oriental tropical.

VII.2. Análisis de las muestras

De los 499 organismos muestreados, se obtuvieron 347 muestras de vértebras (166 hembras y 176 machos y a cinco no se les pudo determinar el sexo). La distribución de estas muestras (vértebras) corresponde exactamente a la mencionada en el apartado anterior (Fig. 6).

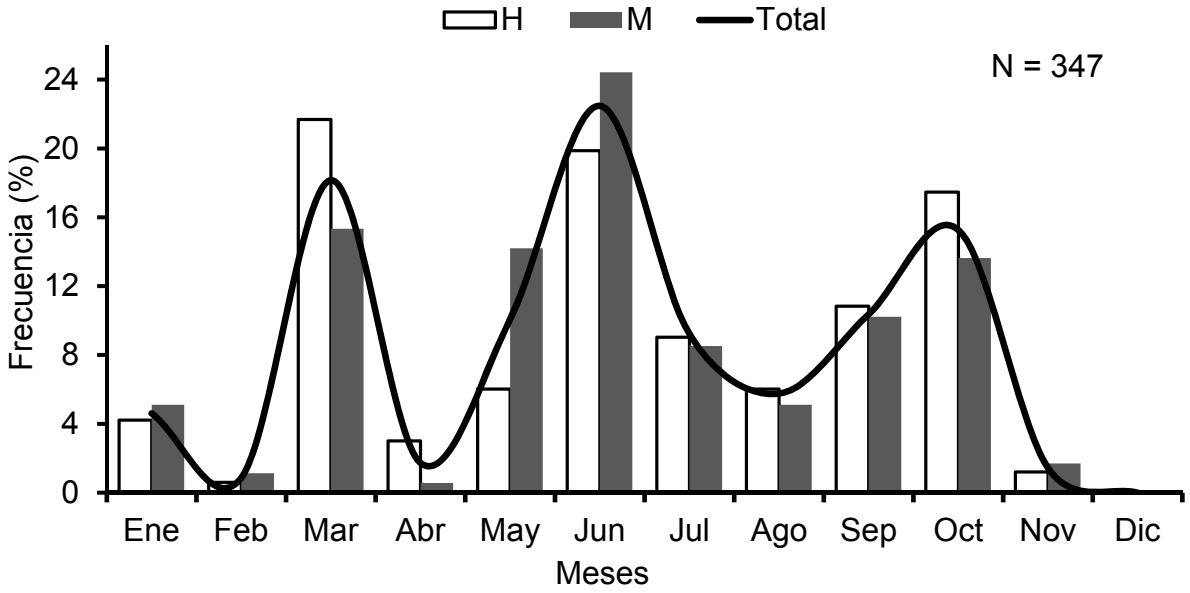

Figura 6. Muestras de vértebras de *C. falciformis* por mes y por sexo.

VII.2.1. Digitalización de los cortes de las vértebras

En todos los cortes realizados se observó el foco y el borde distal de la vértebra. Sólo en 31 cortes se utilizó el aumento 6.3X, debido a su tamaño. En el 98.5% de las imágenes digitalizadas fue posible identificar las marcas de crecimiento, es decir, de las 342 muestras digitalizadas sólo en cinco no fue posible observar las marcas de crecimiento.

VII.2.2. Estimación de las marcas de crecimiento

El proceso de corrección (mejoramiento) de las imágenes digitalizadas permitió una sensible mejoría, lo que facilitó el conteo de las marcas presentes. La corrección del brillo y el contraste clarifica las bandas opacas y translúcidas en los cortes de las vértebras de *C. falciformis* (Fig. 7).

Figura 7. Izquierda: Imagen digitalizada de un corte antes de la corrección. Derecha: Imagen digitalizada después de la corrección.

La marca de nacimiento no siempre fue evidente, pues el cambio en el eje de crecimiento de la vértebra no siempre fue fácil de distinguir, sin embargo al estar asociada a una banda translúcida cercana al foco, se pudo ubicar en todas las secciones que se leyeron.

Se observaron organismos que sólo presentaban una banda opaca después de la marca de nacimiento (grupo de edad 0, borde opaco), hasta organismos con 17 bandas translúcidas (grupo de edad 17, borde translúcido).

VII.2.3. Estructura de tallas

El intervalo de tallas obtenido en el presente estudio fue de 56.6 a 220.6 cm LT (112.3 cm LT promedio), observándose un intervalo para hembras de 56.6-220.6 cm LT (116.8 cm LT promedio) y para machos de 59.5-206 cm LT (108.7 cm LT

promedio). La estructura de tallas no presentó diferencias significativas debidas al sexo de acuerdo con la prueba Kolmogorov-Smirnov (Dmáx=-0.013; p > 0.10) (Fig. 8).

De acuerdo con distintos autores (Fourmanoir, 1961; Compagno, 1984; Branstetter, 1987; Bonfil *et al.*, 1993; Cadena-Cárdenas, 2001; Oshitani, 2003; Alejo-Plata, 2007), la talla de nacimiento de *C. falciformis* se encuentra entre 65 y 84 cm LT. Tomando en cuenta lo anterior, se consideraron a todos los organismos menores a 65 cm LT como embriones. El 3.20% de las tallas registradas correspondieron a embriones, por lo que no fueron incluidos en las estimaciones de edad, ni de crecimiento.

Los organismos pequeños (< 100 cm LT) predominaron en la muestra, con 51.3% de la abundancia. Considerando la talla de madurez reportada para esta especie (182 cm LT para machos y 180 cm LT para hembras, Cadena-Cárdenas, 2001; Hoyos-Padilla, 2003), los organismos menores a 180 cm representaron el 90.2% de la muestra, esto es, solo el 9.8% de la muestra capturada por la flota atunera en el Océano Pacífico oriental tropical corresponde a organismos adultos (Fig. 8).

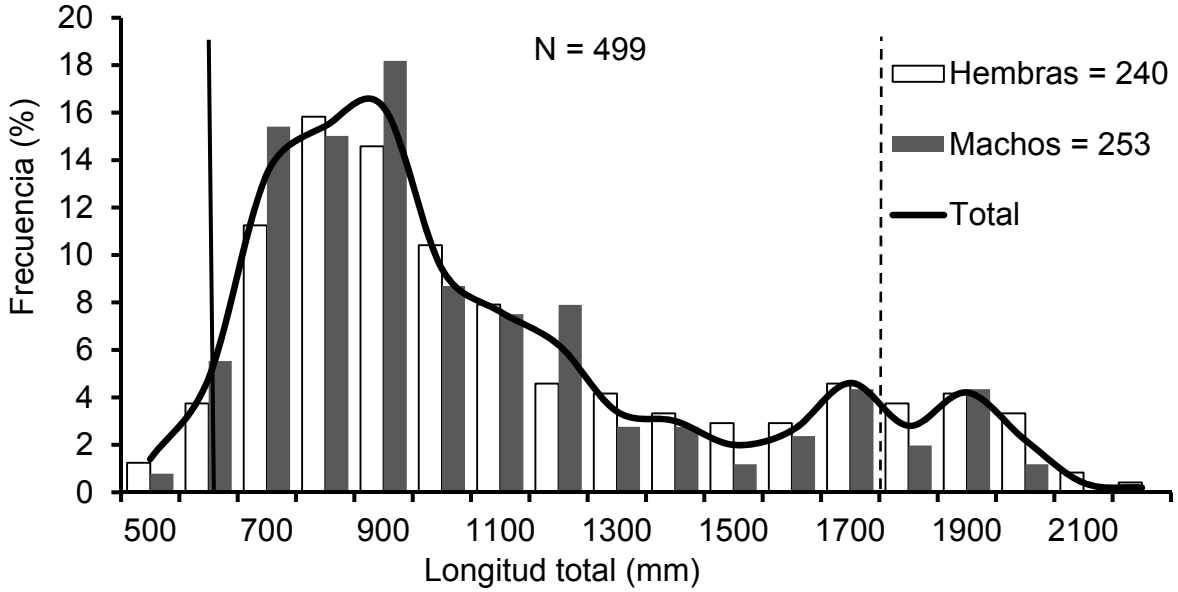

Figura 8. Estructura de tallas de *C. falciformis* por sexo en la zona oceánica del Pacífico oriental tropical. Línea continua vertical: indica la talla de nacimiento. Línea punteada señala la talla de madurez.

En la estructura de tallas mensual no se observó una tendencia muy definida, sin embargo fue posible observar que durante el primer semestre del año (ene-jun), la talla promedio mensual tiende a ser un poco menor que las del segundo semestre (jul-nov). Al analizar la longitud promedio mensual para machos y hembras, se mantuvo este patrón, sin embargo, se apreciaron diferencias entre las tallas de machos y hembras durante los primeros meses del año, siendo mayores las hembras, igualándose la longitud a partir de mayo (Fig. 9).

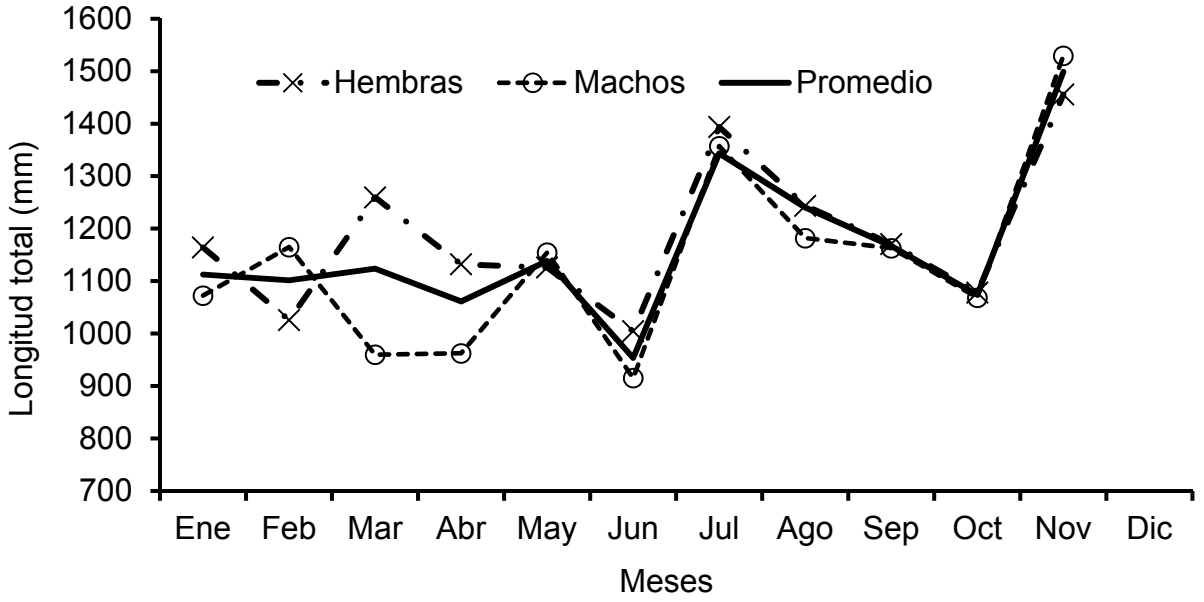

Figura 9. Longitud mensual promedio de *C. falciformis* de machos, hembras y total.

