



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



EDAD Y CRECIMIENTO DEL TIBURÓN  
MARTILLO *Sphyrna lewini* (GRIFFITH & SMITH,  
1834) EN LA COSTA SUR DE OAXACA,  
MÉXICO.

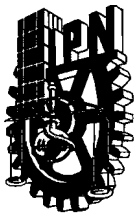
TESIS

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

PRESENTA

JORGE ZARATE RUSTRIÁN

LA PAZ, B.C.S., NOVIEMBRE DE 2010.



**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 21 del mes de Septiembre del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

**"EDAD Y CRECIMIENTO DEL TIBURÓN MARTILLO *Sphyrna lewini***  
**(GRIFFITH & SMITH, 1834) EN LA COSTA SUR DE OAXACA, MÉXICO"**

Presentada por el alumno:

**ZARATE**

Apellido paterno

**RUSTRIÁN**

materno

**JORGE**

nombre(s)

Con registro: 

B	0	8	1	2	5	7
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

**MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

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

**LA COMISION REVISORA**

Directores de Tesis

**DR. LEONARDO ANDRÉS HÉCTOR CÁRDENAS**  
Director de Tesis

**DR. CASIMIRO QUIÑÓNEZ VELÁZQUEZ**  
Director de Tesis

**MC. FELIPE NERI MELO BARRERA**

**DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA**

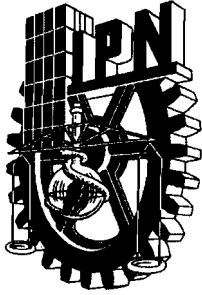
**DR. JOSÉ LUIS CASTRO ORTIZ**

**PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES**

**DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE**



**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 29 del mes Septiembre del año 2010, el (la) que suscribe BIOL. JORGE ZARATE RUSTRIÁN alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con numero de registro B081257 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. LEONARDO A. ABITIA CÁRDENAS y DR. CASIMIRO QUIÑONEZ VELÁZQUEZ y cede los derechos del trabajo titulado: "EDAD Y CRECIMIENTO DEL TIBURÓN MARILLO *Sphyrna lewini* (GRIFFITH & SMITH, 1834) EN LA COSTA SUR DE OAXACA, MÉXICO 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. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: lewinido22@hotmail.com cquinone@ipn.mx labitia@ipn.mx Si el permiso se otorga, el usuario **deberá** dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

  
BIOL. JORGE ZARATE RUSTRIÁN

nombre y firma

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN), por la oportunidad de continuar con mi formación académica a nivel maestría y realizar este trabajo.

Así como un profundo reconocimiento a la institución y a todo el personal que en el labora ya que siempre recibí un buen trato y disposición de cada uno de ellos.

Mi agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo otorgado a través del programa de becas de posgrado para realizar mis estudios.

Al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) por los apoyos brindados, a la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas (COFAA) y por la Beca Tesis.

Agradezco al comité revisor conformado por el Dr. Leonardo Andrés Abitia Cárdenas y Dr. Casimiro Quiñonez Velázquez directores de la tesis, al Dr. Felipe Galván Magaña, por la confianza para trabajar dentro de su proyecto. Así mismo al Dr. José Luis Ortiz Castro Aguirre y al M. en C. Felipe Neri Melo Barrera quienes me apoyaron en la revisión final de este trabajo.

Gracias al Dr. Casimiro Quiñonez Velázquez quien me tuvo paciencia y me enseñó a hacer las cosas con calidad.

A todas las personas que me brindaron su amistad, abrieron las puertas de sus casas, por su apoyo, consejos, explicarme cosas que no entendía, tenerme paciencia y pasar muy buenos ratos. Y me quedo corto. GRACIAS.

**La gratitud es genuina cuando se demuestra en actitudes.**

**El sentimiento sincero de persistir en acumular pequeños esfuerzos es lo que se transforma en humildad de corazón.**

**Sunao quiere decir corresponder a la voluntad de Dios SU. Es la verdadera imagen de quien vive propagando la Verdad Divina y Practicando la Verdad.**

**YOROSHIKU ONEGAI ITASHIMASU**

## DEDICATORIA

*A mi padre, Jorge Zarate Ríos,  
a la memoria de mi madre, Beatriz Rustrián Ramírez,  
a mis hermanos, Daniel (su familia) y Andrea.*

*A las familias Zarate y Rustrián.*

*A Jareny Ramos.*

*A todos mis amigos y amigas.*

*Y a Teo.*

## ÍNDICE

Sección		Página
	LISTA DE FIGURAS	II
	LISTA DE TABLAS	IV
	GLOSARIO	V
	RESUMEN	VI
	ABSTRACT	VII
I	INTRODUCCIÓN	1
II	ANTECEDENTES	4
III	OBJETIVOS	7
IV	ÁREA DE ESTUDIO	8
V	MATERIALES Y MÉTODOS	10
	Muestreo	10
	Limpieza y procesamiento de vértebras	10
	Análisis de datos	12
VI	RESULTADOS	17
VII	DISCUSIÓN	28
VIII	CONCLUSIONES	35
IX	LITERATURA CITADA	36
X	ANEXO	44

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización del área de estudio en la costa sur de Oaxaca. Se muestra la ubicación de Ensenada Chipehua y la línea delimita el área donde opera la pesquería artesanal.	8
2	Diagrama de un corte longitudinal en la vértebra de tiburón.	11
3	a) Imagen de una vértebra de tiburón martillo que muestran las diferentes partes indicadas en el texto, b) acercamiento del <i>corpus calcareum</i> : MN (marca de nacimiento), BO (banda opaca), BH (banda hialina) y MC (marca de crecimiento).	13
4	Distribución de frecuencias totales de tallas (a) y para hembras y machos (b) de la captura del tiburón martillo, en la costa sur de Oaxaca, durante 2004-2006.	18
5	Frecuencia mensual de tallas para hembras y machos del tiburón martillo, capturado en la costa sur de Oaxaca, durante 2004-2006. Las líneas verticales representan el intervalo de talla por etapa de desarrollo (neonato, juvenil y adulto).	20
6	Variación mensual del porcentaje de vértebras con borde opaco, tasa de incremento marginal (barras) y temperatura superficial del mar (TSM) (línea).	22
7	Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total para machos y hembras del tiburón martillo, capturado en la costa sur de Oaxaca, durante 2004-2006.	23



Figura		Página
8	Promedio de la talla observada (círculos blancos), retrocalculada (círculos negros) por edad y curvas del modelo de von Bertalanffy para machos y hembras del tiburón martillo, capturado en la costa sur de Oaxaca, durante 2004-2006. Las líneas verticales indican la desviación estándar de la LT retrocalculada.	25
9	Estructura de edad por sexo del tiburón martillo, capturado en la costa sur de Oaxaca, durante 2004-2006. La flecha indica un valor de 0.13 para machos de 11 años.	27

## LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Numero de organismos muestreados del tiburón martillo en la costa sur de Oaxaca, durante 2004 a 2006. En paréntesis el número de organismos a los que se les recolecto vértebras.	17
2	Tasa de crecimiento absoluta anual y porcentaje de la longitud asintótica por edad del tiburón martillo, capturado en la costa sur de Oaxaca, durante 2004-2006.	26
3	Resumen de los parámetros de crecimiento para el tiburón martillo reportados por diferentes autores.	34

## GLOSARIO

**Banda hialina.** Zona de la vértebra que permite el paso de la luz y se asocia a periodos de crecimiento lento.

**Banda opaca.** Zona de la vértebra que por su composición densa impide el paso de la luz y se asocia a periodos de rápido crecimiento.

**Crecimiento.** Es el incremento en talla o peso de un organismo.

***Corpus calcareum.*** En las vértebras de los elasmobranquios representa la parte más calcificada y en un corte longitudinal es la parte externa.

**Edad.** Se refiere al tiempo que un organismo ha vivido.

**Incremento marginal.** Método que evalúa la temporalidad de formación de las marcas de crecimiento en estructuras duras como vértebras, escamas, espinas, otolitos, etc.

***Intermedialia.*** En las vértebras de los elasmobranquios representa la parte con menor grado de calcificación y en un corte longitudinal es la parte interna.

**Marca de crecimiento.** Anillo concéntrico presente en la vértebra conformado por una banda hialina y una banda opaca, utilizado para asignar edad en organismos.

**Tasa de crecimiento.** Es una medida del cambio en el tamaño del organismo en función al tiempo.

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

**Validación.** La confirmación de la unidad temporal de un incremento de crecimiento. Se utiliza para determinar la exactitud de las estimaciones de edad respecto a la edad verdadera.

**Verificación.** Es la evaluación de la repetitividad de una interpretación numérica, que puede ser independiente de la edad.

## RESUMEN

El tiburón martillo *Sphyrna lewini*, es la especie más capturada por la flota artesanal en la costa sur de Oaxaca. La pesquería de tiburón no cuenta con un plan de manejo y se administra a través del control de los permisos de pesca. La evaluación de los recursos explotados y su dinámica requieren entre otros, conocer la edad y el crecimiento de los organismos. En el presente estudio se abordó la estimación de la edad y descripción del crecimiento del tiburón martillo, capturado por la flota artesanal en la costa sur de Oaxaca y descargada en Ensenada Chipehua, durante septiembre-2004 a agosto-2006. Se muestrearon 1,285 organismos, 497 hembras (45-290 cm longitud total (LT) y 788 machos (46-286 cm LT). Las diferencias en talla por sexo fueron significativas ( $p < 0.05$ ), como resultado de la migración de organismos adultos (LT >170 cm) a la zona de pesca durante mayo-agosto. La relación entre el radio de la vértebra (RV) y la LT fue potencial y significativamente diferentes entre sexos (ANCOVA,  $p < 0.05$ ). Se identificaron hasta 26 marcas de crecimiento en las vértebras. El porcentaje de error promedio (1.02%) y el coeficiente de variación (1.32%), indicaron una alta precisión en el conteo de marcas de crecimiento entre lectores. El análisis mensual de la tasa de incremento marginal y el porcentaje de vértebras con borde opaco señalaron que la depositación de las marcas de crecimiento fue semestral. La edad máxima estimada para machos fue 11 años con 252 cm LT y para hembras de 13 años con 290 cm LT. En el periodo de estudio dominaron las hembras en edades menores a 4 años y mayores a 9 años, y en el intervalo de edades 5 a 8 años fueron los machos. Los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy se estimaron para sexos separados, usando las tallas retrocalculadas a la edad, obteniéndose:  $L_{\infty} = 301.1$  cm LT,  $k = 0.13$ ,  $t_0 = -0.74$  años;  $r^2 = 0.97$ , para machos y  $L_{\infty} = 305.3$  cm LT,  $k = 0.13$ ,  $t_0 = -0.51$  años,  $r^2 = 0.96$ , para hembras. Se identificaron diferencias significativas entre las curvas de crecimiento por medio del análisis de la suma de cuadrados residuales ( $F = 3.97$ ,  $p < 0.05$ ).

**Palabras clave:** *Sphyrna lewini*, edad, crecimiento, vértebras, Oaxaca.

## ABSTRACT

The hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, is the species most frequently caught by the artisanal fishery off Oaxaca southern coast. Shark fishery does not have a management plan and is regulated by controlling of fishing effort. Age and growth determination in fish are vital components in decision-taking for fisheries management. The objective of this study was estimate the age using growth marks on the cross sections of the vertebrae, and describes the growth pattern of hammerhead shark sampled on Ensenada Chipehua, in the Gulf of Tehuantepec, from September 2004 to August 2006. A total of 1,285 hammerhead sharks were registered, 497 females (45-290 cm of total length, TL) and 788 males (46-286 cm TL). The differences in size by sex were significant ( $p < 0.05$ ), as a result of the immigration of mature organisms (TL >170 cm) to the fishing area during May to August. The relationship vertebra radius (VR)-TL was potential and significantly different between sex (ANCOVA,  $p < 0.05$ ). Twenty six growth marks were identified. The average percentage error (1.02%), and the variation coefficient (1.32%), indicated a high level of precision in the count of growth marks between readers. The monthly analysis of the marginal increment rate and the percentage of vertebrae with opaque border indicate that the growth marks are deposited twice a year. The maximum age estimated in males was 11 years (252 cm TL) and 13 years (290 cm TL) for females. The females were most abundant in the age groups 0-3 years and 9-13 years, and the males were most abundant in the age groups 4-8 years. The von Bertalanffy growth model was fitted by sexes using the backcalculated length to age ( $L_{\infty} = 301.1$  cm TL,  $k = 0.13$ ,  $t_0 = -0.74$  years,  $r^2 = 0.97$ , for males; and  $L_{\infty} = 305.3$  cm TL,  $k = 0.13$ ,  $t_0 = -0.51$  years,  $r^2 = 0.96$ , for females). The analysis of the sum of residual squares showed significant differences ( $F = 3.97$ ,  $p < 0.05$ ) between the growth curves by sexes.

**Words key:** *Sphyrna lewini*, age, growth, vertebrae, Oaxaca.

## I. INTRODUCCIÓN

Los tiburones son depredadores tope en todos los océanos, actualmente están descritas 403 especies comprendidas en 9 órdenes (Heterodontiformes, Orectolobiformes, Lamniformes, Carcharhiniformes, Hexanchiformes, Echinorhiniformes, Squaliformes, Squatiniformes y Pristiophoriformes), 34 familias y 86 géneros (Nelson, 2006). El género *Sphyrna* (Carcharhiniformes: Sphyrnidae) se caracteriza por su cabeza en forma de martillo, mientras que *S. lewini* se diferencia del resto por presentar cuatro lóbulos bien definidos en la región anterior de la cabeza, la cual está ligeramente arqueada (Compagno, 2002).

