INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

IPN-CICIMAR

EDAD Y CRECIMIENTO DEL TIBURÓN MAKO, *Isurus oxyrinchus* (RAFINESQUE, 1810), CAPTURADO EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO.

Tesis que Para Obtener el Grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Con Especialidad en Manejo de Recursos Marinos

PRESENTA:

MARÍA CONSTANZA RIBOT CARBALLAL

La Paz, Baja California Sur, México.

Diciembre 2003

CGPI-14

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 14:00 horas del día 12 del mes de Noviembre del 2003 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 de grado titulada:

"EDAD Y CRECIMIENTO DEL TIBURÓN MAKO, *Isurus oxyrinchus* (Rafinesque, 1810), CAPTURADO EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

Presentada por el alumno:

RIBOT	CARBALLAL	MARIA CONSTANZA
Apellido paterno	materno	nombre(s)

Con registro: | A | 0 | 2 | 0 | 0 | 9 | 1 |

Aspirante al grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL

MC. ROBERTO FÉLIX URAGA

PRESIDENTE

DR. JUAN FÉLIX ELORDUY GARAY

SECRETARIO

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

Co-Director de tesis
SEGUNDO VOCAL

DR. CASIMIRO QUIÑONEZ VELAZQUEZ

TERCER VOCAL

DR. OSCAR SOSA NISHIZAKI

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. FRANCISCO ARREGUIN SANCHEZ

I. P. N.
CICIMAR
DIRECCION

DEDICATORIA

A mis Padres por el enorme apoyo y cariño

A mis abuelos por todo su amor

A Roberto por estar siempre a mi lado y por hacerme tan feliz

AGRADECIMIENTOS

A Roberto por todos los consejos y críticas constructivas que fueron de una inmensa ayuda para la finalización de este trabajo.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico para llevar a cabo este trabajo

Al Dr. Felipe Galván Magaña por estar ahí siempre cuando lo necesite, por creer en mi y animarme a seguir adelante.

Al M. en C. Roberto Félix Uraga, Dr. Casimiro Quiñónez Velásquez, Dr Felipe Galván Magaña, Dr. Oscar Sosa Nishizaki, Dr. Juan Félix Elorduy Garay, por sus valiosos consejos y aportaciones en la realización de este trabajo

Al M. en C. Felipe Neri Melo por toda la ayuda que me brindó durante el procesamiento de las muestras y sobretodo por la gran paciencia que me tuvo.

A todas las personas del laboratorio de ecología pesquera del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) por su gran ayuda durante mi estancia en esa ciudad.

A Iris por darme asilo en su casa en Ensenada, por su gran amistad y por hacer de mi estancia allá un momento inolvidable.

A mis amigos Heidi, Claudia, Fer y Mau por haber compartido los mejores y peores momentos, por que nunca me fallaron y siempre me dieron lo mejor.

A todas las personas que contribuyeron de alguna manera al desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS III

ÍNDICE DE TABLAS IV

GLOSARIO V

RESUMEN VI

ABSTRACT VII

INTRODUCCIÓN 1

ANTECEDENTES 6

Descripción de *Isurus oxyrinchus* 6

Distribución de *Isurus oxyrinchus* 7

Estudios de edad y crecimiento en elasmobranquios 8

ZONA DE ESTUDIO 11

OBJETIVOS 14

Objetivo general 14

Objetivos particulares 14

MATERIAL Y MÉTODOS 14

Trabajo de campo 14

Trabajo de laboratorio 15

Procesamiento de datos 16

Estructura de tallas 16

Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del organismo 17

Lectura de marcas de crecimiento en las vértebras 17

Validación de la edad 18
Estructura de edades 18
Curva de crecimiento 18
RESULTADOS 20
Estructura de tallas 20
Distribución mensual de tallas 21
Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del organismo 23
Lecturas de marcas de crecimiento en las vértebras 25
Validación de la edad 28
Estructura de edades 29
Distribución mensual de grupos de edad 32
Curva de crecimiento 34
DISCUSIÓN 36
Estructura de tallas 36
Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del organismo 37
Lecturas de marcas de crecimiento en las vértebras 38
Validación de la edad 41
Estructura de edades 43
Distribución mensual de tallas y grupos de edad 44
Curva de crecimiento 45
CONCLUSIONES 50
LITERATURA CITADA 51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Tiburón mako, *Isurus oxyrinchus*. 6

Figura 2.- Distribución del tiburón mako, *Isurus oxyrinchus*. 8

Figura 3.- Zona de estudio y localidades de muestreo. 11

Figura 4.- Morfometría y zona de extracción de las vértebras. 14

Figura 5.- Técnicas utilizadas para resaltar las marcas de crecimiento en las vértebras. 16

Figura 6.- Estructura de tallas de machos y hembras. 21

Figura 7.- Estructura de tallas de sexos combinados. 23

Figura 8.- Distribución mensual de tallas de tiburón mako durante un año tipo. 24

Figura 9.- Relación entre el radio de la vértebra (RV) y la longitud total (LT). 25

Figura 10.- Vértebra de tiburón mako de 176 cm LT: a) sin teñir; b) teñida con nitrato de plata. 26

Figura 11.- Identificación de marcas de crecimiento en las vértebras del tiburón mako. 27

Figura 12.- Precisión de las lecturas de vértebras de tiburón mako. 28

Figura 13.- Distribución temporal de los tipos de borde de las vértebras del tiburón mako, durante un año tipo (n=109) y promedio mensual de la temperatura superficial del mar durante 2000 y 2001. 29

Figura 14.- Estructura de edades de hembras y machos. 31

Figura 15.- Estructura de edades de sexos combinados. 32

Figura 16.- Distribución mensual de grupos de edad de tiburón mako durante un año tipo. 33

Figura 17.- Curva de crecimiento del tiburón mako para sexos combinados..... 34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Número de organismos registrados, intervalos de tallas y vértebras colectadas por mes, durante el período 2000-2003. 22

Tabla 2.- Resultados de las pruebas de elevaciones y pendientes para las relaciones entre el radio de la vértebra y LT de machos y hembras..... 25

Tabla 3.- Frecuencia absoluta de vértebras con bordes claros y oscuros durante el año..... 29

Tabla 4.- Intervalos de edad estimados por mes para machos, hembras y organismos no identificados (NI) durante el período 2000-2003. 30

Tabla 5.- Valores de LT_t (cm), crecimiento neto anual (cm) y porcentaje de L_∞ alcanzado al año, estimados a partir del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para el tiburón mako en el período 2000-2003. 35

Tabla 6.- Clave edad-longitud para *Isurus oxyrinchus*..... 63

GLOSARIO

Anillo. Marca concéntrica angosta presente en una estructura.