VII.2.4. Crecimiento somático vs. Crecimiento de la vértebra

La relación entre el RV-LT para hembras y machos fue lineal y significativa (hembras; r^2=0.98; machos r^2=0.97) (Fig. 10). En los resultados de la prueba “t” para pendientes y elevaciones no se encontraron diferencias significativas en esta relación debidas al sexo ($p > 0.10$), por lo que se estimó la relación LT-RV para sexos combinados (Fig. 11).

Con lo anterior se corroboró que la vértebra es una estructura útil para estimar tallas a edades pretéritas (retrocálculo).

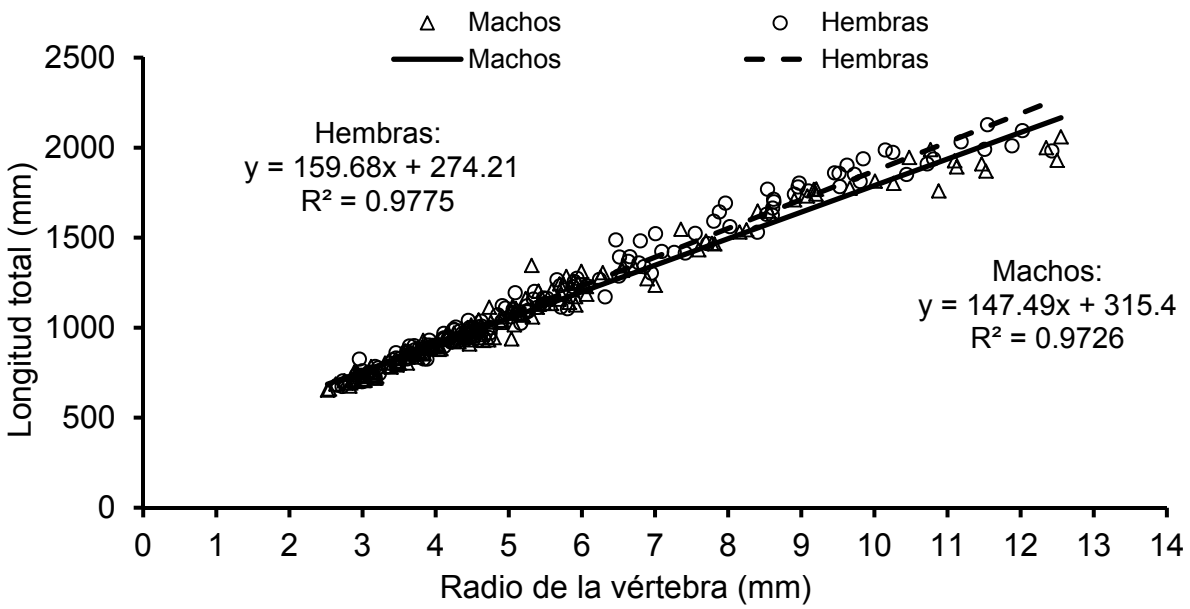

Figura 10. Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total (RV–LT) de machos y hembras de *C. falciformis* en la zona oceánica del Pacífico oriental tropical.

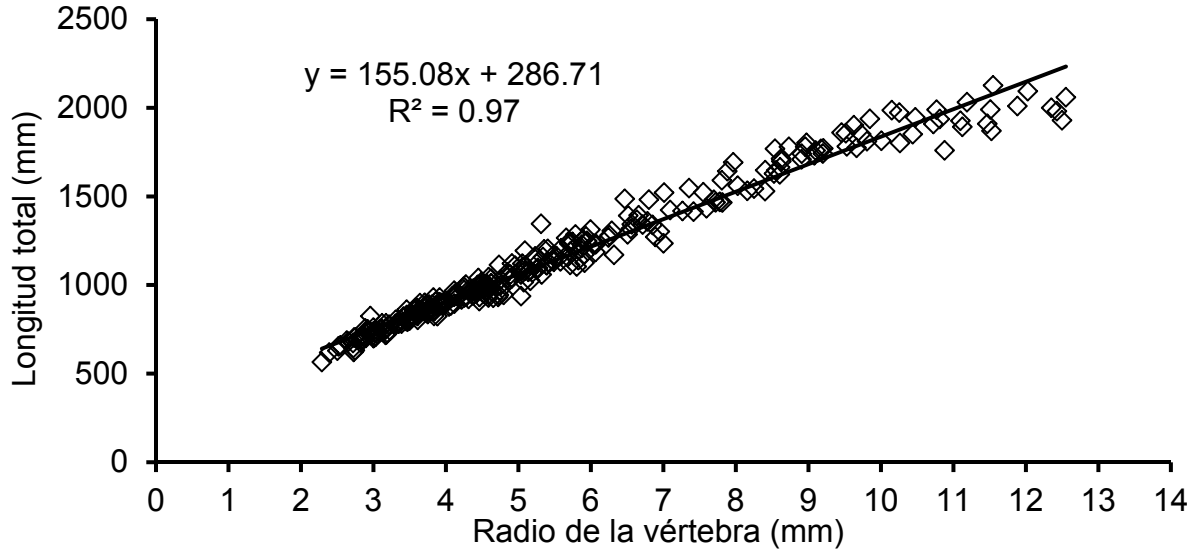

Figura 11. Relación entre el radio de a vértebra y la longitud total (RV–LT) para ambos sexos de *C. falciformis* en la zona oceánica del Pacífico oriental tropical.

VII.2.5. Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento

Se observó que la mayor abundancia de borde opacos se presentó de junio a noviembre (verano-otoño), con una considerable disminución en el primer semestre

del año (Fig. 12). Este patrón permitió suponer que la marca de crecimiento tuvo una periodicidad anual, con una banda opaca asociada al incremento de la temperatura y la banda translúcida en los meses con temperaturas bajas.

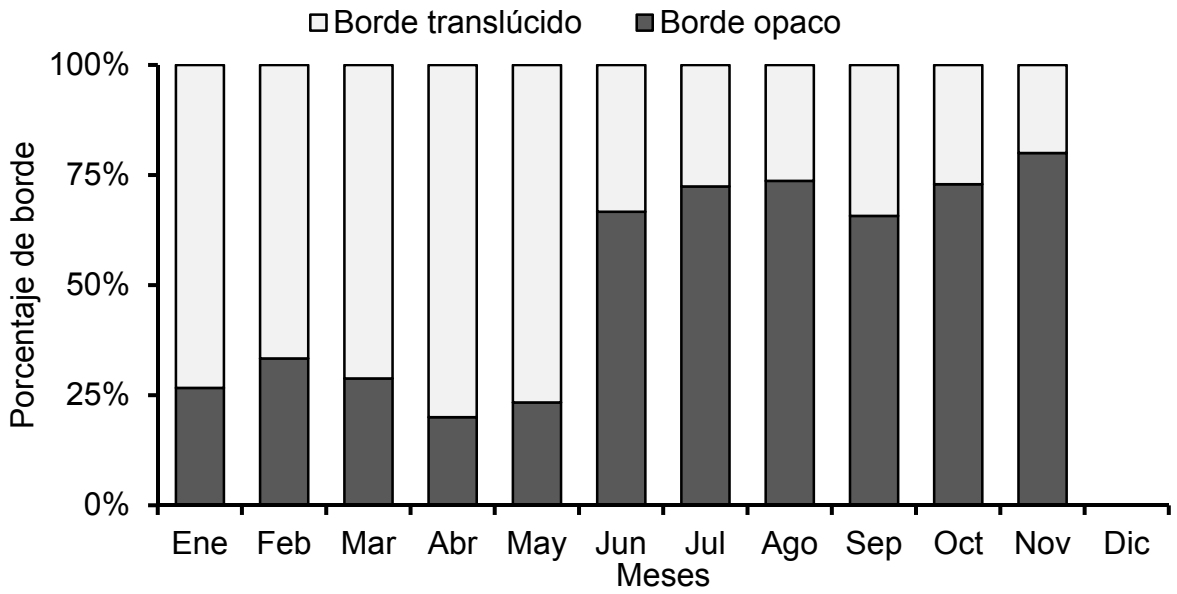

Figura 12. Porcentaje del tipo de borde de las vértebras de *C. falciformis* en el Océano Pacífico oriental tropical.

VII.2.6. Estructura de edades

Una vez leídas las marcas de crecimiento presentes en los cortes de las vértebras, se elaboró la estructura de edades agrupando a los organismos en grupos de edad, considerando el número de marcas traslúcidas presentes. Para aquellos organismos que no presentaron la primera marca completa, se catalogaron dentro del grupo de edad cero, mientras que aquellos que presentaron la primera marca completa, aunque presentaran la segunda banda opaca se catalogaron como grupo de edad uno y así sucesivamente.

De las 347 secciones vertebrales colectadas, sólo se les determinó la edad a 335 organismos, ya que los 12 restantes se consideraron embriones. Se observó predominancia de organismos de los grupos de edad uno (20.6%), dos (15.2%), tres (9.3%). Es necesario destacar la abundancia de los organismos de la edad cero

(16.1%), el cual correspondió a organismos neonatos y jóvenes de menos del año. Considerando lo anterior, se obtuvo como resultante una frecuencia acumulada del 61.2% de la captura, es decir, más de la mitad de la captura correspondió a organismos de tallas muy pequeñas o sexualmente inmaduros. La edad máxima estimada en el presente estudio fue de una hembra con 19 marcas de 210 cm LT, seguida por una hembra y un macho con 18 marcas de crecimiento de 209 cm y 206 cm LT respectivamente, aunque el organismo más grande, de los que se les estimo la edad, fue una hembra de 212 cm LT con 17 marcas de crecimiento. La estructura de edades para machos, hembras y sexos combinados se presenta en la figura 13.

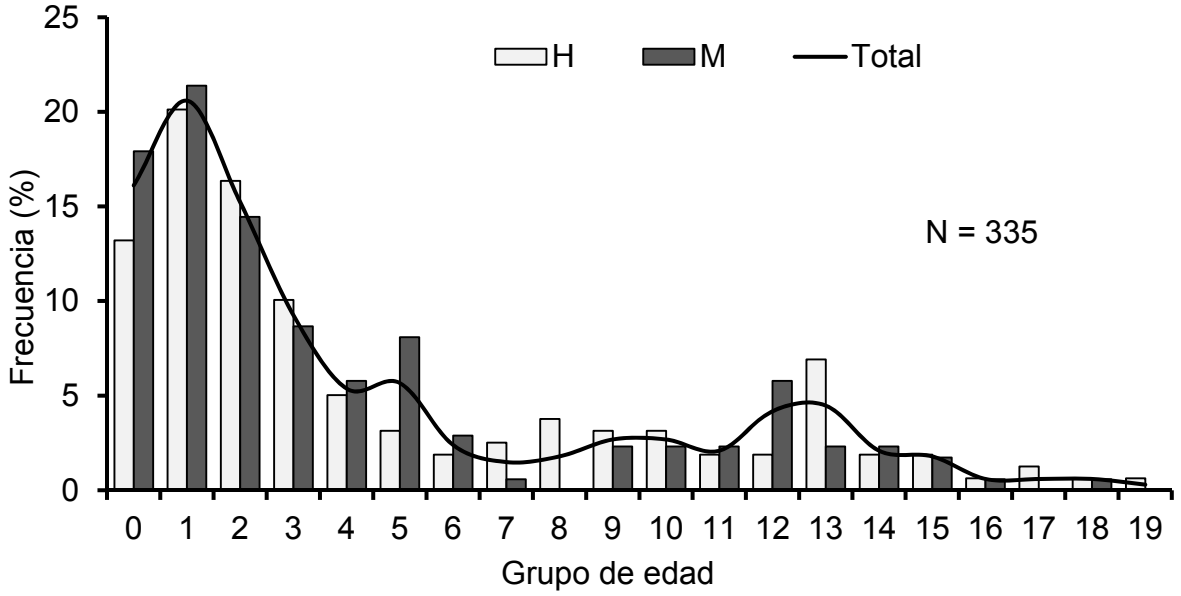

Figura 13. Estructura de edades (machos, hembras y total) de *C. falciformis* capturado por la flota atunera del Pacífico oriental tropical.