Del total de las especies de tiburón conocidas hasta la fecha, 100 han sido reportadas en aguas mexicanas y para 80 especies existen registros de pesca (Applegate *et al.*, 1993; Compagno, 2002; Mendizabal-Oriza *et al.*, 2006). En México, desde 1981 se tienen registros de pesca comercial de 40 especies en ambos litorales, de las cuales el 75% se capturan frecuentemente y 15 especies de las familias Alopiidae, Carcharhinidae, Squatinidae, Sphyrnidae y Triakidae, son comunes en las capturas de la pesca artesanal (Castillo-Géniz, 1990). La captura promedio de tiburón y cazón en México fue de 25,000 t durante 1999 a 2008, representando el 1.7% de la producción pesquera nacional (SAGARPA, 2008). En el litoral del Pacífico mexicano se obtuvo el 78% de la captura de tiburón y cazón durante el mismo periodo.

El tiburón martillo *S. lewini* representa el 37% de la pesquería artesanal de tiburón en la costa del Pacífico mexicano siendo la segunda especie más capturada después de *Carcharhinus falciformis* (51%) (DOF, 2004). En la costa sur de Oaxaca, durante 2004-2005, el 64% de la captura de tiburón de la flota artesanal fue de tiburón martillo *S. lewini* (Alavez-Jiménez, 2007). Su captura genera divisas, empleos directos y es fuente de proteína animal para consumo humano, incluso este recurso se aprovecha de forma integral: aletas, piel, carne, hígado, dientes, vísceras y cartílago (Bonfil, 1994). Sin embargo, la creciente demanda de productos pesqueros en general y su deficiente administración han

generado un esfuerzo pesquero y tasas de explotación superiores a las recomendables para una explotación sustentable (DOF, 2004).

La ciencia pesquera emplea modelos que permiten entender la dinámica de las poblaciones que están sujetas a explotación por pesca, como cambios en la distribución espacial y temporal o las relaciones stock-reclutamiento (Haddon, 2001). Es importante conocer la edad, el crecimiento, maduración y longevidad de las especies para evaluar el estatus de las poblaciones y sus cambios a través del tiempo principalmente en especies sujetas a explotación (Ricker, 1975; Cortés, 1997).

La pesca de elasmobranquios a nivel mundial no ha sido adecuadamente manejada, aunado a las características biológicas de este grupo de organismos como son: un bajo potencial reproductivo, largos periodos de gestación, crecimiento individual lento, madurez sexual tardía y un aparente mecanismo denso-dependiente (Walker, 1998), los ubican como organismos de baja productividad comparados con otros recursos pesqueros. Holden (1974) mencionó que los elasmobranquios tienen historias de vida que los hacen vulnerables a la sobrepesca lo que ha generado el desarrollo de estudios relacionados con la edad, crecimiento, reproducción, etc.

La mayoría de los estudios sobre edad y crecimiento en elasmobranquios se basan en la descripción de las marcas de crecimiento en vértebras y espinas (Cailliet & Goldman, 2004). Estas estructuras son adecuadas para la estimación de la edad y descripción del crecimiento somático debido a que su crecimiento es un proceso continuo de la depositación de calcio y no existe evidencia de reabsorción o modificación interna (Simkiss, 1974; Clement, 1992; Officer *et al.*, 1997).

La precisión y exactitud de la información acerca de la edad son importantes para obtener estimaciones adecuadas sobre el crecimiento, mortalidad natural y longevidad. La precisión es la repetitividad de una interpretación numérica y puede ser independiente de la edad, mientras que la exactitud es la validación de la unidad temporal de un incremento de crecimiento

respecto de la edad verdadera (Cailliet & Tanaka, 1990). Los métodos de verificación comúnmente utilizados son el análisis del incremento marginal y el porcentaje mensual de bordes opacos de las estructuras duras durante un ciclo anual, y los de validación son experimentos de marcado-recaptura (marcas externas o químicas) y el cultivo de los organismos en cautiverio (Branstetter, 1987a; Cailliet & Goldman, 2004).

En el presente trabajo se abordó el estudio de la edad y del crecimiento en el tiburón martillo *S. lewini* capturado en la costa sur de Oaxaca. La edad se determinó utilizando las marcas de crecimiento contenidas en las vértebras.



## II. ANTECEDENTES

Los estudios sobre edad y crecimiento del tiburón martillo *S. lewini*, se han llevado a cabo en varias partes del mundo. Clarke (1971) estudió a través del marcado y recaptura el comportamiento, segregación y crecimiento durante la etapa juvenil del tiburón martillo en Hawaii. Donde observó que los organismos crecen en promedio 51 mm por mes.

Holden (1974), para las costas de Inglaterra utilizó información sobre el periodo de gestación, la talla de nacimiento y la longitud máxima observada del tiburón martillo para estimar, a través de un método empírico, la tasa de crecimiento ( $k= 0.057$ ).

Schwartz (1983) estimó la edad del tiburón martillo capturado por la flota atunera en Carolina del Norte, utilizando las vértebras teñidas con nitrato de plata y cristal violeta. Encontró que las marcas de crecimiento se forman anualmente y por retrocálculo asignó, para machos, a una edad de 8 años una talla de 124.3 cm de longitud furcal (LF) y en hembras una talla de 104.3 cm LF a los 5 años de edad.

Mientras que en el noroeste del Golfo de México, Branstetter (1987b) estimó que los machos del tiburón martillo maduran a una talla de 180 cm de longitud total (LT) entre 9-10 años de edad y las hembras a los 15 años a una talla de 250 cm LT. También, utilizando el incremento marginal, estimó que las marcas de crecimiento se depositan anualmente, con base a seis meses de muestreo durante un ciclo anual. Identificó una banda hialina en invierno y una banda opaca en julio-agosto. Estimó los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para sexos combinados ( $L_{\infty}= 329$  cm LT,  $k= 0.075$ ,  $t_0= -2.2$  años,  $n= 78$ ).

En el Noroeste de Taiwán, Chen *et al.* (1988; 1990) analizaron secciones de vértebras dorsales para estimar la edad del tiburón martillo, reportan que las marcas de crecimiento se formaron semestralmente (julio y diciembre). En hembras, determinaron una edad máxima de 14 años a una talla de 331 cm LT y

en machos 11 años a una talla de 301 cm LT. La edad de primera madurez se estimó a los 4 años para ambos sexos, a los 210 cm LT en hembras y a los 198 cm LT en machos. Estimando los parámetros del modelo de von Bertalanffy por sexo ( $L_{\infty}$ = 321 cm LT,  $k$ = 0.22,  $t_0$ = -0.75 años,  $n$ = 49 en machos y  $L_{\infty}$ = 320 cm LT,  $k$ = 0.25,  $t_0$ = -0.41 años,  $n$ = 279 en hembras).

Piercy *et al.* (2007) en el noroeste del océano Atlántico y Golfo de México estimaron los parámetros de crecimiento del tiburón martillo ( $L_{\infty}$ = 214.8 cm LF,  $k$ = 0.13,  $t_0$ = -1.62 años,  $n$ = 189 para machos y  $L_{\infty}$ = 233.1 cm LF,  $k$ = 0.09,  $t_0$ = -2.22 años,  $n$ = 107 para hembras. La edad máxima determinada para ambos sexos fue de 30.5 años a una talla de 234 cm LF para machos y 241 cm LF para hembras. Asumen una periodicidad anual en las marcas de crecimiento.

En el Pacífico mexicano, los estudios de edad y crecimiento para el tiburón martillo son escasos. Righetty-Rojo & Castro-Morales (1990) usaron las vértebras dorsales teñidas con nitrato de plata de ejemplares capturados por la pesca artesanal en las costas de Mazatlán, Sinaloa, identificaron nueve grupos de edad a una talla de 208 cm LT para sexos combinados. Suponen que una marca de crecimiento se deposita anualmente, pero esto no fue validado. Obtuvieron los parámetros del modelo de von Bertalanffy para sexos combinados mediante el método de Ford-Walford,  $L_{\infty}$ = 236 cm LT,  $k$ = 0.185,  $n$ = 83.

En las costas de Manzanillo, Col., Andrade-González (1996) estimó la edad y describió el crecimiento del tiburón martillo mediante la lectura de anillos de crecimiento en secciones de vértebras, ( $L_{\infty}$ = 380 cm LT,  $k$ = 0.08,  $t_0$ = -0.8 años para sexos combinados,  $L_{\infty}$ = 393 cm LT,  $k$ = 0.09,  $t_0$ = -0.1 años,  $n$ = 37 en machos y  $L_{\infty}$ = 398 cm LT,  $k$ = 0.09,  $t_0$ = -0.9 años,  $n$ = 33 en hembras). Reportó que las hembras maduran a los 8.5 años de edad con una talla de 210 cm LT y para machos a los 8 años a una talla de 190 cm LT. Reporta una periodicidad semestral de las marcas de crecimiento.

Anislado-Tolentino & Robinson-Mendoza (2001) estimaron la edad y el crecimiento del tiburón martillo capturado por la pesca artesanal en las costas de Michoacán. Reportan que en el primer año de vida se depositaron tres marcas de

crecimiento, una inmediatamente después de nacer. La edad máxima obtenida fue de 18.5 años para una hembra de 336 cm LT y para machos una edad máxima de 9 años de 244 cm LT. Asimismo, estiman los parámetros de crecimiento por sexo, reportando:  $L_{\infty}$ = 336 cm LT,  $k$ = 0.13,  $t_0$ = -1.1 años,  $n$ = 50 en machos y  $L_{\infty}$ = 353 cm LT,  $k$ = 0.16,  $t_0$ = -0.63 años,  $n$ = 51, en hembras.

Anislado-Tolentino, *et al.* (2008) estimaron la edad del tiburón martillo capturado en las costas de Sinaloa. Se asignó una edad de 12.5 años a una hembra de 280 cm LT y 11 años a un macho de 281 cm LT. Observaron la formación de dos bandas opacas de crecimiento por año, una durante el verano y otra en invierno. Estimaron los siguientes parámetros de crecimiento para sexos separados:  $L_{\infty}$ = 364 cm LT,  $k$ = 0.12,  $t_0$ = -1.18 años,  $n$ = 65 en machos y  $L_{\infty}$ = 376 cm LT,  $k$ = 0.1,  $t_0$ = -1.16 años,  $n$ = 44 en hembras.

### III. OBJETIVOS

#### **General**

Estimar la edad y describir el crecimiento del tiburón martillo, *Sphyrna lewini* capturado en la costa sur de Oaxaca.

#### **Particulares**

Analizar la estructura de tallas de la captura del tiburón martillo *S. lewini*.

Estimar el crecimiento individual del tiburón martillo *S. lewini* ajustando el modelo de von Bertalanffy a los datos de edad y talla retrocalculada.

Estimar la estructura de edades de la captura del tiburón martillo *S. lewini*.

#### IV. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza sobre la costa de Oaxaca, al sur de los  $95^{\circ} 46'$  de Longitud Oeste hasta la frontera con Chiapas, esta zona se ubica al noroeste del Golfo de Tehuantepec, en el Océano Pacífico (Fig. 1).

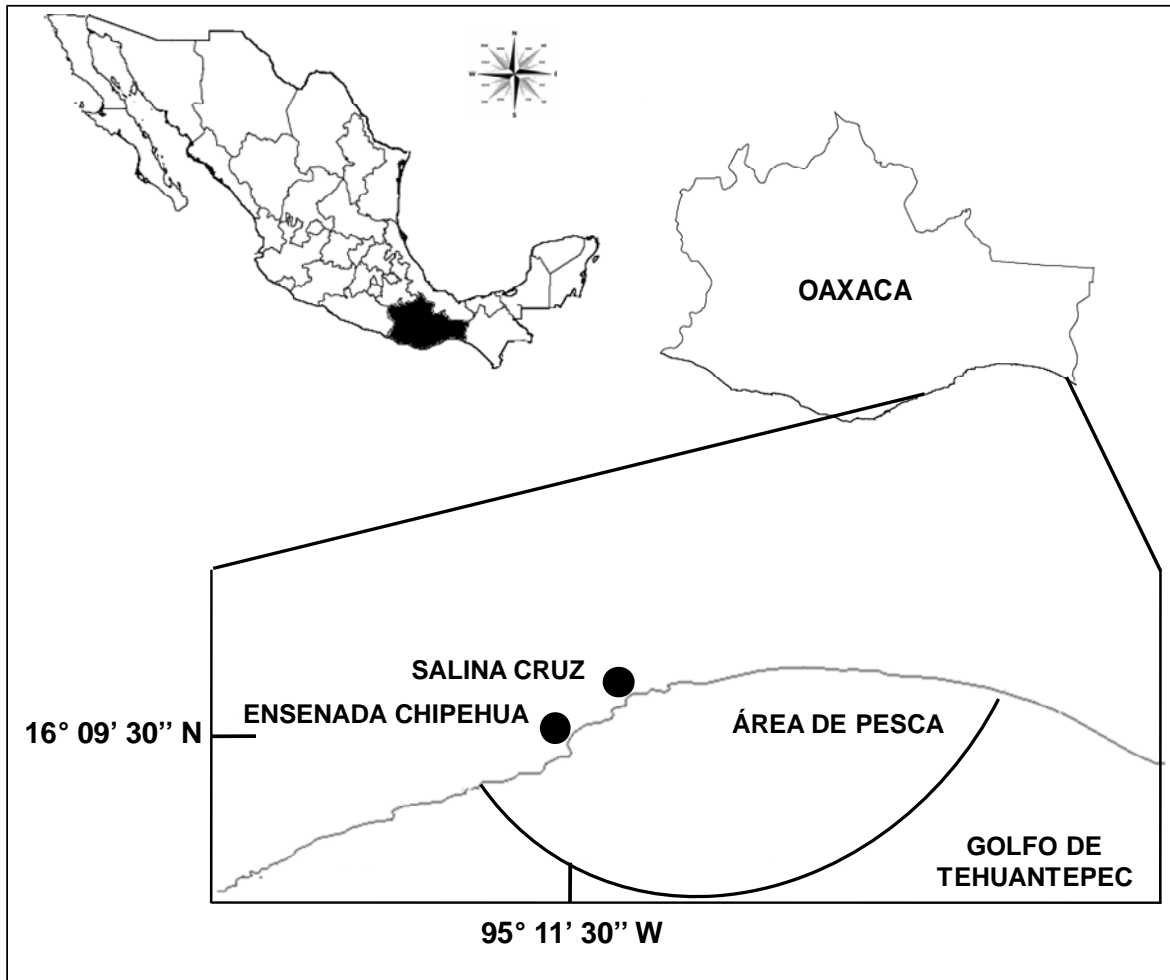


Figura 1. Localización del área de estudio en la costa sur de Oaxaca. Se muestra la ubicación de Ensenada Chipechua y la línea delimita el área donde opera la pesquería artesanal.