Banda. Marca concéntrica ancha presente en una estructura, compuesta de grupos de anillos.

Grupo de edad. Conjunto de organismos con el mismo número de marcas de crecimiento.

Marca de crecimiento. Marca concéntrica presente en una estructura conformada por un par de bandas, y que permite interpretar la edad de un organismo.

Mixopterigios. Apéndices copuladores presentes en los elasmobranquios machos.

Precisión. Reproducibilidad de las lecturas de las marcas de crecimiento en la misma vértebra.

Radio total. Distancia del centro de la vértebra al extremo inferior de la misma.

Validación. Confirmación de la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento en las estructuras.

RESUMEN

Se estimó la edad y se describió el crecimiento del tiburón mako, *Isurus oxyrinchus,* a través de las marcas de crecimiento depositadas en las vértebras de 109 organismos capturados en tres campamentos pesqueros de Baja California Sur, México, durante agosto de 2000 a marzo de 2003. El intervalo de tallas varió de 77 cm a 290 cm de longitud total (LT). La relación encontrada entre el radio de la vértebra y LT de los organismos fue rectilínea ($r^2 = 0.91$) indicando que ambas variables crecen proporcionalmente; se justifica así la utilización de la vértebra para la determinación de la edad. La técnica utilizada para resaltar las marcas de crecimiento fue el tratamiento con nitrato de plata. La estructura de edades estuvo representada por 18 grupos de edad, siendo más frecuentes los organismos de 1 a 5 años. La periodicidad de formación de las marcas de crecimiento fue determinada a través del porcentaje mensual de tipo de borde de la estructura, encontrando que una marca de crecimiento se deposita de forma periódica y anual. El crecimiento de la especie fue descrito a través del modelo de von Bertalanffy, obteniendo los siguientes parámetros para sexos combinados: $L_\infty = 411$ cm, $k = 0.05$ año^{-1} y $t_0 = -4.7$ años. Los resultados sugieren que el tiburón mako presenta un crecimiento lento comparado con otras especies de tiburones. Esta característica, aunada a la fecundidad baja y reproducción tardía que presentan estos organismos, hace del tiburón mako una especie altamente susceptible a la sobreexplotación.

ABSTRACT

Age and growth of shortfin mako, *Isurus oxyrinchus*, were estimated using the number of growth marks on 109 vertebrae from 219 organisms sampled. The sharks were caught off the western coast of Baja California Sur, Mexico, since 2000 to 2003. Specimens ranged from 77 cm to 290 cm in total length (TL). A significant linear relationship ($r^2 = 0.91$) was found between the vertebrae radius and TL, showing a proportional growth between the structure and body length and demonstrating that the structure is a good indicator of age. The technique used for enhancing the contrast of the calcified bands was silver nitrate impregnation. The periodicity of growth mark formation was determined by the monthly frequency of clear and dark edges of the vertebrae, founding that one growth mark is deposited annually. The estimated age ranged from 0 to 18 years old, being predominant the organisms from 1 to 5 years old. Marks on vertebrae and TL data were used to describe the shortfin mako body growth using the von Bertalanffy model. Estimates of the curve parameters for the sexes combined were: $L\infty = 411$ cm, $k = 0.05$ year^{-1}, $t_0 = -4.7$ years. Results suggests that shortfin mako shark has slower growth than other shark species, which combined with other life-history traits such as a low fecundity and delayed reproduction, makes this species highly susceptible to overfishing.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una creciente preocupación acerca del estado de las poblaciones de tiburones alrededor del mundo ya que se ha registrado una disminución de las capturas de elasmobranquios debido a la sobrepesca de organismos adultos y juveniles (Baum *et al.*, 2003).

De las 350 especies de elasmobranquios existentes en el mundo, alrededor de 100 se han observado en aguas de México (Applegate *et al.*, 1979) y con base en las capturas comerciales de tiburón se ha determinado que 40 especies son explotadas en ambos litorales (Castillo, 1992).

México es el principal país de América en captura de tiburón (Bonfil, 1994) y a nivel mundial ocupa el séptimo lugar, contribuyendo con el 4.6 % de la producción (INP, 2000). A nivel nacional, la captura de elasmobranquios es una actividad que representa el 2.4 % de las pesquerías (Villavicencio, 1996), con un promedio de 33,000 t anuales (INP, 2000). En Baja California Sur, la captura de elasmobranquios es ligeramente mayor y representa el 3.5 % de la producción pesquera (Villavicencio, 1996), siendo el estado más importante del Pacífico en la captura de tiburón ya que aporta el 28 % de la producción de este litoral (INP, 2000). De acuerdo con los registros de producción pesquera, en Baja California Sur el volumen de captura promedio en los últimos años ha sido de 3,500 t de tiburón (INP, 2000).

La pesca del tiburón en las costas de México constituye fundamentalmente una pesquería artesanal ribereña multiespecífica. Sin embargo, al norte del país, una gran cantidad de tiburones se capturan mediante cañas de pesca en embarcaciones de pesca deportiva. Además, diversas especies de tiburones son capturadas incidentalmente en las redes camaroneras y en las redes destinadas a las especies de escama (Castillo, 1992).