VII.2.7. Crecimiento Individual

Los resultados de los parámetros de la curva del modelo de crecimiento individual de von-Bertalanffy (MCVB) para machos fue de L_∞= 309.07 cm, k= 0.048

(años^{-1}) y t_0= -5.88 años, para hembras fue de L_∞= 363.5 cm, k= 0.036 (años^{-1}) y t_0= -6.834 años. Como se puede observar en la figura 14, los resultados del modelos de crecimiento individual para machos y hembras son muy similares y es evidente que no existen diferencias debidas al sexo, por lo que se estimó el MCVB para sexos combinados obteniéndose los siguientes parámetros: L_∞= 340.45 cm, k= 0.04 (años^{-1}) y t_0= -6.527 años.

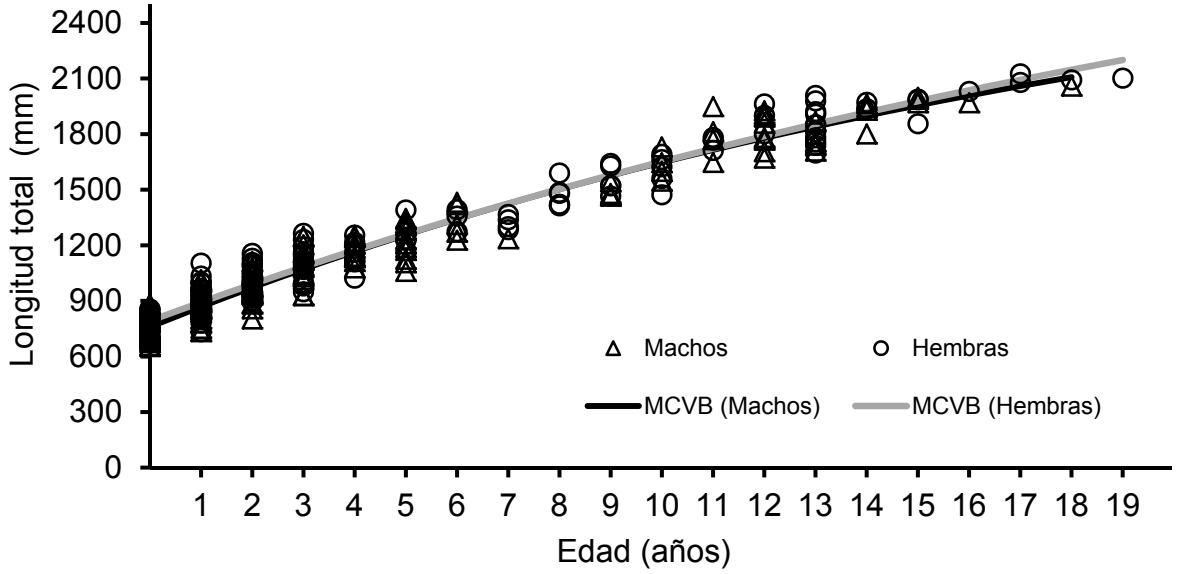

Figura 14. Modelo de crecimiento individual de von Bertalanffy para sexos combinados.

Para estimar el modelo propuesto por Fabens (1965) se utilizó la L_0= 65 cm LT. El resultado de los parámetros del modelo fueron, para machos: L_∞= 226.3 cm, k= 0.10 (año^{-1}), para hembras: L_∞= 233.3 cm, k= 0.096 (año^{-1}) y para sexos combinados: L_∞= 269.32 cm, k= 0.068 (año^{-1}). Al igual que en el MCVB, no se observan diferencias entre las curvas de crecimiento (Fig. 15). El valor de L_∞ obtenido con este modelo es similar a las tallas máximas encontradas en el presente estudio (210 cm).

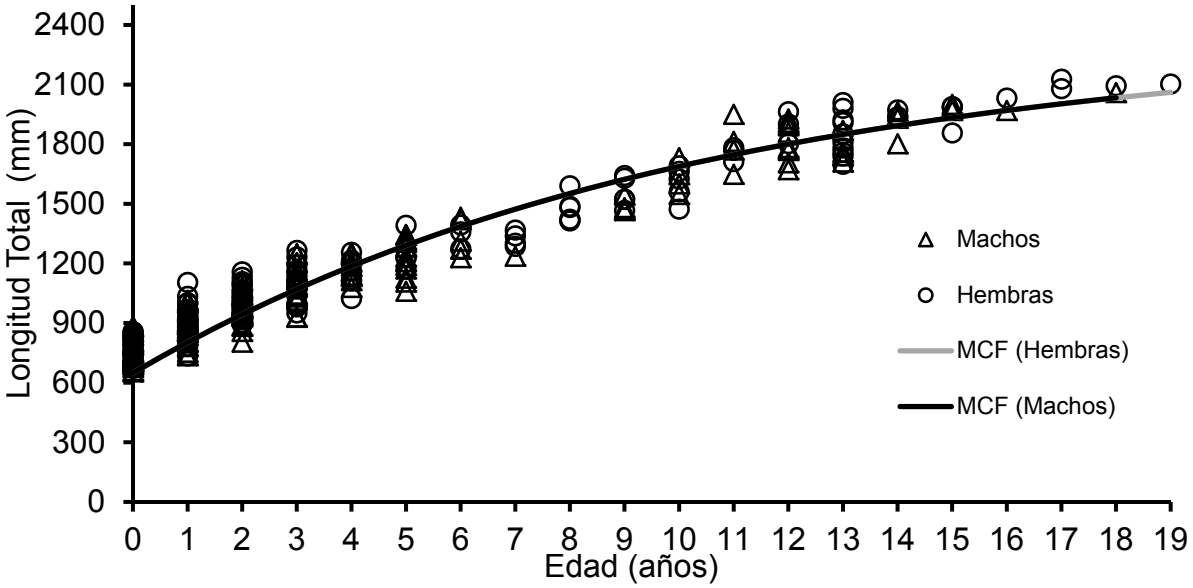

Figura 15. Estimación del modelo de crecimiento individual (MCF), con el ajuste propuesto por Fabens (1965).

VIII. DISCUSIÓN

VIII.1. Composición de las muestras

El número de organismos muestreados durante el presente estudio fue menor en comparación con los estudios de Bonfil *et al.* (1993) quienes reportan 837 tiburones medidos; Oshitani *et al.* (2003) con 6931 tiburones y Alejo-Plata *et al.* (2007) con 1314 tiburones. La variación en el número de ejemplares puede estar asociado a diferentes factores, principalmente al periodo de muestreo, ya que Bonfil *et al.* (1993) recolectaron muestras durante cuatro años (1985-1989), Oshitani *et al.* (2003), durante siete años (1992-1999) y que recolectó muestras de distintos artes de pesca (redes de cerco como palangres), por último, Alejo-Plata *et al.* (2007) durante casi cinco años, quienes realizaron muestreos semanales, lo cual incrementó la posibilidad de obtener un mayor número de organismos (Tabla 1).

Otro de los factores es el origen de la muestra, si provienen de la captura comercial, no siempre es fácil tener acceso a los organismos, pueden operar en áreas limitadas o durante temporadas cortas. En ese sentido, Smith *et al.* (2009) sólo obtuvo 104 muestras de *C. falciformis* de la captura comercial que se efectuó durante primavera, verano y otoño de 1998-1999 en la costa oriental de Baja California, caso similar es el de Sánchez de Ita *et al.* (2011) quienes sólo reportaron 252 organismos en la costa occidental de Baja California Sur.

En el presente estudio, el número de vértebras recolectadas y procesadas fue mayor al de los demás estudios que han trabajado estimando la edad de *C. falciformis*. Como se mencionó, la razón del número de muestras de cada estudio es desconocida, sin embargo, mientras mayor sea el número de muestras, mejor se representará a la población.

La frecuencia mensual de las muestras, no permitió establecer una temporalidad de la abundancia, aunque, se podría sugerir que su mayor presencia ocurrió entre marzo y junio, un poco antes de lo reportado por Sánchez de Ita *et al.* (2011) quienes encontraron que la mayor cantidad de ejemplares de esta especie en Baja California Sur se presentó durante el verano y el otoño (julio-octubre de 2002).

Similar a lo reportado por Smith *et al.* (2009) para el Golfo de California, donde notan una mayor abundancia de *C. falciformis* en las capturas de la pesca artesanal durante el verano (junio, julio y agosto), y lo asociaron a su "corrida" (migración) que es la temporada de la pesca comercial de esta especie. Caso similar pero en el océano Índico, a la altura del ecuador (entre los 10° N y los 10°S), fue el de Amandè *et al.* (2008) quienes reportaron que la probabilidad de capturar tiburones piloto es mayor en los meses de julio a septiembre.

Tabla 1. Relación del número de organismos medidos (N) y vértebras recolectadas (V) de *C. falciformis*.

Autor y año	N	V	Localidad	Arte de pesca
Branstetter y McEachran (1986)	100	88	Golfo de México	Palangre
Branstetter (1987)	135	100	Golfo de México	Palangre
Bonfil *et al.* (1993)	837	83	Campeche	Pesca comercial
Oshitani *et al.* (2003)	6391	298	Océano Pacífico (centro y nor-occidental)	Redes de cerco, palangres
Shoou-Jeng *et al.* (2008)	469	250	Océano Pacífico	Palangre
Sánchez de Ita *et al.* (2011)	252	145	Costa occidental de Baja California Sur	Palangre
Presente estudio	499	347	Océano Pacífico	Red de cerco

La similitud en la abundancia de machos y hembras durante los muestreos del presente estudio concuerda con lo reportado por Oshitani *et al.* (2003), Alejo-Plata *et al.* (2007), Shoou-Jeng *et al.* (2008) y Sánchez de Ita *et al*. (2011); sin embargo, la mayoría de los autores mencionados, reportaron una mayor abundancia de hembras, con excepción del estudio de Shoou-Jeng *et al.* (2008), quienes encontraron mayor número de machos, al igual que los resultados encontrados en el presente estudio (Tabla 2).