Los muestreos se realizaron en el campamento pesquero de Ensenada Chipechua, la cual se localiza a 30 km al suroeste de Salina Cruz. Su costa es rocosa y el fondo rocoso-arenoso, con profundidades variables de 4 a 36 m

(Gentier, 1982). La región presenta clima tropical cálido, con temperatura promedio de 27° C. Los procesos meteorológicos más importantes son los vientos “tehuanos” que ocurren durante octubre a abril, que ocasionan surgencias eólicas, y el periodo de lluvias durante mayo a septiembre (Stumpf, 1975). El Golfo de Tehuantepec es una región tradicionalmente pesquera y los procesos costeros tienen una fuerte influencia sobre la biología y ecología de las especies.

## V. MATERIAL Y MÉTODOS

### Muestreo

De septiembre 2004 a agosto 2006 se visitó semanalmente el campamento pesquero en Ensenada Chipehua, Oaxaca. La zona de pesca de tiburón tiene un radio promedio de 34 km desde la costa. Para la pesca se utilizan redes de enmalle de deriva y palangres de superficie. Las redes tienen 200 m de largo por 25 m de caída y luz de malla de 20 y 27 cm. Los palangres tienen una línea principal de 2.3 km de largo, de la cual cuelgan ramales con 2 anzuelos del número 4 y la distancia entre ramales es de 18.3 m.

Una vez desembarcados los tiburones, se realizó la identificación del tiburón martillo *S. lewini* de acuerdo con Fischer *et al.* (1995). Cada tiburón fue colocado con la parte ventral hacia abajo y con el lóbulo superior de la aleta caudal en línea con el eje del cuerpo. Se midió la longitud total (LT) con una cinta métrica ( $\pm 1$  cm) y se identificó el sexo de acuerdo a la presencia o ausencia de gonopterigios. Una vez los tiburones eviscerados, se recolectaron entre 4 y 6 vértebras cervicales (Officer *et al.*, 1996).

Las vértebras se almacenaron en bolsas de plástico etiquetadas indicando el nombre de la especie, fecha, localidad y número de organismo. Las muestras se mantuvieron congeladas hasta su traslado al Laboratorio de Ecología de Peces del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN), en la ciudad de La Paz, B.C.S., México.

### Limpieza y procesamiento de vértebras

El tejido conectivo adherido a las vértebras y el arco neural y hemal se retiraron con ayuda de agua caliente, cuchillo, pinzas y agujas de disección. Una vez limpias, se lavaron con agua corriente, se seleccionó la vértebra más grande de cada organismo y se secaron durante 24 horas a temperatura ambiente.

Para facilitar el corte sobre las vértebras, se fijaron con pegamento de contacto sobre una pieza de madera (2 cm x 5 cm). De cada vértebra se obtuvo una sección longitudinal de entre 0.5 y 0.6 mm de grosor (Fig. 2) utilizando una cortadora de baja velocidad (Isomet: Buehler), con cuchilla de filo de diamante, cada sección incluyó el foco de la vértebra. La sección se dejó secar durante cinco minutos y finalmente se montaron en portaobjetos con resina Cytoseal XYL.



Figura 2. Diagrama de un corte longitudinal en la vértebra de tiburón.

De cada sección se obtuvo una imagen digital (8x y 10x de aumento) utilizando un microscopio estereoscópico OLYMPUS modelo SZX9, conectado a una videocámara SONY (CCD-IRIS/RGB), con salida a una tarjeta digitalizadora Targa-1000 y a un monitor de video. Se empleó luz reflejada sobre un fondo negro para resaltar mejor la estructura del *corpus calcareum*.



## **Análisis de datos**

### **Estructura de tallas**

Para describir la estructura de tallas, se elaboraron histogramas de frecuencias total y por mes utilizando intervalos de 5 cm LT. Las diferencias entre la estructura de tallas entre sexos se evaluaron a través de la prueba Kolmogorov - Smirnov con un nivel de confianza del 95% (Sokal & Rohlf, 1981). Para describir los cambios en la estructura de tallas se consideraron tres etapas del desarrollo ontogenético del tiburón martillo en función a la talla de acuerdo a los criterios de Alejo-Plata *et al.* (2007). Neonatos, organismos con tallas <65 cm LT; juveniles, entre 65 y 170 cm LT; y adultos, con tallas >170 cm LT.

### **Determinación de la edad**

La identificación y conteo de las marcas de crecimiento en las imágenes de las vértebras se efectuó por dos lectores de manera independiente. Para la asignación de la edad se contaron las marcas de crecimiento en la región del *corpus calcareum*, una marca de crecimiento es representada como una banda opaca seguida de una banda hialina. La marca de nacimiento se identificó como una delgada banda hialina cercana al foco. A partir de la marca de nacimiento, se hicieron las lecturas del resto de las marcas de crecimiento y se conformaron los grupos de edad (Anislado-Tolentino *et al.*, 2008).

Utilizando el programa Sigma Scan Pro 4.0 se midió sobre la imagen de la sección, el radio de la vértebra (RV), distancia desde el foco al borde distal a lo largo del *corpus calcareum*, y el radio a cada una de las marcas de crecimiento (Fig. 3). También se registró el tipo borde de la vértebra como opaco o hialino.

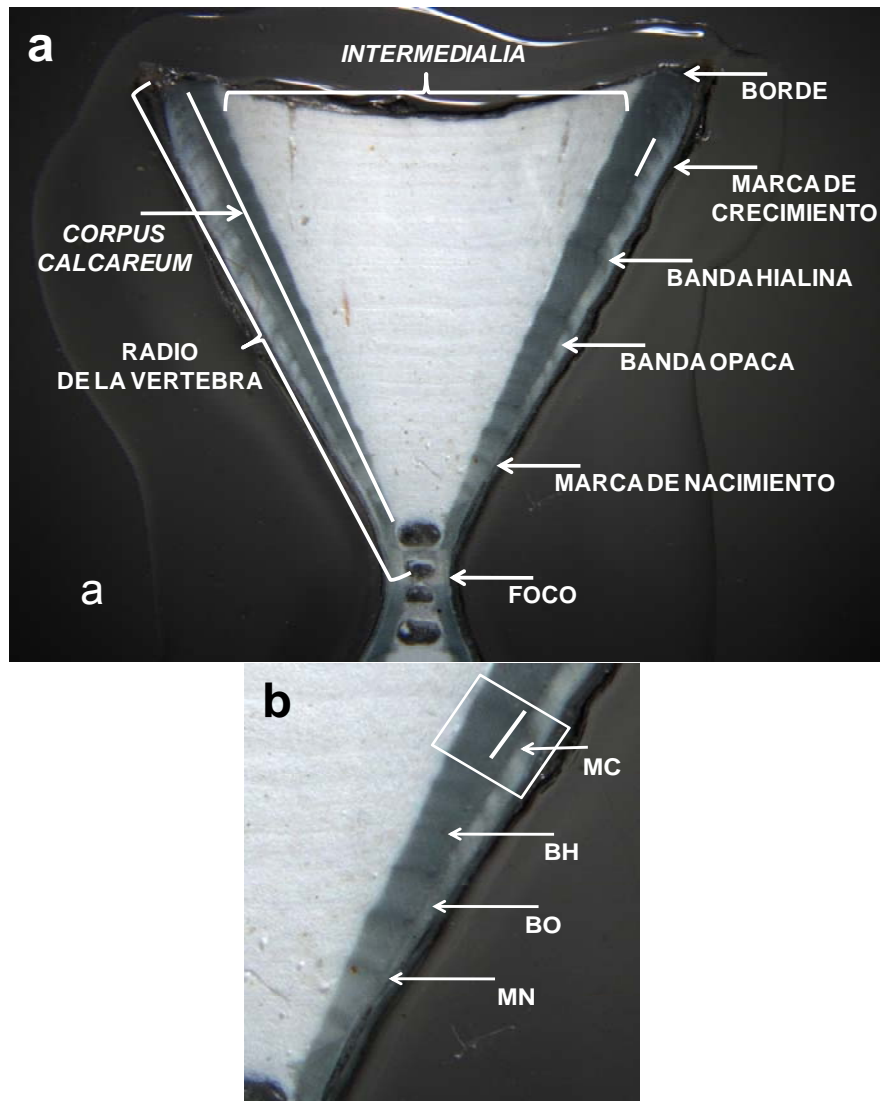


Figura 3. a) Imagen de una vértebra de tiburón martillo que muestra las diferentes partes indicadas en el texto, b) acercamiento del *corpus calcareum*: MN (marca de nacimiento), BO (banda opaca), BH (banda hialina) y MC (marca de crecimiento).

### Precisión de las lecturas del número de marcas de crecimiento

Para evaluar la precisión del número de marcas de crecimiento leídas entre lectores, se calculó el Porcentaje de Error Promedio (IAPE, por sus siglas en inglés) (Beamish & Fournier, 1981):

$$IAPE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[ \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R (|X_{ij} - X_j|) \right] * 100$$

y el Coeficiente de Variación (CV) (Chang, 1982).

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

Donde  $N$  es el número total de organismos a los que se les estimó la edad,  $R$  el número de veces que se leyó la estructura,  $X_{ij}$  es la edad  $i$  determinada para el organismo  $j$  y  $X_j$  es el promedio de edad calculada para el organismo  $j$ .

### **Periodicidad de las marcas de crecimiento**

Con el fin de estimar la temporalidad de formación de las marcas de crecimiento se utilizaron dos enfoques, uno cualitativo y otro cuantitativo: para el primero, se calculó el porcentaje mensual de vértebras con borde opaco (Ishiyama, 1978; Tanaka & Mizue, 1979), y complementariamente, se usó el análisis del incremento marginal (IM) propuesto por Hayashi (1976) que es estimado por la función:

$$IM = \frac{R - r_n}{r_n - r_{n-1}}$$

Donde  $R$  es el radio de la vértebra,  $r_n$  y  $r_{n-1}$  son la distancia desde el foco a la última y penúltima banda hialina, respectivamente. La distribución mensual del IM se relacionó con el promedio mensual de la temperatura superficial del mar durante 2004-2006 (<http://www.pfeg.noaa.gov/>).

### **Retrocálculo**

La relación entre el radio de la vértebra (RV) y LT por sexos separados, se estableció usando un análisis de regresión potencial (Ehrhardt, 1981) y las diferencias entre sexos se evaluaron por medio de un análisis de covarianza (Zar, 1999) transformando los datos (RV y LT) a logaritmo base 10.

El retrocálculo de la talla a la edad se estimó utilizando la ecuación modificada de Fraser-Lee (Francis, 1990; Anislado-Tolentino & Robinson-Mendoza, 2001) para ello se asumió que el crecimiento del organismo es proporcional al crecimiento de la vértebra:

$$LT_n = \left\{ (LT_c + a) \left( \frac{rn^b}{R^b} \right) \right\} - a$$

Donde  $LT_n$  es la longitud retrocalculada a la edad  $n$ ,  $LT_c$  es la longitud total del organismo al momento de la captura,  $R$  es el radio total de la vértebra,  $m$  es el radio a cada marca de crecimiento  $n$ ,  $a$  es la ordenada al origen y  $b$  la pendiente de la relación potencial RV-LT.

### **Crecimiento individual**

Para describir el crecimiento, a los datos edad y LT retrocalculada se ajustó el modelo de von Bertalanffy:

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

Donde  $LT$  es la longitud a la edad  $t$  en años;  $L_{\infty}$  es la longitud asintótica o la longitud máxima teórica;  $k$  es el coeficiente de crecimiento y  $t_0$ , la edad teórica a la longitud cero. Para estimar los parámetros de la ecuación se utilizó el método iterativo del módulo NON LINEAR del programa de computadora Statistica.