A pesar de su importancia como recurso, en México existe poco conocimiento sobre la biología y la situación pesquera de las especies de tiburones (Villavicencio, 1997). La información sobre los tiburones es, en la mayoría de las ocasiones, de carácter general (Compagno, 1984) y salvo en algunas ocasiones se han abordado aspectos de su biología y pesquería (Galván *et al*., 1989). La mayoría de los tiburones tiene una combinación inusual de características biológicas como: crecimiento lento, madurez tardía, largos ciclos reproductivos, fecundidad baja y largos períodos de vida. Estos factores determinan el bajo potencial reproductivo de muchas especies de tiburones (Castro *et al.*, 1999) y los sitúan como organismos altamente susceptibles a la sobreexplotación (Castillo, 1992).

Una de las especies más importantes de tiburones en la pesca comercial y deportiva es el tiburón mako, *Isurus oxyrinchus* (Heist *et al.*, 1996), el cual también es capturado incidentalmente en la pesquería de pez espada y de atún (Mollet *et al.*, 2000). Este tiburón se captura con redes de enmalle, palangres flotantes y con líneas y anzuelos (Fischer *et al.*, 1995). Recientemente la carne del tiburón mako ha incrementado su demanda. En Asia, sobre todo en Japón, es considerado un manjar y en el mercado alcanza precios elevados semejantes a los del pez espada (10 USD/kg) (Watts, 2001).

Existe muy poca información sobre esta especie y los pocos datos disponibles sugieren una disminución sustancial de la población (Castro *et al.*, 1999). La pesquería de tiburón mako en la costa oeste de Estados Unidos ha declinado significativamente: de 270 t en 1987 a 70 t en 1994 (Holts *et al*., 1996). Así mismo, en el Atlántico Norte, existe evidencia que desde 1986 la pesquería del tiburón mako ha presentado un clara disminución (Cramer, 1996). Debido a que es común que la especie sea capturada en las pesquerías de pez espada y atún, las cuales están ampliamente extendidas, es razonable asumir que decrementos similares ocurren en las áreas para las cuales no hay datos (Castro *et al.*, 1999). La falta de información biológica, como son los datos sobre edad y crecimiento de los organismos contribuye a que no sea posible diseñar medidas de manejo para la pesquería de este tiburón (Hoff y Musick, 1990).

El proceso comúnmente utilizado para la determinación de edad comprende la interpretación detallada de las estructuras duras. En este proceso, la edad es estimada descifrando los patrones de crecimiento registrados en el tejido calcificado, el cual refleja la variación estacional del crecimiento somático. La interpretación de la estructura comienza en el origen y continúa por toda la región hasta el borde. Las estructuras calcificadas pueden ser preparadas, tratadas y examinadas a través de varias técnicas (Weatherley y Gill, 1987).

Los mecanismos fisiológicos específicos que causan la formación de las bandas de crecimiento están pobremente entendidos, y los estudios sobre este tema son pocos. Sin embargo, la mayoría de los factores que están asociados con la reducción en el crecimiento somático han sido identificados (temperatura baja, falta de alimento, actividad

reproductora, etc). Un entendimiento completo de los mecanismos de la formación de las bandas de crecimiento no es tan esencial para la determinación de la edad, como lo es el poder demostrar que el tejido calcificado es depositado periódicamente y que puede ser identificado en todos los miembros de la población (Weatherley y Gill, 1987).

Muchos de los métodos de determinación de edad usados en peces óseos no son aplicables a elasmobranquios debido a que las estructuras duras difieren entre ambos grupos. Existen evidencias de que las marcas de crecimiento depositadas en las vértebras son adecuadas para la determinación de la edad en tiburones y los patrones de calcificación pueden variar considerablemente entre las especies (Applegate, 1967).

Las zonas o marcas de crecimiento en las vértebras son el resultado de dos tipos de marcas concéntricas: los anillos que son marcas concéntricas angostas y las bandas que son marcas concéntricas anchas compuestas por grupos de anillos (Cailliet *et al.,* 1983a).

Para asumir que las vértebras son buenos indicadores de la edad, hay tres supuestos que deben cumplirse:

1. El crecimiento del esqueleto cartilaginoso calcificado ocurre por un proceso de incorporación de minerales y no hay indicaciones de remoción o reabsorción.
2. El incremento corporal está asociado con un aumento en el tamaño de las vértebras, y
3. Los patrones de bandas visibles son el resultado de densidades distintas, las cuales se deben a diferencias en la mineralización que ocurre durante distintas fases del crecimiento (Cailliet *et al*., 1983a).

Las tallas de los individuos y las edades estimadas a partir de estructuras calcificadas son a menudo combinadas para describir el crecimiento (Weatherley y Gill, 1987). La tasa de crecimiento es un componente crítico de la estrategia de vida en todas las especies. La tasa de crecimiento puede definir el tamaño o edad de madurez, la talla y edad máxima y el potencial de reproducción (Musick, 1999). El crecimiento puede definirse en términos cuantitativos de varias maneras, pero las más utilizadas son los modelos matemáticos de von Bertalanffy, Gompertz y Logístico. El modelo de von Bertalanffy es el más aplicado ya que ha sido muy eficiente para describir el crecimiento de la mayoría de los peces. Entre los parámetros de este modelo, el coeficiente de crecimiento k es especialmente útil para la comparación de las estrategias de historias de vida (Musick, 1999).

ANTECEDENTES

Descripción de *Isurus oxyrinchus*

El tiburón *Isurus oxyrinchus*, llamado comúnmente mako (Fig. 1), presenta en promedio un tamaño de 180 cm a 250 cm de longitud total (LT) y un peso de 60 kg a 135 kg. Las hembras pueden alcanzar 380 cm LT y un peso de 570 kg (Castro, 1983). La longitud máxima reportada es de 396 cm LT (Bigelow y Schroeder, 1948; Roedel y Ripley, 1950).

Figura 1.- Tiburón mako, *Isurus oxyrinchus*.

Esta especie se encuentra en el nivel superior de la cadena alimentaria. Los tiburones mako tienden a alimentarse de peces en cardúmenes y cefalópodos. La anchoveta es el principal alimento cerca de la costa, mientras que en aguas oceánicas los cefalópodos adquieren mayor importancia. Los grandes especímenes pueden alimentarse de presas mayores como peces espada y atunes (Stillwell y Kohler, 1982).