No existe una idea clara del porqué se presentan igualdades o diferencias en la proporción de sexos en esta especie, así como tampoco de porqué existe una mayor proporción de hembras o de machos. Se podría suponer diferencias

geográficas o por el arte de pesca, ya que los trabajos de Hoyos-Padilla (2003) y Sánchez de Ita *et al*. (2011) corresponden a la misma área y artes de pesca similares y encuentran valores muy parecidos (1:1.54 y 1:1.45 macho: hembra respectivamente). Sin embargo, en los estudios realizados por Branstetter (1987) y Oshitani *et al.* (2003) las muestras fueron obtenidas con métodos de captura distintos, incluso en océanos diferentes y los resultados tienden a ser similares 1:1.16 y 1:1.02, macho:hembra respectivamente.

Tabla 2. Proporción de sexos de los diferentes autores

Autor y año	**N**	**Machos**	**Hembras**	**Proporción de sexos (M:H)**
Branstetter (1987)	135	55	64	1:1.16
Bonfil *et al.* (1993)	738	352	386	1:1.10
Oshitani *et al.* (2003)	6391	3417	3514	1:1.02
Shoou-Jeng *et al.* (2008)	469	256	204	1:0.80
Sánchez de Ita *et al.* (2011)	252	103	149	1:1.45
Cadena-Cárdenas (2001)	1003	223	780	1:3.50
Hoyos-Padilla (2003)	295	116	179	1:1.54
Presente estudio	499	253	240	1:0.95

A pesar de que varios autores mencionan que existe una segregación por tallas y por sexos (Strasburg, 1958; Springer, 1967; Villaviencio-Garayzar, 1996; Cabrera-Chávez-Costa, 2003; Sánchez de Ita *et al.*, 2011), en éste estudio no se observó dicha segregación, ya que se analizó la distribución de las muestras con las coordenadas en las que fueron capturados y por estadio de madurez, y no se observó dicho patrón.

VIII.2. Estructura de tallas

Los resultados en éste estudio muestran un intervalo de tallas mayor (más amplio) al reportado previamente, el cual va de los 88 a los 260 cm (Sánchez de Ita *et al.*, 2011), debido a que se registraron organismos desde 56.6 cm hasta 240.3 cm; sin embargo, debido a que en diversos trabajos se establece que la talla de nacimiento de esta especie es alrededor de los 65 cm LT (Branstetter, 1987; Bonfil *et al.*, 1993; Cadena-Cárdenas, 2001; Oshitani *et al.*, 2003; Alejo-Plata *et al.,* 2007 y Sánchez de Ita *et al.*, 2011), se consideró que los individuos de < 65 cm LT eran embriones.

Los tiburones analizados en el estudio fueron predominantemente organismos juveniles y tan solo el 9.8% de organismos adultos. En algunos estudios se reportan un mayor número de organismos adultos (≥ 180 cm LT) (Branstetter, 1987; Cadena-Cárdenas, 2001; Oshitani *et al.*, 2003; Shoou-Jeng *et al.*, 2008; Sánchez de Ita *et al*., 2011).

La comparación entre algunos trabajos y el presente se observa en la figura 16. Las diferencias entre las estructuras de tallas de los distintos trabajos pueden explicarse a través del origen de la muestra, por ejemplo, la pesca comercial de tiburón que se realiza en Baja California Sur utiliza anzuelos y redes con una luz de malla de 30.5 cm, con el objeto de capturar tiburones adultos (Sánchez de Ita *et al.*, 2011). En este sentido, las características del arte de pesca son determinantes para las tallas encontradas en el presente estudio, ya que la especie objetivo es el atún (organismos que alcanzan aproximadamente un metro de longitud), por lo que es normal que se capturen organismos de otras especies con tallas similares, como los juveniles del presente estudio.

A diferencia de los trabajos anteriores, en este estudio se encuentran organismos menores a 120 cm (68% de los organismos que conforman la captura), lo cual concuerda con el estudio de Watson *et al.* (2008) quienes encontraron predominancia de organismos menores a 90 cm en el este del Océano Pacífico, y con los resultados de Amandè *et al.* (2008), quienes de igual manera registraron

predominancia de organismos pequeños (≤ 100 cm) en su estudio realizado en el Océano Índico, ambos analizando organismos capturados como pesca incidental.

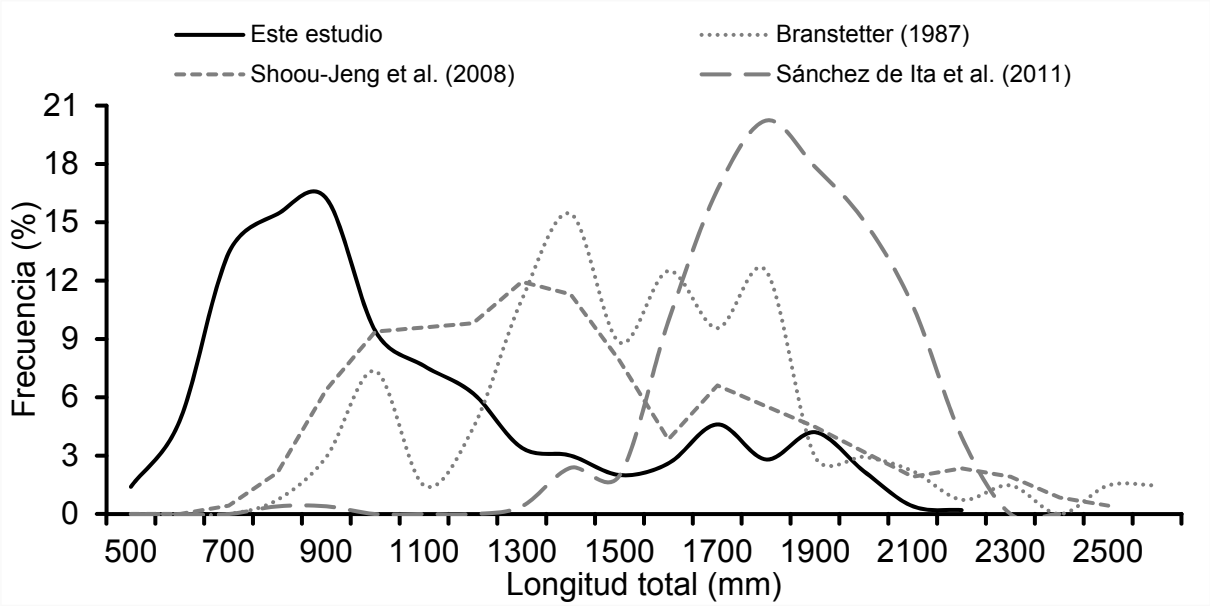

Figura 16. Estructura de tallas de *C. falciformis* reportadas por distintos autores.

De acuerdo a la talla de primera madurez de 178 cm LT y 180 cm LT, reportada para la especie en aguas mexicanas por Cadena-Cárdenas (2001) y Hoyos-Padilla (2003) respectivamente, solo el 10% de las muestras obtenidas en el presente estudio corresponden a organismos adultos. Si se considera el resto de las tallas de primera madurez, en algunos casos, el 100% de las muestras serían juveniles. Por ejemplo, si obtenemos el promedio de todas las tallas de madurez reportadas (Tabla 3), tendríamos una talla promedio de madurez de 211 cm LT para machos y 218 cm para hembras, esto es, sólo el 0.6% correspondería a organismos sexualmente maduros.

Lo anterior implica que el impacto ocasionado por la pesca incidental de la flota de cerco para atún, sobre *C. falciformis* puede ser mucho mayor de lo supuesto. Para reducir la incidencia de esta especie y otros *taxa* vulnerables en las capturas, Watson *et al.* (2008), proponen cierres espaciales como una herramienta viable para reducir la pesca incidental.

Tabla 3. Tallas de madurez reportadas de *C. falciformis* (cm LT).

Autor y año	Localización	Machos	Hembras
Strasburg (1958)	Pacífico central	-	213 – 236
Fourmanoir (1961)	Océano Índico	240	248 – 260
Bane (1966)	Atlántico este	220	238 – 250
Stevens (1984a)	Pacífico central	239	216
Stevens (1984b)	Pacífico sur	214	202 – 208
Branstetter (1987)	Golfo de México (NW)	215 – 220	232 – 233
Bonfil *et al.* (1993)	Campeche	225	232 – 245
Cadena-Cárdenas (2001)	Costa oriental de B.C.S.	178	178
Oshitani *et al.* (2003)	Pacífico central	173.6	193.5 – 200
Hoyos-Padilla (2003)	Costa occidental de B.C.S.	182	180
Shoou-Jeng *et al.* (2008)	Costas de Taiwán	212	210

VIII.3. Crecimiento somático vs crecimiento de la vértebra (RV-LT)

La relación entre el crecimiento corporal y el crecimiento de la vértebra fue lineal y significativa, además de que no se observaron diferencias significativas en esta relación entre machos y hembras, lo anterior ha sido reportado por diferentes autores (Tabla 4; Branstetter y McEachran, 1986; Branstetter, 1987; Bonfil *et al.,* 1993; Oshitani *et al.,* 2003; Shoou-Jeng *et al.,* 2008 y Sánchez de Ita *et al.*, 2011).

Esto implica que la vértebra puede ser utilizada para estimar las tallas a edades pretéritas (retrocálculo), lo cual es muy útil, sobre todo cuando no se cuentan con muestras de ejemplares pequeños. En este estudio no fue necesario, puesto que los juveniles fueron muy abundantes.

Tabla 4. Valores reportados de la relación entre el crecimiento somático y el crecimiento de la vértebra.

Autor y año	Región	Ecuación	r^2
Branstetter y McEachran (1986)	Cervical-dorsal	RV = 0.062(LT) + 0.888	0.97
Branstetter (1987)	Cervical	LT = 15.8(RV) + 18.3	0.97
Bonfil *et al.* (1993)	Dorsal	LT = 15.99(RV) + 25.92	0.99
Oshitani *et al.* (2003)	Cervical	LPC = 10.93(RV) + 18.94	0.96
Shoou-Jeng *et al.* (2008)	Precaudal	LT = 18.19 (RV) + 25.98	0.90
Sánchez de Ita *et al.* (2011)	Cervical	LT = 16.53(RV) + 18.8	0.94
Presente estudio	Cervical	LT = 155.08(RV) + 286.71	0.97

Como se observa en la figura 17, las estimaciones de los diferentes estudios son similares, excepto las de Oshitani *et al.* (2003) y las de Shoou-Jeng *et al.* (2008), quienes utilizaron tallas y vértebras precaudales respectivamente.

Para trabajos de edad y crecimiento, se podría separar la columna en tres regiones: cervical, de la región que está próxima al cráneo o *atlas* hasta donde terminan las aletas pectorales. Dorsal: la región donde empieza la primera aleta dorsal y está la muesca precaudal. Caudal: después de la muesca precaudal hasta donde termina la columna vertebral. Comúnmente se escogen las vértebras cervicales, debido a que éstas son más fáciles de obtener, pues son desechadas junto con la cabeza, por parte de los pescadores, los cuales retienen el cuerpo donde se encuentran la vertebras dorsales, que son las más grandes.