Para la comparación de las curvas de crecimiento entre sexos se utilizó el Análisis de la Suma de Cuadrados Residuales (ARSS por sus siglas en inglés) propuesto por Chen *et al.* (1992), que compara todos los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy (Haddon, 2001).

Utilizando las estimaciones de  $LT$  a la edad, se calculó la tasa absoluta de crecimiento y utilizando la prueba Chi-cuadrada se evaluaron las diferencias entre sexos.

### **Estructura de edades**

Para describir la estructura de edades, se realizaron histogramas de las distribuciones de frecuencias del número de marcas de crecimiento presentes en las vértebras tanto de hembras como de machos. Para determinar si existían diferencias significativas del número de marcas entre sexos, se aplicó la prueba Kolmogorov–Smirnov (Sokal & Rohlf, 1981).

## VI. RESULTADOS

### Estructura de tallas

La captura de tiburón martillo en la costa sur de Oaxaca y descargada en Ensenada Chipehua, se muestreó de septiembre de 2004 a agosto de 2006. En la Tabla 1 se presenta por mes, el número de organismos por sexo y las tallas mínimas y máximas.

Tabla 1. Numero de organismos muestreados del tiburón martillo en la costa sur de Oaxaca, durante 2004 a 2006. En paréntesis el número de organismos a los que se les recolectó vértebras.

MES - AÑO	TOTAL MACHOS	LT (cm) MIN - MAX	TOTAL HEMBRAS	LT (cm) MIN - MAX	TOTAL
Sep - 04	30 (16)	53 - 252	3 (1)	55 - 224	33 (17)
Oct - 04	8(4)	55 - 229	6 (1)	52 - 78	14 (5)
Nov - 04	-	-	4 (3)	58 - 81	4 (3)
Dic - 04	13	62 - 91	8	62 - 84	21
Ene - 05	2	75 - 76	-	-	2
Feb - 05	4	77 - 152	9	75 - 114	13
Mar - 05	28	49 - 214	9	80 - 207	37
Abr - 05	25 (5)	52 - 246	14 (3)	79 - 286	39 (8)
May - 05	134 (34)	88 - 248	35 (8)	51 - 283	169 (42)
Jun - 05	141 (69)	50 - 286	60 (22)	51 - 288	201 (91)
Jul - 05	151 (55)	48 - 255	83 (7)	47 - 288	234 (62)
Ago - 05	25 (10)	51 - 254	14 (2)	49 - 273	39 (12)
Sep - 05	7	46 - 72	7	58 - 106	14
Oct - 05	-	-	-	-	-
Nov - 05	-	-	-	-	-
Dic - 05	5	77 - 122	2	77 - 110	7
Ene - 06	1	80	-	-	1
Feb - 06	1	78	1	78	2
Mar - 06	19	79 - 213	39	72 - 282	58
Abr - 06	9	79 - 198	17	72 - 120	26
May - 06	52 (14)	94 - 241	36 (5)	90 - 279	88 (19)
Jun - 06	23	47 - 196	35 (2)	62 - 262	58 (2)
Jul - 06	91	48 - 254	105 (3)	45 - 268	196 (3)
Ago - 06	19	48 - 237	10 (1)	50 - 290	29 (1)
<b>TOTAL</b>	<b>788 (207)</b>	<b>46 - 286</b>	<b>497 (58)</b>	<b>45 - 290</b>	<b>1285(265)</b>

En total se registraron 1,285 tiburones martillo, de los cuales 788 fueron machos (46-286 cm LT) y 497 hembras (45-290 cm LT). La proporción de sexos en la muestra fue significativamente diferente de 1H:1M (0.63H:1M,  $\chi^2 = 70$ ,  $p < 0.05$ ).

La estructura de tallas de la captura presentó dos grupos de organismos (Fig. 4a). El primer grupo, entre 45 y 150 cm LT fueron neonatos y juveniles y el segundo grupo,  $>150$  cm LT incluyeron a los adultos. La talla promedio de los machos fue de  $162 \pm 64$  cm LT, y para las hembras de  $125 \pm 72$  cm LT. Las diferencias en talla entre machos y hembras (Fig. 4b) fueron significativas (Prueba K-S,  $p < 0.05$ ).

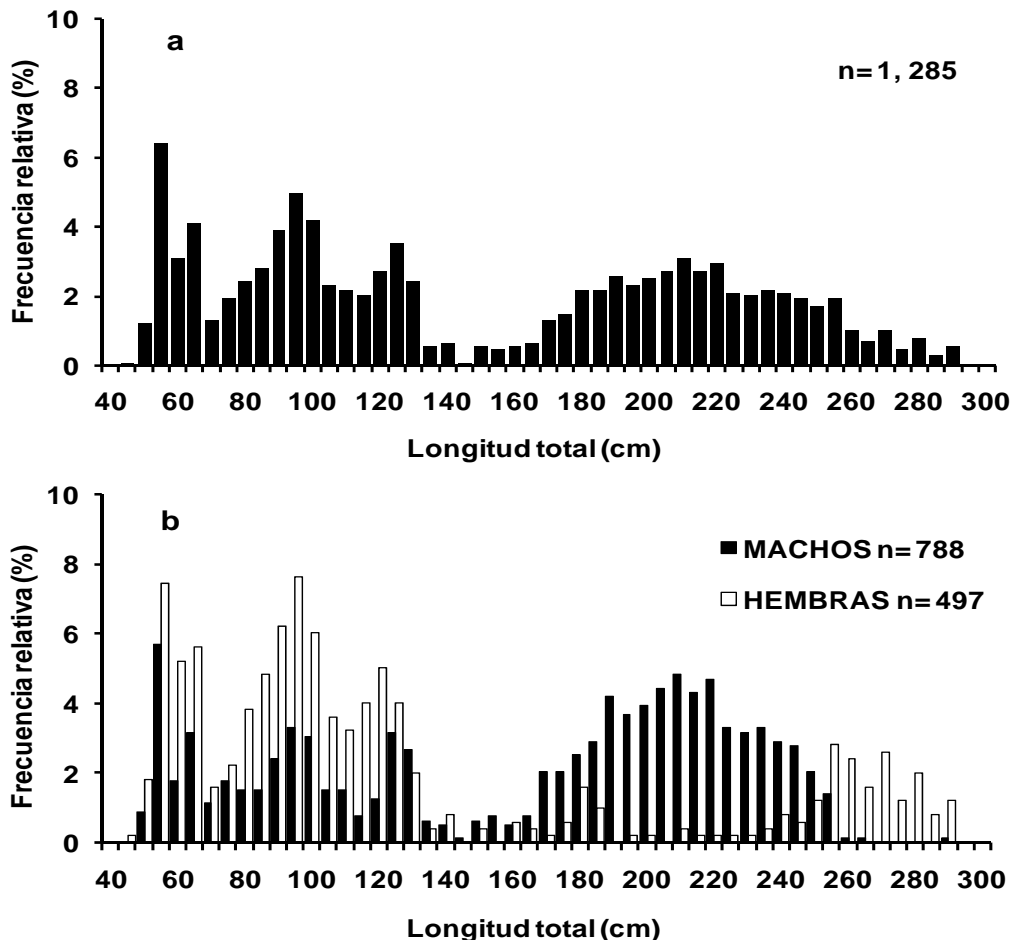


Figura 4. Distribución de frecuencias totales de tallas (a), y para hembras y machos (b) de la captura del tiburón martillo, en la costa sur de Oaxaca, durante 2004-2006.

Por etapa de desarrollo, se registraron 181 neonatos (entre 45 y 64 cm LT), 95 hembras y 86 machos, con una talla promedio de 56 cm LT para ambos sexos; 544 juveniles (entre 65 y 170 cm LT), 290 hembras (LT promedio= 100 cm) y 254 machos (LT promedio= 110 cm); y 560 adultos (entre 171 y 290 cm LT), 112 hembras (LT promedio= 247 cm), y 448 machos (LT promedio= 212 cm). La proporción por sexos en neonatos (1.1H:1M) y juveniles (1.1H:1M) no fue significativamente diferente de uno (Prueba Chi-cuadrada,  $p>0.05$ ), sin embargo, en la fase adulta (0.3H:1M) esta diferencia fue significativa ( $p<0.05$ ) resultado de una mayor captura de machos adultos.

### **Distribución mensual de tallas**

Durante el periodo de estudio se incluye el segundo semestre de 2004, toda la temporada de 2005 y el primer semestre de 2006. El numero de organismos y la estructura de tallas por mes y año mostró ligeras variaciones entre temporadas, además en algunos meses el tamaño de muestra fue reducido debido a la estacionalidad de la pesquería. Para describir el patrón estacional en la estructura de tallas de la captura del tiburón martillo se construyó un año tipo, combinando los datos por mes. Se capturaron ejemplares del tiburón martillo a lo largo del año, los menores rendimientos se presentaron de octubre a febrero (Tabla 1, Fig. 5). De octubre a febrero se registraron 64 organismos y de marzo a septiembre 1,221 organismos.

De octubre a febrero se capturan principalmente organismos juveniles (Fig. 5). Desde marzo la captura está compuesta por un mayor rango de tallas, destacándose al menos cuatro modas en longitud que representan a neonatos, juveniles y adultos, esta estructura se mantiene hasta julio. En agosto y septiembre la importancia de los juveniles se reduce considerablemente. Las menores tallas se registraron de abril a septiembre (45 cm LT para hembras y 46 cm LT para machos) y las mayores tallas de mayo a agosto (290 cm LT para hembras y 286 cm LT para machos).



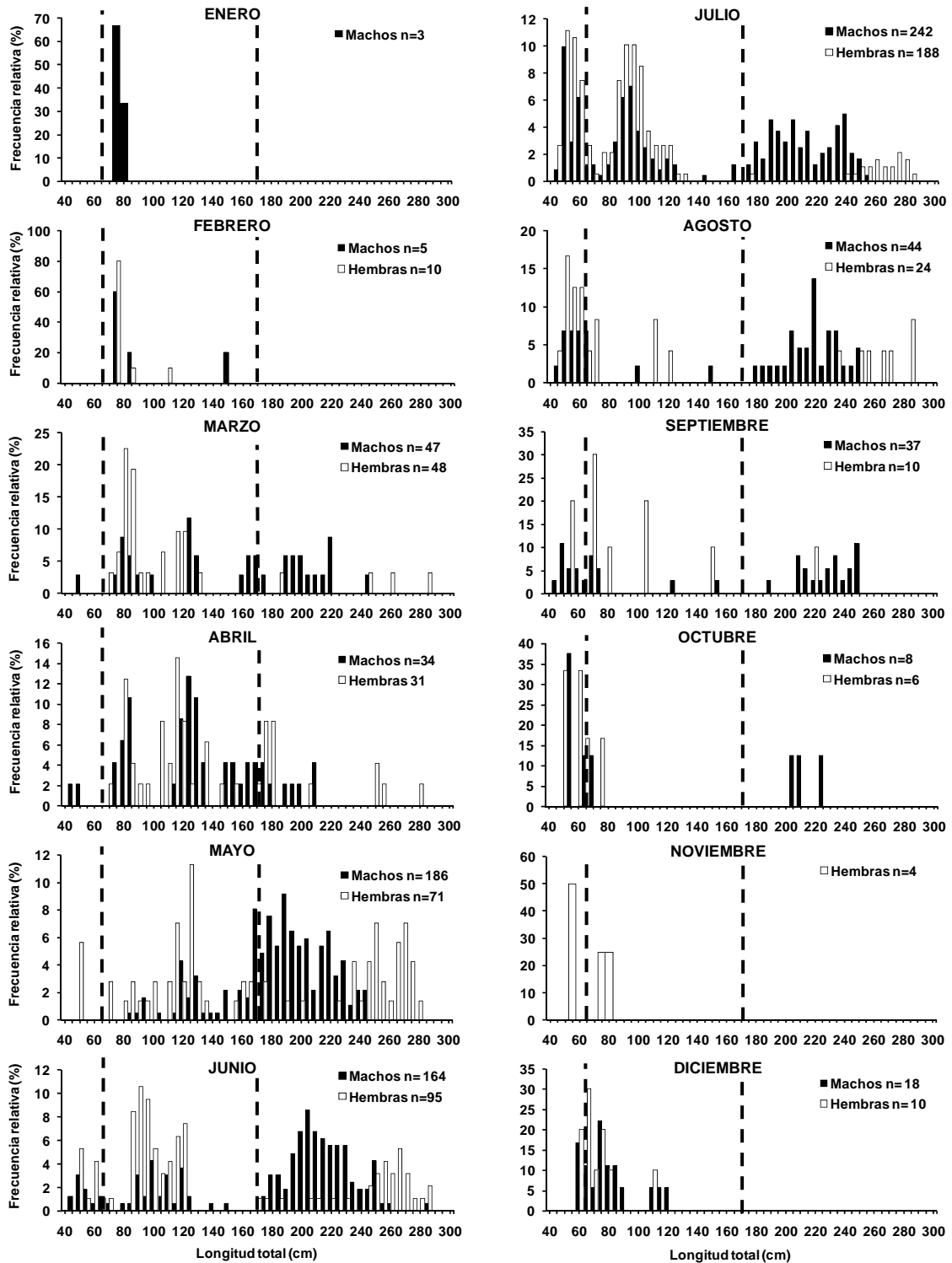


Figura 5. Frecuencia mensual de tallas para hembras y machos del tiburón martillo, capturado en la costa sur de Oaxaca, durante 2004-2006. Las líneas verticales representan el intervalo de talla por etapa de desarrollo (neonato, juvenil y adulto).