El tiburón mako mantiene una temperatura muscular elevada de 7 ºC a 10 ºC por encima de la temperatura del agua, lo cual se ve reflejado en su eficiencia al nadar, alcanzando velocidades de hasta 60 km/h (Carey y Teal, 1969).

Los machos maduran al alcanzar los 180 cm LT, lo cual corresponde a una edad estimada de 7-8 años (Cailliet *et al*., 1983b; Mollet *et al.*, 2000). Aparentemente, las hembras maduran a una talla mayor que los machos (270-280 cm LT) (Cliff *et al*., 1990). Su desarrollo embrionario es vivíparo aplacentado. El período de gestación probablemente dura entre 15 y 18 meses (Mollet *et al.*, 2000) y las crías tienen 70 cm LT, en promedio, al momento de nacer (Stevens, 1983). Se cree que el tiburón mako presenta un ciclo reproductivo de 2 a 3 años lo que significa un período de descanso de 18 meses (Mollet *et al.*, 2000) y solo de 2 a 3 períodos de gravidez en toda la vida de la hembra (Pratt y Casey, 1983). La época en la que este tiburón tiene a sus crías abarca desde invierno hasta mediados de primavera en ambos hemisferios (Mollet *et al.*, 2000). Como muchas otras especies de tiburones, la baja fecundidad de este tiburón lo hace susceptible a la sobrepesca (Mollet *et al.*, 2000) ya que el mako tiene una descendencia de 2 a 4 crías (máximo 16) por camada, y el reemplazo de los organismos capturados es muy lento (Heist *et al.*, 1996).

Distribución de *Isurus oxyrinchus*

El tiburón mako es una especie pelágica con una distribución mundial en mares tropicales y templados (Fig. 2) (Garrick, 1967). En el océano Pacífico Oriental se distribuye desde Chile hasta el río Columbia en EE.UU., incluyendo el Golfo de California (Miller y Lea, 1976). Los estudios de marcado en esta especie han documentado movimientos mayores a 1000 km. Compagno (1984) reportó que el mako tiende a migrar hacia latitudes altas durante los meses cálidos. Casey y Kohler (1992) propusieron que algunos organismos pueden hacer un circuito migratorio completo en el Atlántico Norte, iniciando en primavera en las zonas más al norte, hacia el Caribe y Golfo de México en invierno. Esta ruta corresponde con la abundancia de alimento y preferencias de la temperatura del agua para la especie.

Figura 2.- Distribución del tiburón mako, *Isurus oxyrinchus*.

Ciertos estudios han demostrado que el tiburón mako prefiere aguas entre 14 °C y 22 °C. La complejidad de la estructura termal que presenta el océano Pacífico permite que este tiburón realice movimientos transecuatoriales, los cuales no realiza en el océano Atlántico donde se presenta una estructura termal más homogénea (Heist *et al.*, 1996).

Estudios de edad y crecimiento en elasmobranquios

Los estudios de determinación de edad comenzaron a finales del siglo XVII en peces óseos, analizando los anillos de crecimiento en una variedad de estructuras esqueléticas como escamas, espinas, otolitos, huesos de la cabeza, o vértebras (Schwartz, 1983). Sin embargo, las marcas de crecimiento en las vértebras de tiburones fueron descritas hasta 1921 por Ridewood, y casi 30 años después Haskell (1949) sugirió que estas marcas podían ser utilizadas para la determinación de la edad de estos organismos.

Actualmente, para determinar la edad en tiburones generalmente se analizan las marcas de crecimiento depositadas en las vértebras, las cuales están compuestas de una banda clara y

una banda oscura. La mayoría de los estudios sobre edad y crecimiento de estos organismos, indican que anualmente se forman una banda oscura (calcificada) y una clara (menos calcificada) en la estructura (Branstetter *et al.*, 1987). Contrario a esto, ciertas especies pueden producir dos pares de bandas anualmente (Parker y Stott, 1965; Pratt y Casey, 1983).

Pratt y Casey (1983) estimaron la edad de tiburones mako del Atlántico Norte a través de conteo de marcas de crecimiento en las vértebras teñidas con nitrato de plata, y reportaron los parámetros de crecimiento. La hembra de mayor edad en su muestra fue de 11.5 años con 328 cm de longitud furcal (LF). El macho de mayor edad fue de 4.5 años con 225 cm LF. La constante de crecimiento estimada con el modelo de von Bertalanffy fue de 0.26 año^{-1} para machos y 0.20 año^{-1} para hembras, mientras que la L_∞ fue de 302 cm LF para machos y de 345 cm LF para hembras. Estos autores consideraron que anualmente se formaban dos pares de bandas de crecimiento en las vértebras.

En el mismo año, Cailliet *et al*. (1983b) trabajaron con el tiburón mako del Pacífico utilizando rayos X para ver las marcas de crecimiento en las vértebras. Ellos consideraron cada par de bandas de crecimiento como un evento anual, estimando una edad de 17 años al organismo más grande de la muestra (321 cm LT) y obteniendo una constante de crecimiento de 0.07 año^{-1} y una L_∞ de 320 cm LT, para sexos combinados, con el modelo de von Bertalanffy

Recientemente, Campana *et al.* (2002), a través de una bomba de radiocarbono, comprobaron que un solo par de bandas es depositado al año en las vértebras del tiburón

mako. Sin embargo su investigación solo fue llevada a cabo con un solo ejemplar, sugiriendo que es necesario realizar trabajos posteriores para una mayor veracidad. La técnica de la bomba de radiocarbono se basa en que a partir de las pruebas de bombas atómicas en los años 50 y 60, el C^{14} mostró un fuerte incremento en los océanos de todo el mundo, el cual se vio reflejado en las estructuras calcificadas de los organismos marinos sirviendo como un marcador de este período en los estudios de determinación de edad.