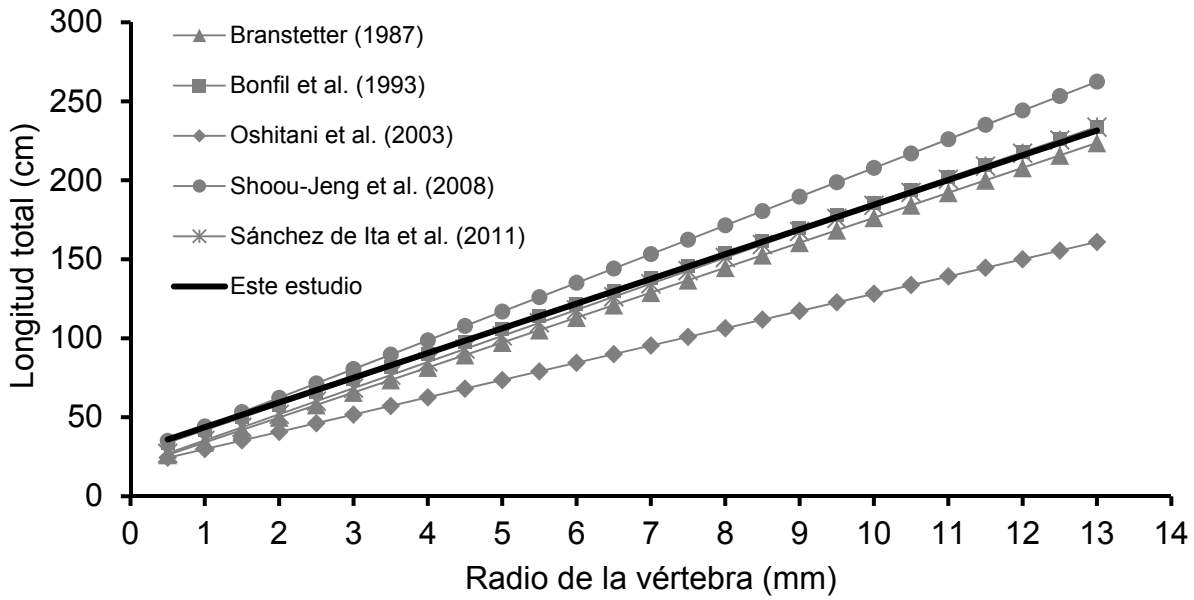

Figura 17. Relación entre el crecimiento somático y el crecimiento de la vértebra.

VIII.4. Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento

El periodo de formación de bordes opacos concuerda con lo que han reportado otros autores (Branstetter y McEachran, 1986; Bonfil *et al.*, 1993; Oshitani *et al.*, 2003; Shoou-Jeng *et al.*, 2008 y Sánchez de Ita *et al.*, 2011) para esta especie. Lo cual, parece indicar que la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento es anual, iniciando en verano-otoño y completando la marca, en invierno-primavera.

Sánchez de Ita *et al.* (2011), suponen una periodicidad anual, aunque no contaron con muestras en los meses de invierno y primavera, por lo que con el presente estudio se presentan más evidencias para dicho planteamiento en el Océano Pacífico oriental.

Otros métodos utilizados para evaluar la periodicidad de las marcas de crecimiento en las vértebras del tiburón piloto, son el análisis del incremento marginal (Branstetter, 1987) a través de la frecuencia de vértebras con estructuras convexas y cóncavas de la superficie de la vértebra (Oshitani *et al.*, 2003). En ambos casos se concluyó que las marcas de crecimiento fueron anuales. Se debe señalar que para

otras especies del género también se ha establecido la periodicidad anual (Casey *et al.*, 1985; Branstetter y McEachran, 1986; Cailliet *et al.,* 1986).

VIII.5. Estructura de edades

La edad máxima observada en el presente estudio fue una hembra de 19 años (210 cm LT), mayor que la observada por Oshitani *et al.* (2003) que fue de 13 años (279 cm LT) y por Sánchez de Ita *et al.* (2011) con una hembra de 16 años (225 cm LT), pero menor que la reportada por Bonfil *et al.* (1993) cuya edad máxima fue de 22 años (293 cm LT). En la tabla 5 se muestran los resultados de las edades máximas y su talla respectiva reportada en la literatura. Generalmente las hembras tienden a ser más longevas y alcanzar tallas mayores que los machos, aunque en el presente estudio las diferencias fueron mínimas.

Tabla 5. Edades máximas reportadas para *C. falciformis* por distintos autores.

Autor y año	Edad (años)	LT (cm)
Branstetter (1987)	13.8 años (♂)	267
Bonfil *et al.* (1993)	20 años (♂) 22 años (♀)	265 293
Oshitani *et al.* (2003)	8 años (♂) 13 años (♀)	222 279
Shoou-Jeng *et al.* (2008)	14 años (♂) 11 años (♀)	256 230
Sánchez de Ita *et al.* (2011)	14 años (♂) 16 años (♀)	215 225
Este estudio	18 años (♂) 19 años (♀)	206 210

Los resultados de la estructura por edades mostraron una alta incidencia de organismos de los grupos de edad cero, uno, dos y tres (205 organismos), lo cual es coincidente con lo observado en la estructura de tallas. Esto es similar a lo reportado

por otros autores. Oshitani *et al*. (2003) reportan una predominancia del grupo de edad dos (21%), seguido por el grupo uno (17%) y el cero (10%). Mientras que Bonfil *et al*. (1993), encontró que los organismos de dos años fueron los más abundantes con el 19%, seguidos de los individuos de menos de un año (18%) y de un año de edad (7%). Por otro lado, Sánchez de Ita *et al.* (2011), solo encuentran una hembra de dos años y un macho de tres, con la mayor abundancia de organismos de 5 a 10 años (Fig. 18).

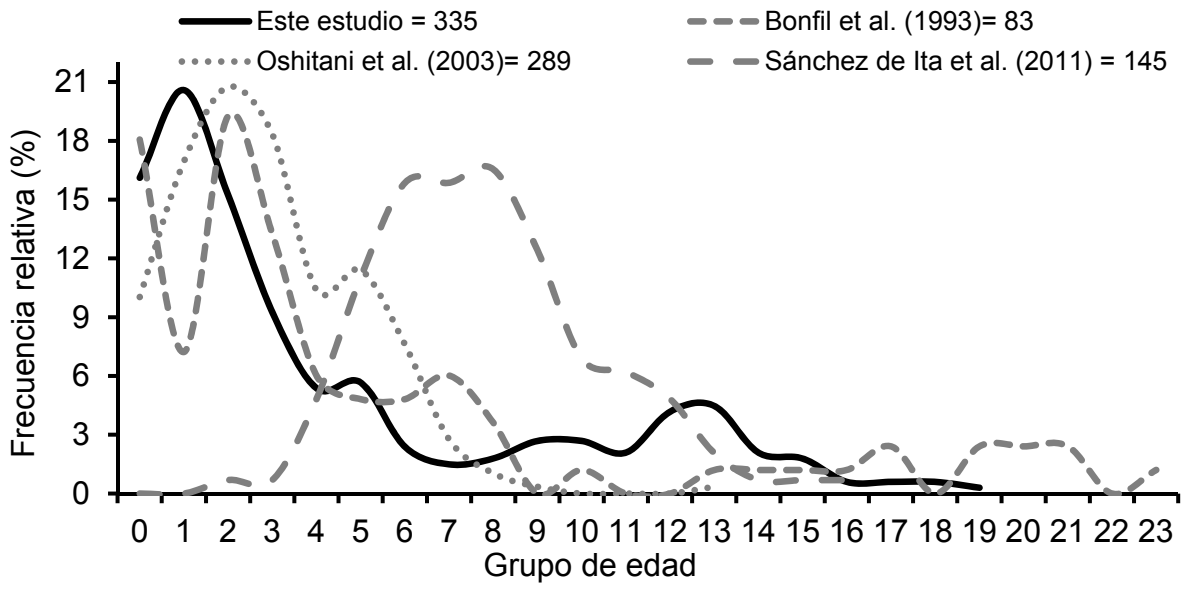

Figura 18. Comparación de la estructura de edades estimadas en el presente estudio con las reportadas para *C. falciformis.*

El origen de la muestra (arte de pesca), puede ser la principal causa de las diferencias observadas, ya que influye en el intervalo de tallas por lo que se estarían analizando distintos segmentos de la población y las edades obtenidas serán diferentes, como en el caso del presente estudio con el de Sánchez de Ita *et al.* (2011), donde éste último presenta tallas mayores.

De acuerdo a los resultados de Hoyos-Padilla (2003), de que las tallas de primera madurez de 182 cm LT para machos y 180 cm LT para hembras, estas tallas corresponden a organismos de 11 y 12 años de edad respectivamente, lo que vienen a corroborar lo mencionado en la estructura de tallas, esto es, que se está incidiendo principalmente sobre organismos inmaduros.

El establecer criterios de estimación de edad constantes entre los lectores o entre los laboratorios, debe ser uno de los elementos claves para este tipo de estudios, si los criterios varían, una misma vértebra puede ser interpretada diferente, aún por el mismo lector (Officer *et al.*, 1996). Lo anterior puede ser otro elemento para las diferencias en las estructuras por edad reportadas.

La preparación de la estructura dura para estimar la edad, es un elemento muy importante (Officer *et al.*, 1996), ya que de ello depende la claridad y la facilidad de la interpretación de las marcas de crecimiento. En el estudio presente, la técnica que se siguió fue la estándar para vértebras de elasmobranquios (corte longitudinal, montaje, luz transmitida, etc.), sin embargo, al estimar la edad sobre las imágenes digitalizadas mejoradas, permitió que las marcas de crecimiento fueran más evidentes, lo cual es el objetivo de cualquier técnica de preparación

VIII.6. Crecimiento individual

En cuanto a los valores de los parámetros del MCVB del presente estudio, se puede observar que la L_∞ es similar a la talla máxima reportada (30 cm LT) por Garrick (1982), y es mayor a la obtenida por estudios anteriores (Tabla 6), siendo cercana al valor reportado por Shoou-Jeng *et al.* (2008).

El valor del parámetro *k* observado en el presente estudio, es menor a todos los estudios anteriores, teniendo una mayor similitud con el valor observado por Shoou-Jeng *et al.* (2008), ambos valores son menores a 0.10, lo cual nos sugiere que esta especie es de lento crecimiento, como la mayoría de las especies de peces cartilaginosos.

Cailliet y Goldman (2004) hacen una recopilación de los valores k para distintas especies de la familia Carcharhinidae como *C. brachyurus* (0.03), *C. leucas* (0.07), *C. longimanus* (0.09), *C. obscurus* (0.03), *C. plumbeus* (0.04) y mencionan que este grupo de tiburones es el más diverso (31 especies), presentando un amplio intervalo en los valores del coeficiente (*k*), desde 0.03 para *C. obscurus* y *C. brachyurus*, hasta 1.012 y 1.337 para hembras y machos de *Rhizoprionodon taylori*, respectivamente.

Cailliet y Goldman (2004), comentan que las estimaciones del MCVB se ven seriamente afectadas con la falta o escasez de organismos muy pequeños o muy grandes, esto es la estructura de tallas analizada. En el presente estudio, se tiene uno de los supuestos, escasez de organismos grandes y una alta predominancia de organismos pequeños, por lo que la estimación de los parámetros de crecimiento se ve afectada.