### **Determinación de edad**

Se recolectaron vértebras de 265 organismos, 207 machos (52 a 261 cm LT) y 58 hembras (54 a 288 cm LT). Durante la lectura de las marcas de crecimiento, se descartaron tres vértebras ya que las marcas estuvieron difusas. Se leyeron 262 vértebras (204 machos y 58 hembras) y se identificaron 26 marcas de crecimiento en hembras y 22 en machos.

El índice de error promedio fue de 1.02% y el coeficiente de variación de 1.32%, lo que indica una alta precisión en las lecturas entre lectores. El 70% de las lecturas entre lectores coincidieron, mientras que un 25.6% se tuvo una diferencia de  $\pm 1$  marca de crecimiento, un 4% con  $\pm 2$  marcas de crecimiento y 0.38% con  $\pm 3$  marcas de crecimiento.

### **Periodicidad de las marcas de crecimiento**

Para conocer la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento se estimó por mes el porcentaje de vértebras con borde opaco y el promedio por mes del incremento marginal (Fig. 6). Se observaron dos mínimos del porcentaje de vértebras con borde opaco, uno en abril-mayo y otro en agosto-octubre, los cuales coinciden con los valores máximos del incremento marginal. No fue posible estimar el valor del incremento marginal para el mes de noviembre que incluyó tres vértebras, ya que dos de ellas con borde opaco presentaron cero y una marca de crecimiento.

Esta tendencia indicó que las marcas de crecimiento se depositaron semestralmente, una terminaría de formarse en abril-mayo y la otra en septiembre-octubre. Aunque la que se formaría durante noviembre-abril no está totalmente representada por la falta de muestras de diciembre a marzo. La banda opaca se formaría de junio a agosto y posiblemente de diciembre a febrero. Al relacionar el porcentaje de vértebras con borde opaco y el incremento marginal con el promedio mensual de la temperatura superficial del mar (TSM), no se detectaron relaciones significativas (Coeficiente de Spearman,  $p > 0.05$ ). En

consecuencia dos marcas de crecimiento en las vértebras representarían un año de edad.

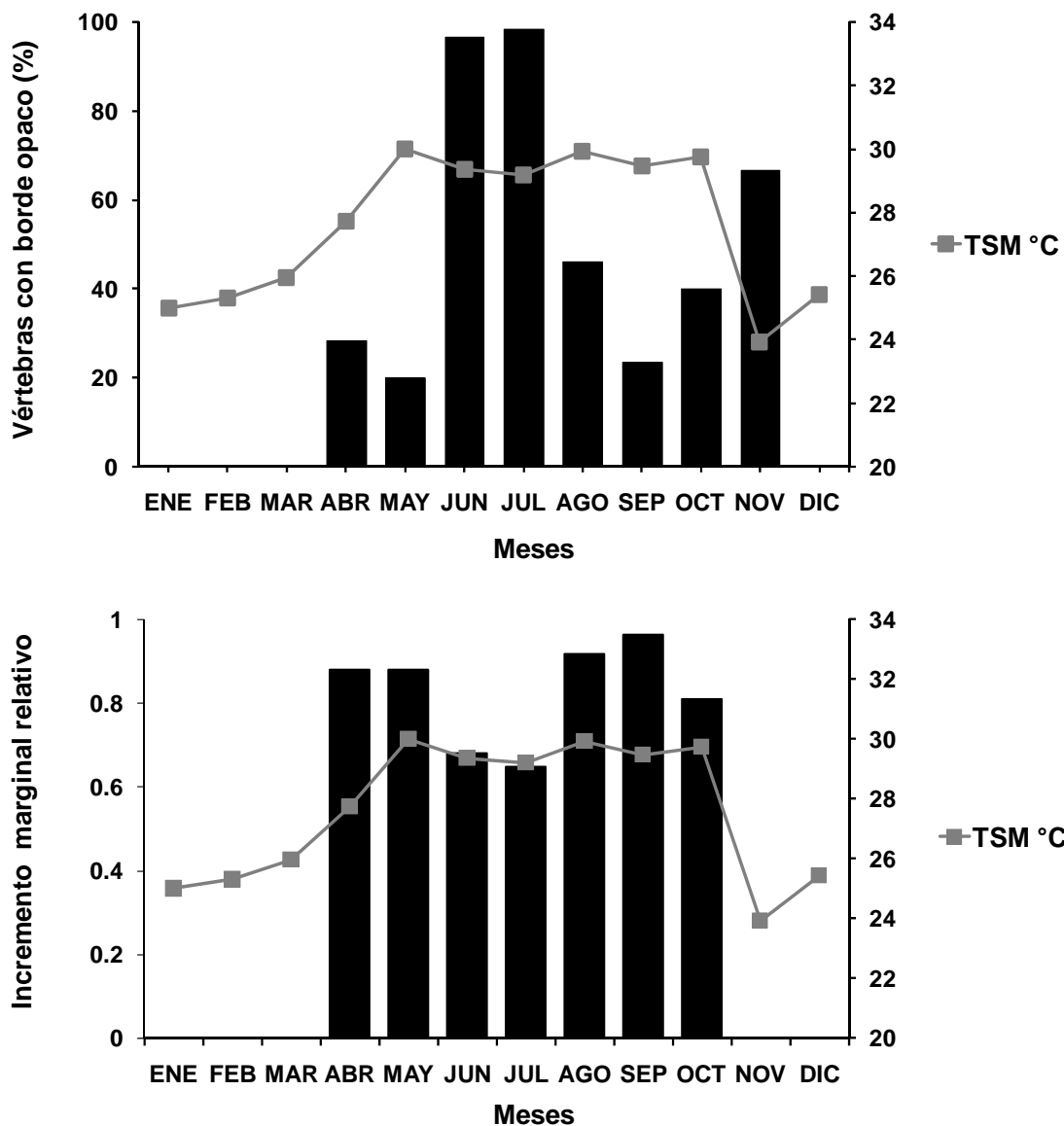


Figura 6. Variación mensual del porcentaje de vértebras con borde opaco, tasa de incremento marginal (barras) y temperatura superficial del mar (TSM) (línea).

## Retrocálculo

Se detectó una relación significativa de tipo potencial entre el crecimiento de la vértebra y el crecimiento somático para machos y hembras (Fig. 7). Lo que sugirió que el incremento en longitud del tiburón martillo es proporcional al radio de la vértebra. Con un análisis de covarianza se evaluaron las diferencias entre sexos, las cuales fueron significativas ( $F=350$ ,  $p<0.05$ ), por lo tanto para estimar la talla en función al tamaño de la vértebra se debe utilizar la relación específica.

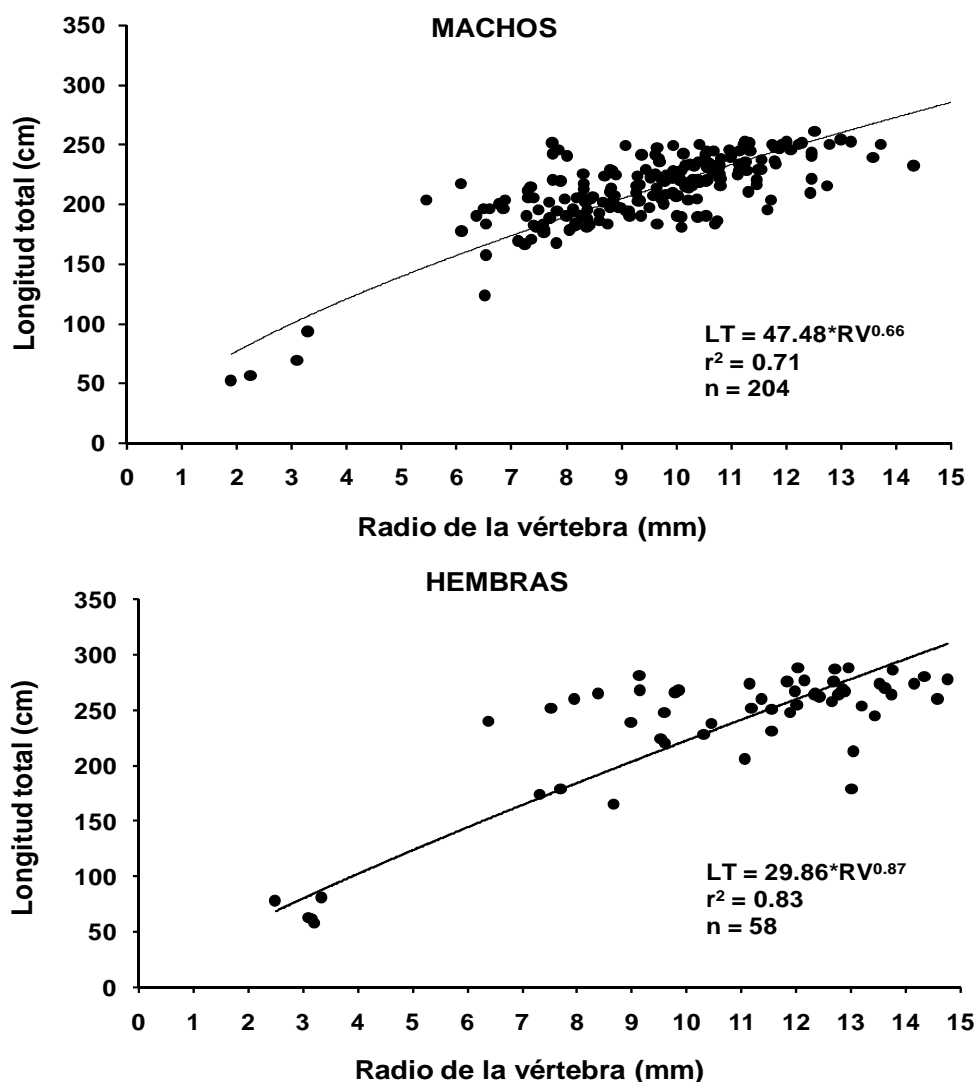


Figura 7. Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total para machos y hembras del tiburón martillo, capturado en la costa sur de Oaxaca, durante 2004-2006.

## **Crecimiento**

Los coeficientes de la regresión RV-LT por sexo ( $a= 47.48$  y  $b= 0.66$  para machos y  $a= 29.86$  y  $b= 0.87$  para hembras) se incorporaron a la función de retrocálculo, y se estimaron las tallas a edades pretéritas. Los promedios de LT retrocalculados en todo el intervalo de edad fueron menores a los promedios de LT observados (Fig. 8). A los datos de talla retrocalculada a la edad para machos y hembras se les ajustó el modelo von Bertalanffy para describir el patrón de crecimiento. Los parámetros del modelo para machos fueron:  $L_{\infty}= 301.1$  cm LT,  $k= 0.13$ ,  $t_0= -0.74$  años y  $r^2= 0.97$  y para las hembras:  $L_{\infty}= 305.3$  cm LT,  $k= 0.13$ ,  $t_0= -0.51$  años y  $r^2= 0.96$ . Se observó que la talla a la edad en hembras es mayor 1.5 cm en promedio que la talla a la edad de los machos. Las diferencias de las curvas de crecimiento entre sexos fueron significativas (ARSS,  $F= 3.97$ ,  $p<0.05$ ).

## **Tasa de crecimiento**

A partir de la LT estimada por sexo se calculó la tasa absoluta de crecimiento y el porcentaje de la longitud asintótica por año (Tabla 2). El crecimiento absoluto presentó una tendencia hacia incrementos menores en función a la edad, y fueron similares para machos y hembras (Chi-cuadrado=0.43,  $p>0.05$ ). Sin embargo, las hembras crecieron en promedio 4 cm más que los machos en los primeros cuatro años de vida, y posteriormente incrementaron su talla 1 cm más que los machos. Se observó que los organismos alcanzaron el 65% de la longitud asintótica entre los 7 y 8 años para ambos sexos.