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se localiza en la costa occidental de Baja California Sur y los muestreos fueron realizados en los campamentos pesqueros de Punta Belcher, Punta Lobos y Las Barrancas (Fig. 3). El estado de Baja California Sur ocupa la porción sur de la Península de Baja California (PBC), en una longitud de 750 km, con una anchura promedio de 100 km y 2,200 km de litoral (De la Lanza, 1991).

Figura 3.- Zona de estudio y localidades de muestreo.

La costa occidental de la PBC presenta características oceanográficas muy particulares originadas por la corriente de California, la contracorriente Meridional e intensas surgencias a lo largo de la costa (Gómez y Vélez, 1982).

Las características de la corriente de California (baja salinidad y baja temperatura) predominan en la zona de estudio. Sin embargo, cerca de la costa pueden alterarse debido a surgencias y contraflujos (Gómez y Vélez, 1982). La corriente de California sigue una dirección paralela a la costa hasta alcanzar la parte extrema de la PBC, donde se mezcla con masas de agua del océano Pacífico Ecuatorial y del Golfo de California, transformándose en parte de las aguas de la corriente Norecuatorial (Parés Sierra *et al.*, 1997).

Frente a la península, el flujo de la corriente de California se incrementa en invierno; posteriormente, en verano, ante el debilitamiento de los vientos septentrionales se incrementa una contracorriente costera, llamada corriente de Davidson, que circula en dirección norte (Gulland, 1971; Robles-Gil, 1985). En verano y otoño, la corriente de California se desplaza lentamente hacia el sur, pero mar adentro (Wyrtki, 1965), y se incrementa la influencia de la corriente de Davidson. En primavera, la corriente de California fluye próxima a la costa, reduciendo al mínimo la contracorriente superficial de Davidson (Wyllie, 1966), y condiciona la aparición de surgencias a lo largo de la costa (Walsh *et al.*, 1974). Las surgencias consisten en el movimiento hacia la superficie de las aguas más profundas y por tanto, más frías y ricas en nutrientes. Estos eventos son frecuentes en la costa de la PBC. En la zona de estudio, el máximo desarrollo de surgencias se presenta en primavera, asociado a temperaturas y salinidades menores con respecto al promedio anual (Gómez y Vélez, 1982).

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la edad y describir el crecimiento del tiburón mako, *Isurus oxyrinchus*, capturado en la costa occidental de Baja California Sur, México.

Objetivos particulares

- Describir la estructura de tallas.
- Obtener la relación entre el radio de la vértebra y longitud total del organismo.
- Determinar la periodicidad de la formación de las marcas de crecimiento en las vértebras.
- Describir la estructura de edades.
- Estimar los parámetros de crecimiento de la ecuación de von Bertalanffy para la especie.

MATERIAL Y MÉTODOS

Trabajo de campo

Los muestreos se realizaron mensualmente en tres campamentos pesqueros (Punta Lobos, Punta Belcher y Las Barrancas) localizados en la costa occidental de Baja California Sur, México, desde agosto de 2000 hasta marzo de 2003. De los organismos desembarcados se midió la longitud total (LT) con una cinta métrica graduada en centímetros y se registró el sexo de los organismos, el cual fue identificado por la presencia (machos) o ausencia (hembras) de los mixopterigios. Las vértebras se extrajeron de la parte anterior de la columna vertebral (Fig. 4) con ayuda de un cuchillo y se colocaron en bolsas de plástico debidamente etiquetadas, manteniéndolas en hielo y, una vez en el laboratorio se congelaron a –20 °C.

Figura 4.- Morfometría y zona de extracción de las vértebras.

Trabajo de laboratorio

Para el procesamiento de las muestras las vértebras fueron descongeladas y se limpiaron removiendo el arco neural, el arco hemal y el tejido conjuntivo con ayuda de un cuchillo y pinzas. Luego se realizó una limpieza minuciosa bajo un microscopio de disección para eliminar el tejido que era imperceptible a simple vista. Antes de comenzar con el tratamiento de las muestras se aplicaron tres técnicas (tinción con rojo de alizarina, cortes longitudinales de la vértebra y tratamiento con nitrato de plata) para definir cuál era la más eficiente en el resaltamiento de las marcas de crecimiento (Fig.5).

La tinción con rojo de alizarina se realizó sumergiendo la estructura en una solución acuosa de rojo de alizarina y NaOH 0.1% en una proporción 1:9 (Gruber y Stout, 1983). El tiempo de inmersión varió dependiendo del tamaño de la estructura pero aproximadamente en estructuras pequeñas fue de 2 a 5 horas mientras que en las estructuras más grandes fue de casi 12 horas.

Los cortes longitudinales de las vértebras se realizaron con una cortadora Buehler, modelo Isomet, variando el grosor entre 0.3 mm y 0.5 mm. Los cortes se montaron en portaobjetos de vidrio, se cubrieron con resina Cytoseal XYL (Cailliet *et al.*, 1983a) y fueron observados con luz trasmitida a través de un microscopio de disección.

Para llevar a cabo la técnica de nitrato de plata, en algunos casos se utilizó papel de lija fino para eliminar asperezas en las vértebras que dificultaran la tinción. Una vez que se encontraban perfectamente libres de tejido, las vértebras se colocaron en una solución de nitrato de plata al 1%, por 5 minutos aproximadamente, hasta obtener una coloración amarillenta. Posteriormente fueron expuestas a una fuente de luz ultravioleta hasta hacer

evidentes las bandas de crecimiento. El tiempo de exposición varió entre 3 y 15 minutos, dependiendo del tamaño de la vértebra, e inmediatamente se enjuagaron en agua destilada y en una solución de tiosulfato de sodio al 5%, por 2 minutos, para eliminar los excedentes de plata y fijar la tinción. Las vértebras teñidas fueron almacenadas individualmente en recipientes de plástico con alcohol etílico al 70%. Este proceso es una modificación de la técnica de Stevens (1975), donde básicamente se produce el reemplazo de las sales de calcio en la vértebra por la plata, produciendo bandas con diferentes impregnaciones. Después de la exposición a la luz ultravioleta, las marcas de crecimiento se oscurecen debido a que la plata es reducida a plata metálica. Las bandas más calcificadas se tornan más oscuras que las menos calcificadas.