El conocimiento de la estructura de edades de una población y el coeficiente de crecimiento *k* son importantes para entender la reacción de una población de elasmobranquios explotada (Araya y Cubillos, 2006). En este sentido, Pratt y Casey (1990) y Musick (1999) mencionan que la constante *k* ha sido utilizada para medir el índice de vulnerabilidad de un stock sujeto a mortalidad excesiva y es muy útil para comparar estrategias y limitaciones en la historia de vida entre las especies, por ejemplo, Cailliet y Goldman (2004), comentan que las especies que presentan una constante de crecimiento (*k*) menor a 0.10 tienden a ser particularmente vulnerables.

Cailliet y Goldman (2004), también mencionan que las diferencias en el coeficiente de crecimiento (*k*), pueden estar relacionadas con el tamaño de muestra, la metodología utilizada para estimar la edad, la verificación, la validación, y con las técnicas de ajuste del modelo de crecimiento.

Tabla 6. Valores reportados de los parámetros de la ecuación de crecimiento individual de von Bertalanffy para sexos combinados.

Autor y año	**L_∞ (cm)**	**k (año^{-1})**	**t_0 (años)**
Branstetter (1987)	291	0.153	-2.2
Bonfil *et al.* (1993)	311	0.101	-2.72
Oshitani *et al.* (2003)	286	0.148	-1.76
Shoou-Jeng *et al.* (2008)	332	0.08	-2.76
Sánchez de Ita *et al.* (2011)	240	0.14	-2.98
Presente estudio	341	0.04	-6.53

El patrón de crecimiento individual de *C. falciformis* representado por el MCVB y reportado por diferentes autores se muestra en la figura 19. Es posible observar una amplia gama de curvas de crecimiento, lo cual podría deberse a las diferencias geográficas de las muestras (Bonfil *et al.*, 1993), a la interpretación de las marcas de crecimiento (Carlson y Parsons, 1997), a los cambios en la composición talla-edad (Moulton *et al.*, 1992), así como a la representatividad de los diferentes grupos de edad.

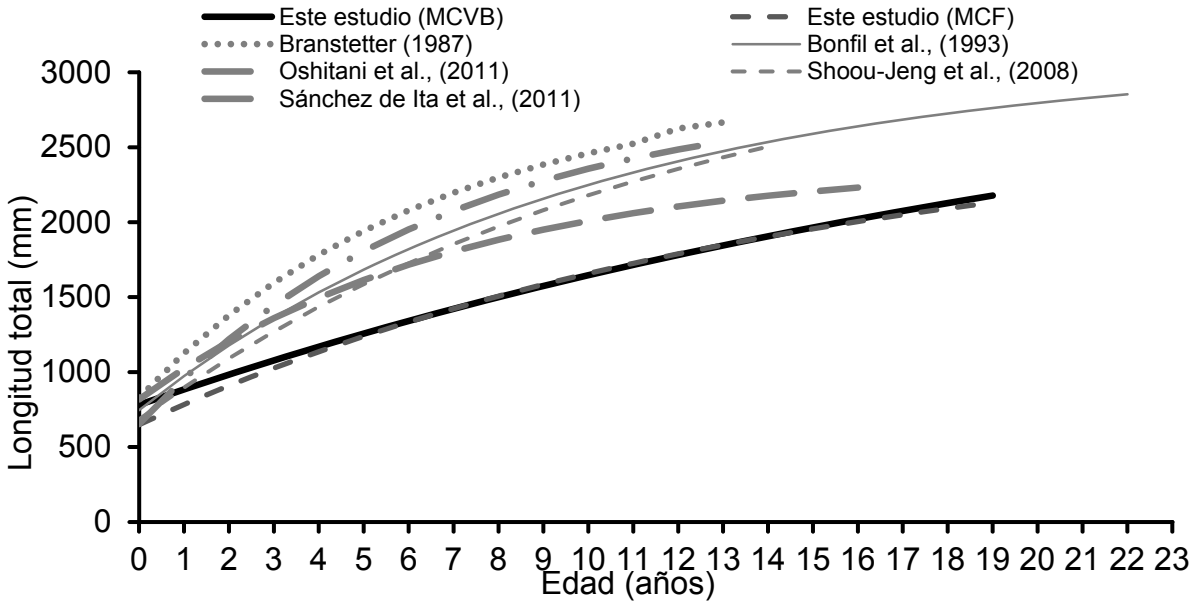

Figura 19. Representación del modelo de crecimiento individual de *C. falciformis* por diferentes autores para sexos combinados.

Diferentes autores han propuesto que es más adecuado utilizar la formulación al modelo original de crecimiento de von Bertalanffy (donde se considera la L_0 y no se calcula t_0), sobre todo en el caso de los estudios de elasmobranquios. Lo anterior basado en la ausencia de significado biológico de t_0, y que el valor de L_0 en la mayoría de los elasmobranquios son elevados y que en ningún caso se debe de considerar a t_0 como el periodo de gestación o de desarrollo embrionario (Cailliet *et al.*, 2006).

Watson *et al.* (2008) y Amandè *et al.* (2008) comentan que existe una gran preocupación por la conservación de este recurso y el manejo de las pesquerías, ya

que tanto en el Océano Pacífico como en el Océano Índico, se cree que muy posiblemente está siendo sobreexplotada. Es por ello, que se requiere la elaboración urgente de un plan de manejo adecuado a esta especie, para que el recurso siga siendo sustentable y el ecosistema no presente alteraciones ecológicas irreversibles. En este sentido, los resultados del presente estudio aportan más información para una toma de decisiones adecuada, ya que se abordó la edad y el crecimiento de la especie en una zona muy amplia de su distribución, donde particularmente se están afectando organismos juveniles.

IX. CONCLUSIONES

- ✓ No se observaron diferencias significativas en la abundancia de machos y hembras en la captura incidental de *C. falciformis* en el Océano Pacífico oriental tropical.

- ✓ Se observó una mayor abundancia de *C. falciformis* entre los meses de marzo, mayo, junio y octubre sin detectarse algún patrón definido.

- ✓ No se observó segregación espacial por sexos, ni por tallas de *C. falciformis* en el Océano Pacífico oriental tropical.

- ✓ La flota de cerco que opera en el Océano Pacífico oriental está incidiendo principalmente sobre juveniles (90.2%).

- ✓ Existe una proporcionalidad lineal entre el crecimiento somático y el crecimiento de la vértebra (R^2=0.97).

- ✓ Las marcas de crecimiento en las vértebras de *C. falciformis* tienen una periodicidad anual.

- ✓ La longevidad de *C. falciformis* reportada en el presente estudio es de 19 años para las hembras y 18 años para los machos.

- ✓ De acuerdo con las tallas de madurez reportadas por Hoyos-Padilla (2004), *C. falciformis* alcanza la madurez entre los 11 años (machos) y 12 años (hembras).

- ✓ Los valores de los parámetros del MCVB fueron: L_∞= 340.5 cm, k= 0.04 (año^{-1}) y t_0= -6.53 años y del ajuste (Fabens, 1965) fueron: L_∞= 269.3 cm, k= 0.07 (año^{-1}).

- ✓ La constante de crecimiento (*k*) baja y la preponderancia de juveniles en las capturas deben de ser una llamada de atención para emitir medidas regulatorias y elaborar planes de manejo de éste recurso.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Alejo-Plata, C., J.L., Gómez-Márquez, S. Ramos y E. Herrera. 2007. Presencia de neonatos y juveniles del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) y del tiburón sedoso *Carcharhinus falciformis* (Müller & Henle, 1839) en la costa de Oaxaca, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 42(3): 403-413.
- Amandè, M-J., E. Chassot, P. Chavance, R. Pianet. 2008. Silky shark (*Carcharhinus falciformis*) bycatch in the French tuna purse-seine fishery of the Indian Ocean*. IOTC-WPEB-2008/016*.
- Anderson, E.D. 1990. Estimates of large shark catches in the Western Atlantic and Gulf of México, 1960-1986. En: Pratt Jr., H.L., S.H. Gruber y T. Taniuchi (Eds.). pp. 443-454. Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the Bilogy, Ecology, Systematic and the Status of the Fisheries. *NOAA Technical Report National Marine Fisheries Service* 90.
- Andrade-González, Z. 1996. Determinación de edad y crecimiento del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) (Subclase Elasmobranchii) (Familia Sphyrnidae) del Pacífico mexicano mediante la lectura de sus anillos vertebrales. *Tesis profesional*. Universidad de Guadalajara. 70 pp.
- Andrade-González, Z.S. 2005. Hábitos Alimenticios del Tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* en el Océano Pacífico Oriental. *Tesis de Maestría*. CICIMAR-IPN. México. 144 pp.
- Anislado-Tolentino, V. 1995. Determinación de la edad y crecimiento en el Tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834), en el Pacífico Central Mexicano*. Tesis profesional*. Universidad Autónoma de México (UAM). 98 pp.
- Applegate, S.P., L. Espinoza-Arrubarrena, L.B. Menchaca-López y F. Sotelo-Macías. 1993. An overview of Mexican sharks fisheries, with suggestions for shark conservation in México. 31-37 p. En Branstetter, S. (Ed.) Conservation Biology of Elasmobrahcs. *NOAA Techincal Report National Marine Fisheries Service*, 115pp.
- Araya, M. y L.A. Cubillos. 2006. Evidence of two-phase growth in elasmobranchs. *Environmental Biology of Fishes* 77: 293-300.

- Ashley, L.M. y R.B. Chiasson. 1988. Laboratory Anatomy of the Shark. Wm. C. Brown Publishers. 84 pp.
- Au, D.W., 1991. Polyspecific nature of tuna schools: Sharks, dolphin and seabird associates. *Fisheries Bulletin* 89, 343-354.
- Bailly, N. 2013. *Carcharhinus falciformis* (Müller & Henle, 1839). In Froese R. y D. Pauly*, Editors (2013) Fishbase*. Accessed through: World Register of Marine Species at http://www.marinespecies.org
- Bane, G. W. 1966. Observations on the silky shark, Carcharhinus falciformis, in the Gulf of Guinea. *Copeia* (2): 354-355.
- Bass, A.J., J.D. D' Aubrey y N. Kistnasamy. 1973. Sharks of the east coast of southern Africa. I. The genus Carcharhinus (Carcharhinidae). Oceanography Researching Institute. (Durban) Investigation Report 33, 168 pp.
- Bonfil, R., A. Amorim, C. Anderson, R. Arauz, J. Baum, S.C. Clarke, R.T. Graham, M. González, M. Jolón, P.M. Kyne, P. Mancini, F. Márquez, C. Ruíz y W. Smith. 2009. *Carcharhinus falciformis* En: *IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2012.2. <www.iucnredlist.org>.
- Bonfil, R., R. Mena y D. de Anda. 1993. Biological Parameters of Commercially Exploited Silky Sharks, *Carcharhinus falciformis*, from the Campeche Bank, Mexico. *NOAA Technical Reports NMFS*. 115: 73-86.
- Bonfil-Sanders, R. 1997. Estado del conocimiento de los tiburones del Golfo de México y El Caribe. En: Flores-Hernández, D.P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo y F. Arreguín-Sanchez (Eds.) 333-356 pp. Análisis y Diagnóstico de los recursos pesqueros Críticos del Golfo de México. *Universidad Autónoma de Campeche*. EPOMEX Serie Científica, 7.
- Branstetter, S. 1987. Age and growth estimates for Blacktip, *Carcharhinus limbatus*, and Spinner*, C. brevipinna*, sharks from the Northwestern Gulf of México. *Copeia* (4): 964-974.
- 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 terranovae. Copeia* (2):291-300.