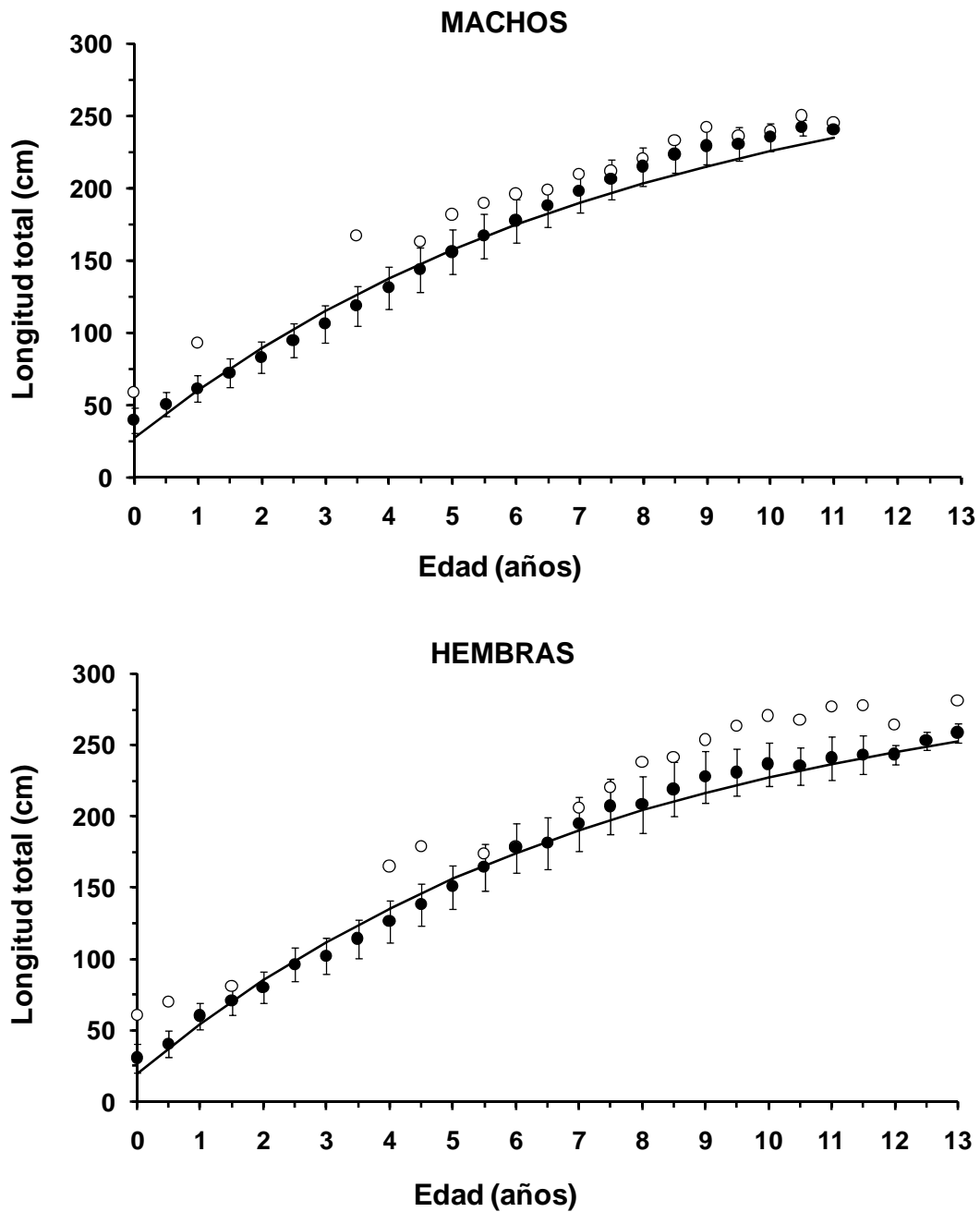


Figura 8. Promedio de la talla observada (círculos blancos), retrocalculada (círculos negros) por edad y curvas del modelo de von Bertalanffy para machos y hembras del tiburón martillo, capturado en la costa sur de Oaxaca, durante 2004-2006. Las líneas verticales indican la desviación estándar de la LT retrocalculada.

Tabla 2. Tasa de crecimiento absoluta anual y porcentaje de la longitud asintótica por edad del tiburón martillo, capturado en la costa sur de Oaxaca, durante 2004-2006.

EDAD	MACHOS (cm año <sup>-1</sup> )	HEMBRAS (cm año <sup>-1</sup> )	MACHOS (% L <sup>∞</sup> )	HEMBRAS (% L <sup>∞</sup> )
1	33.1	34.8	20	18
2	29.1	30.6	30	28
3	25.6	26.8	38	37
4	22.5	23.6	46	44
5	19.8	20.7	52	51
6	17.4	18.2	58	57
7	15.3	16.0	63	62
8	13.4	14.0	68	67
9	11.8	12.3	72	71
10	10.4	10.8	75	75
11	9.1	9.5	78	78
12		8.3		80
13		7.3		83

### Estructura de edades

Para obtener la estructura de edades de la captura del tiburón martillo en la costa sur de Oaxaca, durante 2004 a 2006, se asignaron edades a todos los organismos que no se les recolectaron vértebras para la determinación de edad, utilizando una clave edad-longitud por sexo (Fig. 9). La edad en machos vario entre 0 a 11 años y entre 0 a 13 años en hembras. Los grupos de edad entre 0 y 5 años (organismos inmaduros) representaron el 50% de la captura de los machos, mientras que en hembras fue el 80% de la captura. La estructura de edad por sexo fueron comparadas y las diferencias fueron significativas (Prueba K-S,  $p < 0.05$ ).

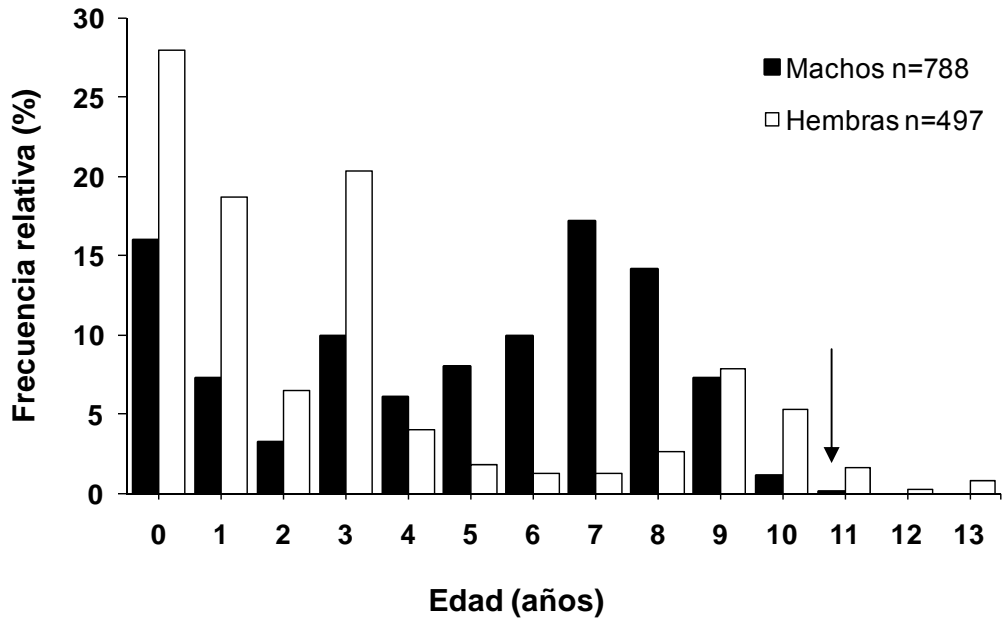


Figura 9. Estructura de edad por sexo del tiburón martillo, capturado en la costa sur de Oaxaca, durante 2004-2006. La flecha indica un valor de 0.13 para machos de 11 años.



## VII. DISCUSIÓN

En la costa sur de Oaxaca (este del Golfo de Tehuantepec), la pesca de tiburón es la más importante de la pesquería artesanal, la cual es una actividad variable tanto en su producción como en especies. Para esta zona, Alejo-Plata *et al.* (2006) mencionan que se capturan hasta 17 especies de tiburón, siendo las más abundantes *C. falciformis* y *S. lewini*, las cuales constituyen 75% de las capturas.

El tiburón martillo es de las principales especies capturadas en diferentes regiones. Galván-Magaña *et al.* (1989) y Torres-Huerta (1999) comentan que es una de las especies más capturadas en las costas de Baja California Sur. Anislado-Tolentino & Robinson-Mendoza (2001) reportan que esta especie representa hasta el 60% de la captura en peso en la pesca artesanal de Michoacán. Alejo-Plata (2007) y Campuzano-Caballero (2002) reportan a *S. lewini* como la segunda especie en orden de importancia en el Golfo de Tehuantepec. En las costa de Taiwán, el tiburón martillo representa el 25% de la captura total de tiburón (Chen, 1990). Branstetter (1987b) reporta al tiburón martillo entre las especies más importantes de la captura incidental en la pesca de altura del pez espada (*Xiphias gladius*) en el norte del Golfo de México. En el Golfo de México, durante 1994-1996 el tiburón martillo ocupó el cuarto lugar (12.2%) de la captura de tiburón y la mayoría de los organismos capturados fueron inmaduros (Zarate-Rustrían, 2002).

Los resultados obtenidos, muestran que el tiburón martillo se encuentra presente en la costa sur de Oaxaca a lo largo del año. Durante el periodo de estudio se observó una variación mensual importante en el tamaño de muestra, los mayores registros fueron de abril a agosto, con un mayor número de hembras adultas y neonatos presentes en las capturas. Esto es consecuencia del comportamiento reproductivo de la especie que se aproxima a la costa a parir (Branstetter, 1987b; Bejarano-Álvarez, 2007) lo cual tiene un efecto positivo en las capturas (Alavez-Jiménez, 2007).

La temporada de pesca de tiburón en el Golfo de Tehuantepec es desde finales de invierno hasta inicio de otoño, los pescadores dirigen el mayor esfuerzo a la captura durante primavera-verano por la abundancia del recurso. Al inicio de la temporada, los pescadores utilizan cimbras para la captura de organismos de tallas grandes en las zonas más profundas de la zona de pesca. A medida que la disponibilidad de estos organismos disminuye, a principios de verano, los pescadores cambian de arte de pesca (redes de enmalle y redes agalleras) y se trasladan a zonas poco profundas cerca de la costa, donde están disponibles organismos de menor talla. A principios de otoño, a causa de los vientos del norte (Monreal-Gómez & Salas de León, 1998), las condiciones ambientales dificultan la pesca de tiburón y ésta dirige a la captura de peces de escama e incidentalmente se capturan tiburones juveniles (Alavez-Jiménez, 2007).

### **Estructura de tallas**

La longitud máxima reportada para la especie es de 420 cm LT, siendo 360 cm LT la más común en las capturas, la talla al nacer varía entre 38 y 55 cm LT (Fischer *et al.*, 1995). En el presente estudio el intervalo de tallas analizado para sexos combinados fue de 45 a 290 cm LT. Este intervalo de talla es similar a los reportados para la zona de estudio donde la talla varió entre 43 y 310 cm LT (Alejo-Plata *et al.*, 2006, 2007; Bejarano-Álvarez, 2007). Para el norte del Golfo de México y Océano Atlántico, la estructura de tallas de la captura del tiburón martillo fue de 48 a 249 cm LT (Branstetter, 1987b; Piercy *et al.*, 2007). En las zonas de pesca de los estados ribereños mexicanos en el Golfo de México, durante 1994 a 1996, la estructura de tallas varió entre 40 y 315 cm LT (Zarate-Rustrián, 2002). En el Océano Pacífico, el ejemplar de mayor talla registrado corresponde a una hembra de 380 cm LT capturada entre 1996 a 1997 y descargada en Puerto Madero (Campuzano-Caballero, 2002). La estructura de tallas de la captura del tiburón martillo en el Pacífico, Golfo de México y Atlántico presenta un intervalo similar con tallas menores a 310 cm en los últimos 15 años.

La estructura de talla de la captura del tiburón martillo durante 2004 a 2006 analizada en el presente trabajo, mostró dos grupos de tallas bien definidos, neonatos-juveniles y adultos. En el primer grupo la proporción por sexos fue de (1H:1M) mientras que en adultos es evidente el dominio de los machos en la muestra. Similar estructura y composición por sexos fue reportada por Alejo-Plata *et al.* (2006, 2007) durante 2001 a 2005 en la Costa Chica de Oaxaca. La menor proporción de hembras adultas, puede deberse a que se encuentren alejadas de la costa en zonas profundas y se desplazan a la costa para el alumbramiento y apareamiento (Klimley, 1987). Este autor establece que las hembras se dirigen a aguas de mayor profundidad a tallas alrededor de 140 cm LT, donde se alimentan de presas pelágicas provocando un crecimiento más rápido para alcanzar la talla de reproducción de 220 cm LT. La abundancia de neonatos y de hembras preñadas en las capturas de la costa sur de Oaxaca, sugieren que el Golfo de Tehuantepec, puede ser considerado como un área de crianza para la especie, lo cual coincide con lo establecido por Alejo-Plata *et al.* (2006) e Hinojosa-Álvarez (2007).

### **Estimación de edad**

Las vértebras, espinas dorsales y espinas caudales son las únicas estructuras a través de las cuales se puede estimar la edad en elasmobranquios (Cailliet & Goldman, 2004). La vértebra es la estructura dura más frecuentemente utilizada para determinar la edad en peces cartilaginosos y se ha comprobado, en algunas especies, que el número de marcas de crecimiento en vértebras y espinas coinciden (Campana *et al.*, 2006). En el presente estudio, se emplearon vértebras cervicales para determinar la edad en el tiburón martillo. Piercy (2006) estima la edad utilizando vértebras cervicales, dorsales y caudales de *C. plumbeus* y *C. limbatus* y no encontró diferencias significativas en el número de marcas de crecimiento entre los tipos de vértebra.

Las lecturas de las marcas de crecimiento en las vértebras presentaron altos índices de reproducibilidad de acuerdo a los valores del IAPE y CV (<2%).

Estos valores son menores a otras estimaciones en diferentes especies de tiburón y consideradas como aceptables, donde los valores del IAPE estuvieron entre 4 y 17% (Tovar-Ávila *et al.*, 2009). Las diferencias entre lectores, pueden tener su origen en dos causas principales: la experiencia del lector; y que las marcas de crecimiento no siempre son fáciles de interpretar, a causa de un difuso patrón en su formación resultado de cambios ambientales, de la dieta y migraciones (Campana, 2001).