Figura 5.- Técnicas utilizadas para resaltar las marcas de crecimiento en las vértebras.

Procesamiento de datos

Estructura de tallas

La estructura de tallas se obtuvo agrupando los datos en intervalos de 10 cm. Por medio de la prueba de Shapiro-Wilk`s se determinó que no existía normalidad en la distribución de los datos ($p<0.05$), por lo que las estructuras de talla para machos y hembras fueron

comparadas a través de una prueba no paramétrica (Kolmogorov-Smirnov) con un nivel de confianza del 95 %.

Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del organismo

Utilizando un equipo video digitalizador se capturaron las imágenes de las vértebras. Sobre las imágenes se midió el radio total (RV) de la vértebra, desde el foco u origen al margen, con la ayuda del software Sigma Scan Pro 4.0. Con las medidas de los radios de las vértebras y las tallas de los organismos se estableció la relación que existe entre el crecimiento de la estructura (vértebra) y la longitud corporal. Las relaciones encontradas para machos y hembras fueron comparadas a través de una prueba de pendientes y elevaciones, mediante el estadístico "t" de Student.

Lectura de marcas de crecimiento en las vértebras

La lectura de las marcas de crecimiento se realizó a través de un microscopio de baja resolución (16x), sin conocer las tallas de los organismos a los cuales pertenecían las vértebras. Una marca de crecimiento fue definida como el conjunto de una banda clara y una banda oscura. Las lecturas fueron efectuadas en tres ocasiones para reducir el sesgo en los conteos y se obtuvo el coeficiente de variación entre ellas.

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

donde CV es el coeficiente de variación, X_{ij} es la edad estimada para un organismo en cada una de las lecturas, X_j es la edad promedio estimada para el mismo organismo, y R es el número de lecturas realizadas (Campana, 2001).

Durante los conteos de las marcas de crecimiento, también se registró el tipo del borde (oscuro o claro) de la vértebra para posteriormente realizar la validación.

Validación de la edad

Para determinar la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento en las vértebras, se calculó el porcentaje de vértebras con bordes oscuros y con bordes claros para cada mes, obteniendo así la distribución mensual de los tipos de borde. Esta distribución mensual fue relacionada con la temperatura promedio superficial del mar para la zona de estudio, la cual fue obtenida a través de los registros de la serie de Reynolds 2000-2001 (Reynolds y Smith, 1994).

Estructura de edades

La estructura de edades se obtuvo a través de un histograma de frecuencias de grupos de edad. Por medio de la prueba de Shapiro-Wilk`s se determinó que no existía normalidad en la distribución de los datos ($p<0.05$). Las estructuras de edades de machos y hembras fueron comparadas a través de una prueba no paramétrica (Kolmogorov-Smirnov) con un nivel de confianza del 95%.

Curva de crecimiento

Con los datos de longitud total de los organismos y las estimaciones de edad se describió el crecimiento de la especie mediante el modelo de von Bertalanffy

$$LT_t = LT_\infty \, (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

Donde LTt es la longitud total a la edad t, LT_∞ es la longitud total asintótica o máxima teórica, k es la constante de crecimiento y t_0 es la edad cuando LT = 0. La estimación de los parámetros de crecimiento se realizó a través del algoritmo de Marquart incluido en el Software Curve Expert versión 1.3.

RESULTADOS

Durante los 32 meses que abarcó este estudio se registraron 219 organismos, obteniendo vértebras de 109 de ellos. En algunas ocasiones no fue posible recolectar las vértebras de los organismos ya que los pescadores realizaban el corte del organismo muy cerca del condrocráneo, dejando solo las cabezas con las primeras vértebras anteriores que por su consistencia, no son útiles para estimaciones de edad. En otras ocasiones, debido a la rapidez de los pescadores en limpiar los tiburones, solo se logró obtener muestras de una parte de los organismos desembarcados. Mientras que en algunos casos solamente se tuvo acceso a las vértebras medias o posteriores, las cuales no fueron utilizadas en este estudio ya que solo se consideraron las vértebras anteriores para evitar variaciones en los resultados.

Estructura de tallas

De los 219 organismos registrados 113 fueron machos, 103 hembras y a 3 organismos no fue posible determinarles el sexo. El intervalo de tallas varió de 77 cm a 290 cm LT (Tabla 1). El macho más grande registrado fue de 242 cm LT, mientras que la hembra más grande presentó una talla de 290 cm LT. Para ambos sexos la talla más pequeña registrada fue de 77 cm LT (Fig. 6).

Las distribuciones de frecuencias de tallas de machos y de hembras fueron comparadas a través de la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov, encontrando que no existían diferencias estadísticas significativas entre ambas distribuciones ($p>0.05$), por lo que se

obtuvo una distribución de tallas de sexos combinados (Fig. 7). Los organismos que presentaron tallas entre 90 cm y 160 cm LT fueron los más abundantes (70%).

Figura 6.- Estructura de tallas de machos y hembras.

Distribución mensual de tallas

Se registraron organismos en casi todos los meses, con excepción del mes de junio. Los datos obtenidos fueron agrupados para formar un año tipo con el fin de facilitar el análisis de la distribución temporal de los mismos. La temporada en la que se encontró mayor cantidad de organismos fue invierno-primavera, con una fuerte abundancia en el mes de marzo (67 organismos), cuando las tallas mejor representadas se encontraron entre los 90 cm y los 160 cm LT. Sin embargo, el mes de abril presentó la mayor variedad en tallas, encontrando organismos desde los 70 cm hasta los 290 cm LT (Fig. 8).

Tabla 1.- Número de organismos registrados, intervalos de tallas y vértebras colectadas por mes, durante el período 2000-2003.