- Branstetter, S. 1987b. Age, growth and reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*, and the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, from the northwestern Gulf of Mexico. *Environmental Biology of Fishes*. 19(3): 161-173.
- Branstetter, S. y J. McEachran. 1986. Age and Growth of Four Carcharhinid Sharks Common to the Gulf of México: A Summary Paper. pp. 361-371. En: *Indo-Pacific Fish Biology: Proceedings of the Second International Conference on Indo-Pacific Fishes*, edited by T. Uyeno, R. Arai, T. Taniuchi and K. Matsuura, 1986, Ichthyological Society of Japan, Tokyo.
- Cabrera-Chávez-Costa, A.A., F. Galván-Magaña y O. Escobar-Sánchez, 2010. Food habits of the silky shark *Carcharhinus falciformis* (Müller & Henle, 1839) off the western coast of Baja California Sur, México. Journal of Applied Ichthyology 26: 499-503.
- Cadena-Cárdenas, L. 2001. Biología reproductiva de *Carcharhinus falciformis* (Chondrichthyes: Carcharhiniformes: Carcharhinidae), en el Golfo de California. *Tesis profesional*. Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS). 68 pp.
- Cailliet, G.M. y S. Tanaka. 1990. Recommendations for research needed to better understand the age and growth of elasmobranches, 505-507. En W.S. Pratt, Jr., T. Taniuchi y S.H. Gruber (ed.) U.S.-Japan Workshop on Elasmobranchs as living Resources. NOAA, *Technical Report National Marine Fisheries Service*, 90 pp.
- Cailliet, G.M. y K.J. Goldman. 2004. Age Determination and Validation in Chondrichtyan Fishes. In: Carrier J.C., J.A. Musick, M.R. Heithaus (eds.). *Biology of sharks and their relatives*. CRC Press, Boca Raton FL, pp. 399 – 446.
- Cailliet, G.M., L.K. Martin, D Kusher, P. Wolf, B.A. Welden. 1983. Techniques for enhancing vertebral bands in age estimation of California elasmobranchs, In: Prince ED, Pulos LM (eds) Proceedings international work-shop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, sharks. NOAA Technical Report National Marine Fisheries Service 8, 157-165.
- Cailliet, G.M., L.J. Natanson, B.A. Welden y D.A. Ebert. 1985. Preliminary studies on the age and growth of the white shark, *Carcharodon carcharias*, using vertebral bands. En: *Memories of the Southern California Academy of Sciences*. 9: 49–60.

- Cailliet, G.M., R.L. Radtke y B.A. Welden. 1986. Elasmobranch age determination and verification: a review. 345-360 pp. En: T. Uyeno, R. Arai, T. Taniuchi y K. Matsuura (ed.) *Indo-Pacific Fish Biology: Proceedings of the Second International Conference on Indo-Pacific Fishes, Ichthyological Society of Japan, Tokyo*.
- Cailliet, G.M., K.G. Yudin, S. Tanaka y T. Taniuchi. 1990. Growth characteristics of two populations of *Mustelus manazo* from Japan based upon cross-readings of 55 vertebral bands. En: Pratt Jr., H.L., S.H. Gruber y T. Taniuchi (Eds.). pp. 167-176. *Elasmobranch as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematic and the Status of the Fisheries*. NOAA Technical Report 90.
- Cailliet, G.M., H.F. Mollet, G.G. Pittenger, D. Bedford, L.J. Natanson. 1992. Growth and demography of the pacific angel shark (*Squatina californica*), based upon tag returns off California*. Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 43:1313-1330.
- Cailliet, G.M., W.D. Smith, H.F. Mollet y K.J. Goldman. 2006. Age and growth studies of chondrichthyan fishes: the need for consistency in terminology, verification, validation, and growth function fitting. Environment Biology of fishes 77:211-228.
- Campana, S.E. 2001. Accuracy, precision, and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. Journal of Fish Biology. 59: 197-242.
- Casey, J.G., H.L. Pratt Jr. y C.E. Stillwell. 1985. Age and growth of the sandbar shark (Carcharhinus plumbeus) from the northwestern Atlantic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* 42: 963-975.
- Carlson, J.K. y G.R. Parsons, 1997. Age and growth of the bonnehead shark, *Sphyrna tiburo* from northwest Florida, with comments on clinal variation. *Environmental Biology of Fishes*. 50: 331-341.
- Compagno, L.J.V. 1984. FAO species catalogue. Sharks of the world: an annotated and illustrated catalogue of shark's species known to date. *Vol. 4. Parts I and II. FAO. Fisheries Synopsis* 125. 655 pp.
- Compagno, L.J.V. 1990. Shark exploitation and conservation. En: Pratt Jr., H.L., S.H. Gruber y T. Taniuchi (Eds.). pp. 391-415. *Elasmobranch as living resources:*

Advances in Biology, Ecology, Systematics and the Status of the Fisheries, NOAA Technical Report NMFS 90.

- Compagno, L.J.V. 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 *Fisheries Synopsis* (125) 4, 251-655.
- Cruz-Martínez, A. 2000. Edad y crecimiento del tiburón toro *Carcharhinus leucas* (Valenciennes, 1839) en las aguas de Veracruz y Campeche, México. *Tesis de Maestría*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 65 pp.
- Chen, Y., D.A. Jackson y H.H. Harvey. 1992. A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in modeling fish growth data. *Canadian Journal of fisheries and Aquatic Science*, 49: 1228 – 1235.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2004. *Tiburón: segunda edición*. Lunes 15 de Marzo de 2004. 126 pp.
- Dulvy K. N., J.K. Baum, S. Clarke, L.J.V. Compagno, E. Cortés, A. Domingo, S. Fordham, S. Fowler, M.P. Francis, C, Gibson, J. Martínez, J.A. Musick, A. Soldo, J.D. Stevens y S. Valenti. 2008. You can swim but you can´t hide: the global status and conservation of oceanic pelagic sharks and rays. Aquatic Conservation: *Marine and Freshwater Ecosystems. Pub.* online in *Wiley InterScience*. Canadá. 24 pp.
- Ehrhardt, N.M. 1981. Curso sobre métodos de evaluación de recursos y dinámica de poblaciones. Tercera parte: Parámetros poblacionales. FAO-CICIMAR. 134 pp.
- Essington, T.E., D.E. Schindler, R.J. Olson, J.F. Kitchell, C. Boggs, y R. Hilborn. 2002. Alternative fisheries and the predation rate of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean*. Ecological Applications* 12:724–734.
- Fabens, A.J. 1965. Properties and fitting of the Von Bertalanffy growth curve. *Growth.* 29: 265-289.
- Fonteneau, A., P. Pallares, J. Sibert, y Z. Suzuki. 2002. Effect of tuna fisheries on the tuna resources and on the offshore pelagic ecosystems. En E. M. Borgese, A. Chircop, y M. Mc- Connell, editors. *Ocean yearbook*. University of Chicago Press, Chicago. 16:142-170.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación 1998. *Noticias: tiburones y aves marinas en el programa de una reunión internacional de pesca*. 22 de Octubre de 1998.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. 1998. Plan de Acción Internacional: Tiburones (PAI-Tiburones). Reunión del grupo de trabajo técnico sobre la conservación y ordenación del tiburón. Tokio. 5 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación. 2006. *Taller sobre evaluación y Manejo de Elasmobranquios en América del Sur y Bases Regionales para los planes de Acción* (DINARA/FAO). Montevideo, Uruguay, 7-9 de noviembre de 2005. Roma. 64pp.
- Fourmanoir, P. 1961. Sharks from the western coast of Madagascar*. Memories of the Institute of Sciences from Madagascar* (Ser. F). 4, 1-81.
- Garrick, J.A.F. 1982, Sharks of the Genus *Carcharhinus*. U.S*. Department of Commerce. NOAA Technical Report National Marine Fisheries Service* Circular 445. 194 pp.
- Haddon, M. 2001. Modeling and Quantitative Methods in Fisheries. *Chapman y Hall/CRC Press*. 406 pp.
- Hall, M.A., D.L. Alverson, y K.I. Metuzals. 2000. By-catch: problems and solutions. *Marine Pollution Bulletin* 41:204–219.
- Hoenig, J.M. 1979. The vertebral centra of sharks and their age determination. Master thesis, University of Rhode Island.
- Holden, M. J. 1977. Elasmobranchs. En J. A. Gulland (editor), *Fish Population Dynamics*, J. Wiley and Sons. Londres. 117-215 pp.
- Holden, M.J. y D.F.S. Raitt. 1975. Manual de Ciencia Pesquera, Parte 2: Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Documento técnico de la FAO. Roma. 21pp.

- Hoyos-Padilla, E.M. 2003. Biología reproductiva del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Bibron, 1839) de Baja California Sur. *Tesis de Maestría*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). 58 pp.
- Instituto de Biología. "Carcharhinus falciformis (Bibron, 1839) – IBUNAM:CNPE:PE9491". UNIBIO: *Colecciones Biológicas*. 2006-03-16. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Consultada en: < http://unibio.unam.mx/collections/specimens/urn/IBUNAM:CNPE:PE9491>.
- Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC). 2006. *Annual report of the IATTC. IATTC, La Jolla, California*.
- International Union for Conservation of the Nature (IUCN Red List). 2012. *Carcharhinus falciformis* (Silky shark).
- Ishiyama, R. 1978. Reexamination of the age and growth of Raja. *Monthly Marine Science (Japan)*, 10(3): 188 – 194.
- Lessa, R. y F. Marcante-Santana. 1998. Age determination and growth of the smalltail shark. *Carcharhinus porosus*, from northern Brazil. Marine *Freshwater Research* (49): 705-711.
- Marín-Osorno, R. 1992. Aspectos Biológicos de los tiburones capturados en las costas de Tamaulipas y Veracruz, México. Tesis profesional. Universidad Veracruzana (UV), Veracruz, México.
- Minami, M., C.E. Lennert-Cody, y M. Román-Verdesoto. 2007. Modeling shark bycatch: the zero-inflated negative binomial regression model with smoothing. *Fisheries Research* 84:210–221.
- Moulton, P.L., T.I. Walker y S.R. Saddlier. 1992. Age and growth studies of gummy shark, *Mustelus antarcticus* Günther, and school shark *Galeorhinus galeus* (Linnaeus), from Southern Australian waters. *Australian journal of Marine and freshwater Research* 43:1241-1267
- Musick, J.A. 1999. Life in the slow lane: ecology and conservation of long-lived marine animals. *American fisheries society symposium 23,* Bethesda, Maryland.
- Natanson, L.J. y G.M. Cailliet. 1990. Vertebral growth zone deposition in Pacific Angel Sharks. *Copeia* (4): 1133-1145.