Anislado-Tolentino *et al.* (2008) comenta que para resaltar las marcas de crecimiento tiñó las secciones de las vértebras del tiburón martillo con rojo de alizarina. En el presente estudio se tiñeron algunas secciones de vértebras con rojo de alizarina, pero las marcas de crecimiento no fueron significativamente más evidentes respecto al de las secciones sin teñir.

Respecto a la periodicidad de las marcas de crecimiento en las vértebras del tiburón martillo, ésta varía de semestral (Chen *et al.*, 1990; Andrade-González, 1996; Anislado-Tolentino & Robinson-Mendoza, 2001) a anual (Branstetter, 1987b; Schwartz, 1983; Righetty-Rojo & Castro-Morales, 1990; Piercy *et al.*, 2007). En el presente estudio no fue posible recolectar vértebras del tiburón martillo durante el invierno, debido a que la pesquería, en esa época, es muy costera y dirigida a especies de escama por las condiciones oceanográficas en el Golfo de Tehuantepec. Sin embargo, la tendencia del porcentaje mensual de vértebras con borde opaco sugiere que se forman dos bandas hialinas al año (representadas por bajos porcentajes de vértebras con borde opaco). Un aspecto común en la mayoría de los estudios de edad en tiburones es la falta de un ciclo anual completo, lo que resulta en no tener representado el ciclo completo de la formación de las marcas de crecimiento. Campana (2001) recomienda, al menos, un periodo de muestreo de dos años para validar adecuadamente los resultados.

En el presente estudio, el patrón semestral de formación de la marca de crecimiento fue evidente por la coincidencia, durante abril-mayo y septiembre octubre, entre los menores porcentajes de vértebras con borde opaco y los mayores valores del incremento marginal. Este patrón de formación, coincide con

la periodicidad de las marcas de crecimiento reportadas para el tiburón martillo utilizando el incremento marginal (Anislado-Tolentino & Robinson-Mendoza, 2001) y con Anislado-Tolentino *et al.* (2008) utilizando el porcentaje de vértebras con bandas opacas.

En el presente estudio se leyeron hasta 26 marcas de crecimiento en las vértebras del tiburón martillo capturado en la costa sur de Oaxaca, 22 en machos y 26 en hembras. Las que corresponderían a 12 grupos de edad (0 a 11 años) en machos y en hembras a 14 grupos de edad (0 a 13 años). Los grupos de edad 7, 0 y 8 para machos, y 0, 3 y 1 para hembras fueron los más representativos en ese orden de importancia. Esta estructura de edad es similar a la reportada para la región costera del Pacífico (Anislado-Tolentino & Robinson-Mendoza, 2001, Anislado-Tolentino *et al.*, 2008). Anislado-Tolentino & Robinson-Mendoza (2001) y Anislado-Tolentino *et al.* (2008), determinaron la edad del tiburón martillo capturado en las costas de Michoacán y al sur de Sinaloa, respectivamente, en ambos sitios determinan una edad máxima de 12.5 años para hembras y 8 años en machos. Los grupos de edad 0 y 1 fueron los más representativos para ambos sexos. Andrade-González (1996) es el único estudio de edad y crecimiento del tiburón martillo capturado fuera de la costa, desde el sur del Golfo de California hasta el Golfo de Tehuantepec, reporta hasta 11 grupos de edad, predominando los organismos entre 5 y 9 años de edad con tallas entre 150 a 220 cm LT. Las diferencias en los grupos de edad más representativos entre los estudios con muestras recolectadas en la costa y fuera de la costa, sugieren que los tiburones juveniles y pre-adultos de ambos sexos (machos entre 130 cm y 170 cm LT, hembras entre 130 y 230 cm LT) se desplazan hacia fuera de la costa (zonas más profundas), posiblemente con fines de alimentación, hasta alcanzar la madurez y reclutarse a las zonas de reproducción (cerca de la costa). Este comportamiento explicaría la poca representación de organismos con tallas intermedias en los estudios con muestras obtenidas de la pesca artesanal la cual es básicamente cerca de la costa.

## **Estimación del crecimiento individual**

Debido a la poca representación de organismos <100 cm LT en la muestra para la descripción del crecimiento del tiburón martillo en la costa sur de Oaxaca, durante 2004-2006, se utilizó la ecuación de Fraser-Lee para estimar la talla a edades pretéritas. El empleo de esta ecuación es común en estudios de edad y crecimiento en tiburones (Lessa & Santana, 1998, Anislado-Tolentino & Robinson-Mendoza, 2001, 2008; Natanson *et al.*, 2002; Carlson *et al.*, 2003). La talla al nacimiento estimada por el modelo de crecimiento de von Bertalanffy fue de 33 cm LT para los machos y 35 cm LT para las hembras. Estas tallas se encuentran en el extremo inferior del intervalo de la talla de nacimiento reportado para la especie entre 35 y 55 cm LT (Fischer *et al.*, 1995; Alejo-Plata *et al.*, 2007; Hinojosa-Álvarez, 2007).

Los parámetros de crecimiento del tiburón martillo estimados en el presente trabajo están dentro de los reportados en la literatura (Tabla 3). En general, los parámetros de crecimiento para el tiburón martillo del Atlántico son menores a los estimados para el Pacífico. Al respecto, Branstetter (1987) comenta que esta especie crece más lento en el Atlántico que en el Pacífico.

Una adecuada estimación de la edad y de los parámetros de crecimiento es de vital importancia en la investigación pesquera, ya que constituyen herramientas valiosas para identificar la composición por la edad de las poblaciones de peces, su velocidad de crecimiento, y los grupos de edad que están sosteniendo la pesquería, lo que contribuirá al ordenamiento de su explotación y al establecimiento de una base de datos para su manejo óptimo.

Tabla 3. Resumen de los parámetros de crecimiento para el tiburón martillo reportados por diferentes autores.

Autor	Zona	Sexo	$L_{\infty}$ (cm)	K (año <sup>-1</sup> )	$t_0$ (años)	n
Holden (1974)	Reino Unido	Ambos sexos	309	0.05	-1	-
Branstetter (1987b)	Noroeste del Golfo de México	Ambos sexos	329	0.07	-2.2	23
Piercy <i>et al.</i> (2007)	Atlántico norte y Golfo de México	Machos	215	0.13	-1.6	189
		Hembras	233	0.09	-2.2	117
		Ambos sexos	220	0.12	-2.2	306
Chen <i>et al.</i> (1990)	Noroeste de Taiwán	Machos	321	0.22	-0.7	49
		Hembras	320	0.25	-0.4	276-
Andrade-González (1996)	Costa mexicana del Pacífico	Machos	393	0.09	-1.0	37
		Hembras	398	0.09	-0.6	33
		Ambos sexos	380	0.08	-0.8	70
Righety-Rojo & Castro-Morales (1990)	Mazatlán	Ambos sexos	236	0.18	-0.002	83
Anislado-Tolentino & Robinson-Mendoza (2001)	Michoacán	Machos	364	0.12	-1.1	51
		Hembras	336	0.10	-1.1	50
Anislado-Tolentino <i>et al.</i> (2008)	Sinaloa	Machos	364	0.12	-1.2	65
		Hembras	376	0.10	-1.6	44
Presente trabajo	Golfo de Tehuantepec	Machos	301	0.13	-0.74	207
		Hembras	305	0.13	-0.51	58

## VIII. CONCLUSIONES

La estructura en talla de la captura del tiburón martillo, *Sphyrna lewini*, en la costa sur de Oaxaca, durante 2004 a 2006, estuvo integrada principalmente por neonatos y juveniles.

Se identificaron 12 grupos de edad (0 a 11 años) para machos y 14 grupos de edad (0 a 13 años) para hembras. Los grupos de edad 7, 0 y 8 fueron los mejor representados en machos y los grupos de edad 0, 3 y 1 para hembras, en orden de importancia.

Los cambios mensuales del porcentaje de vértebras con borde opaco y del incremento marginal, sugieren que la formación de las marcas de crecimiento es semestral.

La relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del tiburón martillo fue de tipo potencial y significativa, indicando una proporcionalidad en el crecimiento entre ambas variables. Esta relación justificó el uso de las vértebras para estimar la talla a edades pretéritas.

Los parámetros de crecimiento calculados para el tiburón martillo fueron:  $L_{\infty}$ = 301.1 cm LT,  $k$ = 0.13,  $t_0$ = -0.74 años;  $r^2$ = 0.97, para machos y  $L_{\infty}$ = 305.3 cm LT,  $k$ = 0.13,  $t_0$ = -0.51 años,  $r^2$ = 0.96, para hembras.

La tasa absoluta de crecimiento por año fue mayor (4 cm) para las hembras que en machos durante los primeros años de vida, sin embargo las diferencias no fueron significativas. El 65% de la longitud asintótica en ambos sexos, se alcanzó entre los 7 y 8 años de edad.



## IX. LITERATURA CITADA

- Alavez-Jiménez, C. 2007. *Aspectos de la biología y pesquería de los tiburones sedoso (Carcharhinus falciformis) y pico blanco (Nasolamia velox), capturados por la flota artesanal pesquera en ensenada de Chipehua, Oaxaca, durante el periodo 2004-2005*. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar, 94 p.
- Alejo-Plata, C., S. Ramos-Carrillo & J. Cruz-Rodríguez. 2006. La pesquería artesanal del tiburón en Salina Cruz, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar*, 30:37-51.
- Alejo-Plata, C. 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.
- Andrade-González, Z. 1996. *Determinación de edad y crecimiento del tiburón martillo Sphyrna lewini (Griffith & Smith, 1834) del Pacífico mexicano mediante la lectura de sus anillos vertebrales*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara, 70 p.
- Anislado-Tolentino, V. & C. Robinson-Mendoza. 2001. Age and growth of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834), along the central Pacific coast of Mexico. *Ciencias Marinas*, 27(4):501-520.
- Anislado-Tolentino, V., M. Gallardo-Cabello, F. Amezcua-Linares & C. Robinson-Mendoza. 2008. Age and growth of the scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini*, (Griffith & Smith, 1834), from the southern coast of Sinaloa, México. *Hidrobiología*, 18(1):31-40.
- Applegate, S.P., L. Espinosa-Arrubarrena, L.B. Menchaca-López & F. Sotelo-Macías. 1993. An overview of mexican sharks fisheries, with suggestions for shark conservation in Mexico, 31-37. En: Branstetter, S. (Ed) Conservation Biology of Elasmobranchs. *NOOA Technical Report National Marine Fisheries Service*, 115 p.

- Beamish, R.J. & D.A. Fournier. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38:982–983.
- Bejarano-Alvarez, M. 2007. *Biología reproductiva del tiburón martillo Sphyrna lewini (Griffith & Smith, 1834) en Salina Cruz, Oaxaca, México*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, 74 p.
- Bonfil, S.R. 1994. Overview of world elasmobranchs fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper*, 341:1-119.
- Branstetter, S. 1987a. Age and growth validation of newborn sharks held in laboratory aquaria, with comments on the life history of the Atlantic sharpnose shark *Rhizoprionodon terraenovae*. *Copeia*, 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., J.A. Musick & J.A. Colvocoresses. 1987. A comparison of age and growth of the tiger sharks, *Galeocerdo cuvieri*, from off Virginia and from the Northwestern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin*, 85 (2):269-279.
- 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, 157–165. En: Prince E.D. & L.M. Pulos (eds). *Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Ocean Pelagic Fishes: tunas, billfishes and sharks*. NOAA, *Technical Report. National Marine Fisheries Service* 8, 211 p.
- Cailliet, G.M. & S. Tanaka 1990. Recommendations for research needed to better understand the age and growth of elasmobranchs, 505-507. En: W.S. Pratt, Jr., T. Taniuchi & S.H. Gruber (ed.) *U.S.-Japan Workshop on Elasmobranchs as Living Resources*. NOAA, *Technical Report. National Marine Fisheries Service*, 90 p.

- Cailliet, G.M. & K.J. Goldman. 2004. *Age determination and validation in chondrichthyan fishes*, 339–447. En: Carrier, J.C., J.A. Musick & M.R. Heithaus. 2004. *Biology of sharks and their relatives*. CRC Marine Biology Series New York.
- Campana, S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology*, 59:197-242.
- Campana, S.E., C. Jones, G. Macfarlane & S. Myklevoll. 2006. Bombing dating and age validation using the spines of spiny dogfish (*Squalus acanthias*). *Environmental Biology of Fishes*, 77:327-336.
- Campuzano-Caballero, J.C. 2002. *Biología y pesquería del tiburón martillo Sphyrna lewini (Griffith & Smith, 1834), en Puerto Madero, Chiapas, Estados Unidos Mexicanos*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, 196 p.
- Carlson, J.K., E. Cortes & D.M. Bethea. 2003. Life history and population dynamics of the finetooth shark *Carcharhinus isodon* in the Northeastern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin*, 101:281–292.
- Casselman, J.M. 1974. Analysis of hard tissue of pickle *Esox lucius* with special reference to age and growth, 13-27. En: Bagenal, T. (Ed.). *The ageing of fish*. Unwin Brothers. Ltd. England.
- Castillo-Géniz, J.L. 1990. *Contribución al conocimiento de la biología y pesquería del cazón bironche, Rhizoprionodon longurio (Jordan & Gilbert, 1882) del sur de Sinaloa, México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, 128 p.
- Chang, W.Y.B. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39:1208-1210.