Mes	H	IT	V	M	IT	V	NI	IT	V
Ago-00				3	91-170	3			
Sep-00	5	91-120	3	8	101-160	7			
Oct-00	1	151-160	1	1	121-130				
Dic-00	2	161-170	1	3	131-200	2	1	139	1
Ene-01	3	91-130	2	3	141-160	1			
Feb-01	4	91-130	1	2	91-120	1			
Mar-01	3	91-110	2	9	101-170	8			
May-01	3	131-190	1	4	111-200	3			
Jul-01	12	91-160	7	14	101-210	3	1	138	
Ago-01	2	121-150		1	141-150		1	267	1
Sep-01				1	81-90	1			
Feb-02	3	101-160	2	4	91-180	4			
Mar-02				1	201-210	1			
Abr-02	5	91-290	2	12	71-250	2			
May-02	10	101-180	9	10	71-190	10			
Jul-02	2	151-190	1	4	111-190	1			
Ago-02	1	231-240	1						
Oct-02	2	141-160							
Nov-02	3	101-240	3	3	101-160	3			
Dic-02	2	121-180	1						
Ene-03	2	71-140		1	141-150	1			
Feb-03	8	111-240	6	5	81-160	2			
Mar-03	30	81-170	6	24	91-200	5			
Total	103	71-290	49	113	71-250	58	3		2

(H = hembras, M = machos, NI = no identificados, IT = intervalo de tallas, V = vértebras recolectadas)

Figura 7.- Estructura de tallas de sexos combinados.

Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del organismo

Al relacionar el radio de las vértebras (RV) con la longitud total de los organismos se observó que existe una tendencia rectilínea. Se encontró que no existen diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$) entre las pendientes y las elevaciones de cada relación (Tabla 2), por lo que se obtuvo la relación entre RV y LT para sexos combinados (Fig. 9). El coeficiente de determinación fue 0.91, indicando una relación directamente proporcional entre las dos variables.

Figura 8.- Distribución mensual de tallas de tiburón mako durante un año tipo.

Figura 9.- Relación entre el radio de la vértebra (RV) y la longitud total (LT).

Tabla 2.- Resultados de las pruebas de elevaciones y pendientes para las relaciones entre el radio de la vértebra y LT de machos y hembras.

Valores	Machos	Hembras	t	t tablas
a	25.4	15.6	0.35	1.98
b	14.7	16.2	1.46	1.98
n	58	49		
r^2	0.89	0.92		

Lecturas de marcas de crecimiento en las vértebras

Entre las técnicas utilizadas para resaltar las marcas de crecimiento, el tratamiento con nitrato de plata resultó ser el más eficiente ya que además de ser una técnica rápida, las marcas de crecimiento eran visibles y fáciles de contar (Fig. 10). Por otro lado la tinción

con rojo de alizarina no mostró resultados favorables, ya que si bien se podían apreciar las marcas de crecimiento no eran tan visibles para realizar correctamente las lecturas de las mismas. Con los cortes de las vértebras se obtuvieron buenos resultados, sin embargo la desventaja que presentó esta técnica fue que las marcas de crecimiento son muy difíciles de discernir en los bordes de la estructura, lo que obstaculiza obtener una lectura precisa.

Figura 10.- Vértebra de tiburón mako de 176 cm LT: a) sin teñir; b) teñida con nitrato de plata.

La localización de la marca de nacimiento fue determinada con base en las vértebras de los organismos más pequeños recolectados (77 cm LT) ya que, de acuerdo a Mollet *et al.* (2000), la talla de nacimiento del tiburón mako es aproximadamente 70 cm LT. La marca de nacimiento se identificó como la banda clara ubicada entre los 3.5 mm y 4 mm de radio de la vértebra. A partir de esta marca, las siguientes bandas claras fueron enumeradas consecutivamente y consideradas para conformar los grupos de edad. En todas las vértebras se encontró una marca previa a la marca de nacimiento, la cual no fue considerada para las estimaciones de edad (Fig. 11).

Figura 11.- Identificación de marcas de crecimiento en las vértebras del tiburón mako.

Con el propósito de disminuir el sesgo en los conteos de las marcas de crecimiento se realizaron 3 lecturas en diferentes tiempos. En el 71.6% de los casos los conteos coincidieron en las tres lecturas realizadas, mientras que en el 28.4 % restante los conteos concordaron en dos de las tres lecturas, en ningún caso se presentaron tres lecturas diferentes. La precisión de todas las lecturas se presenta en la figura 12, donde se muestra qué porcentaje de las vértebras presentó diferencias en el conteo de las marcas de crecimiento durante las tres lecturas, así como la magnitud de dichas diferencias. Con las edades estimadas en las tres lecturas se calculó el coeficiente de variación, obteniendo un valor de 8.9 %, indicando que la variación entre las lecturas fue baja según los valores reportados por Campana (2001).

Figura 12.- Precisión de las lecturas de vértebras de tiburón mako.

Validación de la edad

Para realizar la validación se contó con muestras en casi todos los meses, siendo en algunos muy escasas por lo que fueron agrupadas para representar un año tipo (Tabla 3). Con el porcentaje mensual de bordes claros y oscuros se obtuvo la distribución temporal de los tipos de bordes de las vértebras. Se observó que de enero a mayo predominaban los bordes claros, mientras que de julio a diciembre los bordes oscuros fueron más frecuentes (Fig. 13).

Al relacionar la distribución mensual del tipo de borde con el promedio mensual de la temperatura superficial del mar, se encontró que la gran abundancia de bordes oscuros coincidía con las altas temperaturas (22.9 ºC – 27.2 ºC) mientras que los bordes claros se encontraban en mayor número cuando las temperaturas eran menores (19.2 ºC – 21 ºC) (Fig. 13).

Tabla 3.- Frecuencia absoluta de vértebras con bordes claros y oscuros durante el año.

	Mes												
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Bordes claros	1	9	16	3	11		3	1	3		1	1	51
Bordes oscuros	3	7	6	1	12		9	4	8	1	5	4	58
Total	4	16	22	4	23	0	12	5	11	1	6	5	109

Figura 13.- Distribución temporal de los tipos de borde de las vértebras del tiburón mako, durante un año tipo (n=109) y promedio mensual de la temperatura superficial del mar durante 2000 y 2001.