- Natanson, L.J., J.G. Casey y N.E. Kohler. 1995. Age and growth estimates for the dusky shark, *Carcharhinus obscurus*, in the western North Atlantic Ocean. *Fishery Bulletin* 93: 116-126.
- Natanson, L.J., J.G. Casey y N.E. Kohler. 1999. Growth of the tiger shark, *Galeocerdo cuvier*, in the western North Atlantic based on tag returns and length frequencies; and a note on the effects of tagging. *Fishery Bulletin*. 97: 944-953.
- Natanson, L.J., J.J. Mello, y S.E. Campana. 2002. Validated age and growth of the porbeagle shark *Lamna nasus* in the western North Atlantic Ocean. *Fishery Bulletin*. 100: 266 – 278.
- Officer, R.A., A.S. Gason, T.I. Walker y J.G. Clement. 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. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 53: 1765-1777.
- Oshitani, S., H. Nakano y S. Tanaka. 2003. Age and growth of the silky shark *Carcharhinus falciformis* from the Pacific Ocean. *Fisheries Sciences*. 69 (3): 456-464 pp.
- Panfili J., H. de Pontual, H. Troadec, P.J. Wright (eds). 2002. Manual of fish schlerochronology. Ifremer-IRD coedition, Brest, France, 464 pp.
- Piercy, A.N., T.S. Ford, L.M. Levy, F.F. Snelson Jr. 2006. Analysis of variability in vertebral morphology and growth ring counts in two Carcharhinid sharks. *Environmental Biology of Fishes* 77: 401-406.
- Pratt, H.L. y J.G. Casey. 1990. Shark reproductive strategies as a limiting factor in directed fisheries, with a review of Holden´s method of estimating growth parameters. *NOAA Technical Report National Marine Fisheries Service 90*: 97–109.
- Ramírez-Amaro, S.R., D. Cartamil, F. Galván-Magaña, G. González-Barba, J. B. Graham, M. Carrera-Fernández, O. Escobar-Sánchez, O. Sosa-Nishizaki, A. Rochín-Alamillo. 2013. The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California Sur, México, management implications. Barcelona, España. Scientia Marina 77(3): 473-487.

- Ribot-Carballal, M.C. 2003. Edad y crecimiento del tiburón mako *Isurus oxyrinchus* (Rafinesque, 1810), capturado en la costa occidental de Baja California Sur, México. *Tesis de Maestría*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). 63 pp.
- Ronquillo-Benítez, K. 2000. Aspectos biológicos y pesqueros del tiburón aleta de cartón *Carcharhinus falciformis* (Bibron, 1839) de las aguas del Golfo de Tehuantepec, Chiapas, México. *Tesis profesional*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 90 pp.
- Sánchez-de Ita, J.A. 2004. Edad y crecimiento del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Bibron, 1839) en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). México. 78 pp.
- Sánchez-de Ita, J.A., C. Quiñónez-Velázquez, F. Galván-Magaña, N. Bocanegra-Castillo y F. Félix-Uraga. 2011. Age and growth of the silky shark *Carcharhinus falciformis* from the west coast of Baja California Sur, México. *Journal of Applied Ichthyology.* 27: 20-24.
- Shoou-Jeng, J., C. Che-Tsung, L. Hsian-Hau y L. Kwang-Ming. 2008. Age, growth, and reproduction of silky sharks, *Carcharhinus falciformis*, in northeastern Taiwan waters. *Science Direct, Fisheries Research*. Taiwan. 90: 78-85.
- Sminkey, T. R. y J.A. Musick. 1995. Age and growth of the Sandbar, *Carcharhinus plumbeus*, before and after population depletion*. Copeia* (4): 871–883.
- Smith, W.D., J.J. Bizzarro y G.M. Cailliet. 2009. The artisanal elasmobranch fishery of the east coast of Baja California, México: Characteristics and management considerations. *Ciencias Marinas.* 35 (2): 209–236.
- Sokal, R. y F. Rohlf. 1981. Biometry. Second edition. *W.H. Freeman and Company*. New York. 859 pp.
- Soriano, M.,J. Moreau, J.M. Hoening y D. Pauly. 1992. New Functions for the Analysis of Two-Phase Growth of Juvenile and Adult Fishes, with Application to the Nile Perch. *Transactions of the American Fisheries Society*. Washington. 121: 486-493.

- Stevens, J. D., 1975. Vertebral rings as a means of age determination in the blue shark (*Prionace glauca* L.). *Journal of Marine Biology Association*. U.K. 54: 373-378.
- Stevens, J.D. 1984a. Life-history and ecology of sharks at Andabra Atoll, Indian Ocean. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. 222: 79-106.
- Stevens, J.D. 1984b. Biological observations on sharks caught by sport fishermen off New South Wales. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*. 35: 573-90.
- Stevens, J.D., R. Bonfil, N.K. Dulvy y P.A. Walker. 2000. The effect of fishing on sharks, rays and chimaeras (Chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. ICES*. Journal of Marine Science*. 57: 476-494.
- Strasburg, D.W. 1958. Distribution, abundance, and habits of pelagic sharks in the Central Pacific Ocean. *Fishery Bulletin*. 58: 335-361.
- Tanaka S. y K. Mizue. 1979. Age and growth of Japanese dogfish *Mustelus manazo* in the East China Sea. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 45(1): 43 – 50.
- Thorson, T.B. y E.J. Lacy, Jr. 1982. Age, growth rate and longevity of *Carcharhinus leucas* estimated from taggings and vertebral rings. *Copeia* (1): 110-116.
- Tovar-Ávila, J. 2000. Edad y crecimiento del tiburón puntas negras *Carcharhinus limbatus* (Valenciennes 1839) en el Golfo de México. *Tesis de Maestría*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 67 pp.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2003. Introducción: Biodiversidad y Hábitat. *Centro de cooperación del Mediterráneo*. Artículo en la red.
- Villavicencio-Garayzar, C. 1996. Reproducción de *Carcharhinus obscurus* (Pisces: Carcharhinidae), en el Pacífico Nororiental. *Revista de Biología Tropical*, 44(1) 287-289.
- Villavicencio-Garayzar, C., L. Cadena-Cárdenas, A.M. Torres-Huerta, E. Mariano-Meléndez y L. Maldonado. 2000. Fisheries on the east coast of Baja California

Sur, Gulf of California. En: *80th Annual Meeting American Society of Ichthyologist and Herpetologist*. June 14-20, 2000. Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS). Baja California Sur. México. 363 pp.

- Watson, J.T., T.E. Essington, C.E. Lennert-Cody y M.A. Hall. 2008. Trade-Offs in the Design of Fishery Closures: Management of Silky Shark Bycatch in the Eastern Pacific Ocean Tuna Fishery. *Conservation Biology*. 23(3):626-625.
- Wilson, C.A., E.B. Brothers, J.M. Casselman, C.L. Smith y A. Wild. 1983. Glossary. NOAA *Technical Report National Marine Fisheries Service.* 8: 207.
- Wyrtki, K. 1965. Surface currents of the eastern equatorial Pacific Ocean Inter-American Tropical Tuna *Community Bulletin,* 9(5): 270-304.
- Wyrtki, K. 1967. Circulation and Water Masses in the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *International Journal Oceanology & Limnology* Vol. 1 (2): 117-147.
- Wyrtki, K. 1974. Equatorial currents in the Pacific 1950 to 1970 and their relations to the trade winds. *Journal of Physical Oceanography,* 4: 374-380.
- Yamaguchi, A., T. Taniuchi y M. Shimizu. 1997. Age and growth of the Starspotted Dogfish *Mustelus manazo* from Tokyo Bay, Japan*. Fisheries Science*. 62 (6): 919 - 922.
- Yoshimura, H. y S. Kawasaki. 1985. Silky shark (*Carcharhinus falciformis*) in the tropical water of western Pacific. *Resp. Japanese Group for Elasmobranch Studies*. 20:6-10
- Zar, J.H. 1996. Bioestatistical analysis. 4th. ed. *Prentice Hall*, Inc. 929 pp.
- Zárate-Rustrián, J. 2010. Edad y crecimiento del tiburón Martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) en la costa sur de Oaxaca, México. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). *Tesis de Maestría*. 59 pp.

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA CITADA

- International Taxonomy (ITIS) - http://www.itis.gov
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) - www.iucnredlist.org
- World Register of Marine Species (WoRMS) – http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=105789
- Plan de Acción Internacional: Tiburones (PAI-Tiburones) – http://www.fao.org/docrep/005/x8692s/x8692s05.htm

XI. ANEXOS

ANEXO 1.

CLASIFICACIÓN DE LA ESPECIE

Reino	Animalia
Phylum	Chordata
Subphylum	Vertebrata*
Superclase	Gnathostomata-Pisces*
Clase	Chondrichthyes; Elasmobranchii*
Subclase	Elasmobranchii,(Neoselachii*)
Infraclase	Selachii*
Superorden	Galeomorphi*
Orden	Carcharhiniformes(*)
Familia	Carcharhinidae(*)
Género	Carcharhinus (*Blainville, 1816)
Especie	*Carcharhinus falciformis*, (Müller y Henle, 1839)(*)

- Obtenido de International Union for Conservation of Nature (IUCN-Red List); (*) World Register of Marine Species - WoRMS (Bailly, 2013). * - únicamente citado por WoRMS; (*) también mencionado en WoRMS.

ANEXO 2.

DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

Carcharhinus falciformis es una especie que se caracteriza por presentar un cuerpo delgado y alargado, con color gris oscuro en el dorso y borde de las aletas, gris un poco más claro en el dorso y blanco en la región ventral; la primera aleta dorsal es relativamente pequeña y redondeada, las aletas pectorales son el forma de “falca” (a ello se debe el nombre de falciformis), hocico redondeado, espiráculos

ausentes, los dientes de la mandíbula superior presentan bordes afilados con cúspides relativamente angostas y bien delimitadas con bases robustas y aserradas, y con bordes externos escotados, y dientes verticales, simétricos, con bases anchas y bordes levemente aserrados en la mandíbula inferior (Garrick, 1982; Compagno *et al.,* 2002).

Carcharhinus falciformis

ANEXO 4.

Longitud total máxima y mínima de los embriones (cm)

Autor	Embrión más grande	Neonato más pequeño	Talla
Branstetter (1987)	--	--	< 70
Cadena-Cárdenas (2001)	67	72	70
Bonfil *et al.* (2003)	77 cm LT	65 cm	76
Shoou-Jeng *et al.* (2008)	63.5 cm	75.5 cm	63.5 – 75.5
Alejo-Plata *et al.* (2007)	66 cm	65 cm	65

ANEXO 5.
Fórmula para convertir LT a LPC

La longitud más comúnmente registrada en los estudios de tiburones es la longitud total (LT), sin embargo, en las pesquerías de tiburón es común encontrar el puro tronco o encontrar que no tienen la aleta caudal, es por ello que en ocasiones se reporta la longitud precaudal (LPC). En este estudio se consideró la fórmula para convertir de LT a LPC utilizando la fórmula empleada por Shoou-Jeng *et al.*, (2008).

$$LT = 1.31\ (LPC) + 3.64$$

$$LPC = \frac{\mathrm{LT} - 3.64}{1..31}$$