- Chen, C.T., T.C. Leu & S.J. Joung. 1988. Reproduction in the female scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in northeastern Taiwan waters. *U.S. Fishery Bulletin*, 86(2):389-393.
- Chen, C.T., T.C. Leu, S.J. Joung & N.C. Lo. 1990. Age and growth of the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, in Northeastern Taiwan Waters. *Pacific Science*, 44(2):156-170.
- Chen, Y., D.A. Jackson & 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.
- Clarke, T.A. 1971. The ecology of the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, in Hawaii. *Pacific Science*, 25:133-144.
- Clement, J.G. 1992. Re-examination of the fine structure of endoskeletal mineralization in chondrichthyans: implications for growth, ageing and calcium homeostasis. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 43:157-181.
- Compagno, L.J. 2002. *FAO species catalogue. Vol. 4. Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2. Carcharhiniformes. FAO Fishes Synopsis*, 125 p.
- Cortés, E. 1997. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: Application to elasmobranchs fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54:726–738.
- Ehrhardt, N.M. 1981. *Curso sobre métodos de evaluación de recursos y dinámica de poblaciones. 3ª parte: Parámetros poblacionales. FAO-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas*, 134 p.
- DOF. 2004. Diario Oficial de la Federación. *Tiburón*. Segunda sección. Lunes 15 de marzo de 2004, 126 p.
- Fischer W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter & V.H. Niem. 1995. *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro-Oriental. Vol. II. Vertebrados. Parte 1*, 718 p.

- Francis, R.I. 1990. Back calculation of fish length: a critical review. *Journal of Fish Biology*, 36:883-902.
- Galván-Magaña, F., H.J. Nienhuis & A.P. Klimley. 1989. Seasonal abundance and feeding habits of sharks of the lower Gulf of California, Mexico. *California Fish and Game*, 75(2):74-84.
- Gentier, M.C. 1982. *Contribución al estudio de pesquerías marítimas con base en el Puerto de Salina Cruz, Oaxaca*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, 100 p.
- Haddon, M. 2001. *Modeling and Quantitative Methods in Fisheries*. Chapman & Hall/CRC Press, 406 p.
- Hayashi, Y. 1976. Studies on the growth of the red tilefish in the east China Sea. A foundational consideration for age determination from otoliths. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 42(11):1237–1242.
- Hinojosa-Álvarez, S. 2007. *Áreas de crianza de tiburones en Salina Cruz, Oaxaca*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, 150 p.
- Holden, M.J. 1974. Problems in the rational exploitation of elasmobranchs populations and some suggested solutions, 177-137. En: Jones, F.H. *Sea Fisheries Research*, Halsted Press. J. Wiley & Sons.
- Ishiyama, R. 1978. Reexamination of the age and growth of Raja. *Monthly Marine Science (Japan)*, 10(3):188-194.
- Klimley, A.P. 1987. The determinants of sexual segregation in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*. *Environmental Biology of Fishes*, 18(1):27-40.
- Klimley, A.P. & S.T. Brown. 1983. Stereophotography for the field biologist: measurement of lengths and three-dimensional positions of free-swimming sharks. *Marine Biology*, (74):175–185.

- Lessa, R. & F. Santana. 1998. Age determination and growth of the smalltail shark, *Carcharhinus porosus*, from northern Brazil. *Marine and Freshwater Research*, (49):705-11.
- Mendizabal-Oriza, D., R. Vélez-Marín, J.F. Márquez-Farías & S.R. Soriano-Velásquez. 2006. La pesquería oceánica de tiburones del Pacífico, 325-364. En: *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo*. INP-SEMARNAP, 544 p.
- Monreal-Gómez, M.E. & D.A. Salas de León. 1998. Dinámica y estructura termohalina, 13-26. In Tapia-García. M. (ed.). El golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México.
- Natanson, L.J., J.J. Mello & S.E. Campana. 2002. Validated age and growth of the porbeagle shark *Lamna nasus* in the western North Atlantic Ocean. *Fishery Bulletin*, 100:266–278.
- Nelson, J.S. 2006. *Fishes of the World*. Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 601 p.
- Officer, R., A. Gason, T.I. Walker & 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 Science*, 53:1765-1777.
- Officer, R.A., R.W. Day, J.G. Clement & L.P. Brown. 1997. Captive gummy sharks, *Mustelus antarcticus*, form hypermineralized bands in their vertebrae during winter. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54:2677–2683.
- Piercy, A.N. 2006. Analysis of variability in vertebral morphology and growth ring counts in two Carcharhinid sharks. *Environmental Biology of Fishes*, 77:401-406.

- Piercy, A.N., J.K. Carlson & J.A. Sulikowski. 2007. Age and growth of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in the north- west Atlantic Ocean and Gulf of Mexico. *Marine and Freshwater Research*, 58:34-40.
- Ricker, W.E. 1975. Computational and interpretation of biological statistics of fish populations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 191:1–382.
- Righetty-Rojo, B. & F.J. Castro-Morales. 1990. *Estudio de algunos aspectos biológicos del tiburón en la región de Mazatlán, Sinaloa*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Sinaloa, 77 p.
- SAGARPA. 2008. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 212 p.
- Schwartz, F.J. 1983. Shark ageing methods and age estimation of scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, and dusky, *Carcharhinus obscurus*, sharks based on vertebral ring counts. *NOAA Technical Report. National Marine Fisheries Service* 8, 167-174.
- Simkiss, K. 1974. Calcium metabolism of fish in relation to ageing, 1–12. En: Bagenal, J.B. (Ed.) *The ageing of fish*. Unwin Brothers.
- Sokal, R. & F. Rohlf. 1981. *Biometry*. 2<sup>nd</sup> ed. W.H. Freeman and Company. New York, 859 p.
- Stumpf, H.G. 1975. Satellite detection of upwelling in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Journal of Physical Oceanography*, 5:383-388.
- Tanaka, S. & 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.
- Torres-Huerta, A.M. 1999. *Distribución, abundancia y hábitos alimentarios de juveniles del tiburón martillo Sphyrna lewini (Griffith & Smith, 1834) (Sphyrnidae) en la costa de Sinaloa. México durante el evento El Niño 1997-98*. Tesis de Maestría. Universidad del Mar, 99 p.

- Tovar-Ávila, J., C.J. Izzo, T.I. Walker, M. Braccini & R.W. Day. 2009. Assessing growth band counts from vertebrae and dorsal-fin spines for ageing sharks: comparison of four methods applied to *Heterodontus portusjacksoni*. *Marine and Freshwater Research*, 60:898–903.
- Walker, T.I. 1998. Can sharks resources be harvested sustainable? A question revisited with a review of shark fisheries. *Marine and Freshwater Research, CSIRO*, 49(7):553-72.
- Wourms, J.P., B.D. Grove & J. Lombardi. 1988. *The maternal-embryonic relationship in viviparous fishes*, 1–134. En. Hoar W.S & D.J. Randall. (Eds). *Fish Physiology*, Vol. 1, Part B. Academic. Press. New York.
- Yudin, K.G. & G.M. Cailliet. 1990. Age and growth of the gray smoothhound, *Mustelus californicus*, and the brown smoothhound, *M. henlei*, sharks from central California. *Copeia*, (1):191–204.
- Zar, J.H. 1999. *Bioestatistical analysis*. 4<sup>th</sup> ed. Prentice Hall, Inc, 929 p.
- Zarate-Rustrián, J. 2002. *Biología y pesquería del tiburón martillo, Sphyrna lewini (Griffith & Smith, 1834) de las aguas costeras del Golfo de México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, 69 p.



## X. ANEXO

### Clasificación taxonómica de *Sphyrna lewini* (Nelson, 2006).

<b>Phylum:</b>	Chordata
<b>Subphylum:</b>	Vertebrata
<b>Superclase:</b>	Gnatostomata
<b>Clase:</b>	Chondrichthyes
<b>Subclase:</b>	Elasmobranchii
<b>Infraclase:</b>	Euselachii
<b>División:</b>	Neoselachii
<b>Subdivisión:</b>	Selachii
<b>Superorden:</b>	Galeomorphi
<b>Orden:</b>	Carcharhiniformes
<b>Familia:</b>	Sphyrnidae
<b>Género:</b>	<i>Sphyrna</i>
<b>Especie:</b>	<i>lewini</i>

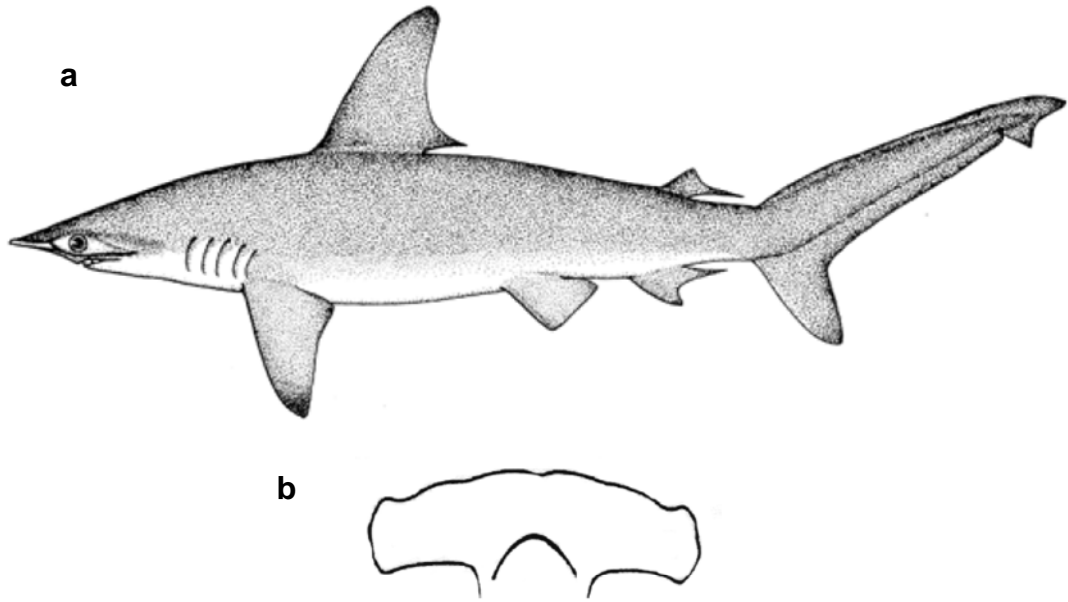
El tiburón martillo *S. lewini* tiene un cuerpo alargado y comprimido lateralmente, la cabeza en forma de martillo, con el borde anterior formando un arco amplio en los juveniles y estrecho en los adultos y cuatro lóbulos frontales. Posee expansiones laterales de la cabeza por delante de las hendiduras branquiales, muy prominentes, anchas transversalmente y angostas en sentido antero-posterior; surcos prenariales bien desarrollados por delante de las narinas (orificios nasales); borde posterior del ojo situado casi ligeramente por delante de la sínfisis superior de la boca. La boca es amplia y arqueada. Los dientes anteriores presentan cúspides moderadamente largas, levemente aserradas y los dientes posteriores son cuspidados, sin quillas y molariformes.

La primera aleta dorsal es alta y falciforme, la segunda dorsal es baja, menor que la altura de la anal, con un margen levemente cóncavo. Las aletas

pectorales son cortas y anchas y las aletas pélvicas casi rectas. La coloración del dorso es gris marrón y el vientre es blanco. La región ventral de las puntas de las aletas pectorales es de color gris o negro. El total de vértebras es de 174 a 209. La talla máxima registrada es de 420 cm LT, siendo el promedio de 360 cm LT (Fischer *et al.*, 1995).

Son organismos vivíparos y presentan un saco vitelino. El periodo de gestación varía entre 10 y 12 meses y el número de crías que nacen es de 15 a 31 (Branstteter, 1987; Torres-Huerta, 1999). La talla al nacer es de 38 a 55 cm LT y el alumbramiento se lleva a cabo en áreas de crianza cercanas a la costa. La talla de madurez sexual para machos oscila entre 140 y 180 cm LT y en las hembras entre 180 y 212 cm LT (Compagno, 1984, Fischer *et al.*, 1995).

Su alimentación se basa en una amplia variedad de peces, crustáceos y moluscos, principalmente calamares (Fischer *et al.*, 1995). Esta especie se considera pelágico-costera ya que se les encuentra en la cercanía de las playas, deltas de ríos y estuarios y alcanza profundidades hasta de 275 m. Los neonatos y juveniles se encuentran en áreas costeras protegidas donde residen desde un año o más. Algunas poblaciones son migratorias y otras residentes, comúnmente forma cardúmenes. Su distribución es circumglobal en aguas costeras cálidas y mares tropicales. En el Atlántico sudoccidental se encuentra desde New Jersey (EUA) a Uruguay, incluyendo el Golfo de México y el Caribe. En el Atlántico sudoriental desde el Mediterráneo a Namibia. En el Indo-Pacífico, del Mar Rojo, este de África. En el Océano Índico de Japón a Nueva Caledonia. En el Océano Pacífico Oriental comprende desde el sur de California hasta Ecuador y posiblemente hasta el norte de Perú (Fischer *et al.*, 1995; Compagno, 1984).



Vista lateral del cuerpo (a) y vista ventral de la cabeza (b) del tiburón martillo *S. lewini*.