Estructura de edades

Se realizó la lectura de 109 vértebras en total, de las cuales 58 pertenecieron a machos, 49 a hembras y 2 de sexo no identificado, estimándose 18 grupos de edad (Tabla 4). Al macho de mayor talla (209 cm LT) se le estimó una edad de 9 años, mientras a la hembra más grande (290 cm LT) se le asignó la edad de 18 años. El macho más pequeño tuvo 0 años (77 cm LT) y la hembra más pequeña 1 año (100 cm LT) de edad (Fig 14).

Tabla 4.- Intervalos de edad estimados por mes para machos, hembras y organismos no identificados (NI) durante el período 2000-2003.

	Hembras		Machos		NI		Total	
Mes	Int. Edad	n	Int. Edad	n	Int. Edad	n	Int. Edad	n
Ago-00			1-6	3			1-6	3
Sep-00	1	3	1-5	7			1-5	10
Oct-00	5	1					5	1
Dic-00	4	1	3-4	2	3	1	3-4	4
Ene-01	1-2	2	3	1			1-3	3
Feb-01	1	1	2	1			1-2	2
Mar-01	1	2	1-4	8			1-4	10
May-01	4	1	2-8	3			2-8	4
Jul-01	2-4	7	2-3	3			2-4	10
Ago-01					15	1	15	1
Sep-01			1	1			1	1
Feb-02	2-4	2	1-6	4			2-6	6
Mar-02			9	1			9	1
Abr-02	4-18	2	0-5	2			0-18	4
May-02	1-6	9	0-7	10			0-7	19
Jul-02	5	1	2	1			2-5	2
Ago-02	12	1					12	1
Nov-02	1-13	3	1-5	3			1-13	6
Dic-02	7	1					7	1
Ene-03			3	1			3	1
Feb-03	2-12	6	3-4	2			2-12	8
Mar-03	1-3	6	1-7	5			1-7	11
Total	1-18	49	0-9	58	3-15	2	0-18	109

Figura 14.- Estructura de edades de hembras y machos.

Las estructuras de edades de machos y hembras fueron comparadas a través de la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov y no se encontraron diferencias significativas ($p>0.05$), por lo que se creó una clave de edad-longitud para sexos combinados (anexo I), con el fin de asignar una edad al resto de los organismos registrados. De los 219 organismos registrados en este estudio, a 3 de ellos no fue posible asignarles una edad debido a que estos organismos se encontraron fuera del intervalo de tallas para el cual se obtuvieron estimaciones de edad. En total se asignó una edad a 216 organismos y se obtuvo una estructura de edades para sexos combinados donde se encontró una mayor frecuencia de los organismos que presentaban entre 1 y 5 años de edad (Fig. 15), correspondiendo a las tallas más frecuentes encontradas en este estudio (90 cm a 160 cm LT).

Figura 15.- Estructura de edades de sexos combinados.

Distribución mensual de grupos de edad

La distribución mensual de grupos de edad se analizó agrupando los datos en un año tipo. En esta distribución se observó que el mes de abril fue el que presentó un mayor número de grupos de edad, de 0 a 18 años. Este mes también fue el que presentó una mayor variedad en tallas. Los organismos de 1 a 5 años, que fueron los predominantes, se presentaron durante todos los meses del año, mientras que los neonatos y los organismos de edades mayores solo se encontraron en algunos meses (abril, agosto y noviembre) sin presentar algún patrón. Los organismos más jóvenes, con 0 años, fueron capturados en los meses de enero, abril y mayo, mientras que el organismo de mayor edad (18 años) fue capturado en el mes de abril (Fig.16).

Figura 16.- Distribución mensual de grupos de edad de tiburón mako durante un año tipo.

Curva de crecimiento

Los datos de edad y LT fueron utilizados para construir la curva de crecimiento a través del modelo de von Bertalanffy. Debido a que no se encontraron diferencias entre las estructuras de tallas y edades de machos y hembras, el modelo de crecimiento fue estimado para sexos combinados. Los parámetros del modelo fueron: L_∞= 411 cm, k = 0.05 año^{-1} y t_o = -4.7 años (Fig. 17).

Figura 17.- Curva de crecimiento del tiburón mako para sexos combinados.

A través del modelo de crecimiento de von Bertalanffy se calculó el crecimiento neto anual para el tiburón mako, así como el porcentaje de la longitud asintótica que es alcanzado cada año por los organismos. El crecimiento neto presentó la mayor disminución en el primer año de vida y, posteriormente, las principales disminuciones se presentaron entre los 8 y 10 años de vida. Por otro lado, se observó que el tiburón mako presenta una talla al momento

de nacer próxima al 20% de la longitud máxima teórica, y alcanza el 50% de la longitud asintótica aproximadamente a los 8 años de edad, mientras que a los 18 años presenta una talla cercana al 70% de L_{∞}.

Tabla 5.- Valores de LT_t (cm), crecimiento neto anual (cm) y porcentaje de L_{∞} alcanzado al año, estimados a partir del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para el tiburón mako en el período 2000-2003.

Edad (años)	Lt estimada por el modelo	Crecimiento neto anual	Porcentaje de L∞ anual
0	89.12		21.68
		16.31	
1	105.43		25.65
		15.48	
2	120.91		29.42
		14.70	
3	135.61		32.99
		13.95	
4	149.56		36.39
		13.25	
5	162.81		39.61
		12.58	
6	175.39		42.67
		11.94	
7	187.33		45.58
		11.33	
8	198.66		48.34
		10.76	
9	209.42		50.95
		10.21	
10	219.63		53.44
		9.70	
11	229.33		55.80
		9.21	
12	238.54		58.04
		8.74	
13	247.27		60.16
		8.30	
14	255.57		62.18
		7.88	
15	263.45		64.10
		7.48	
16	270.92		65.92
		7.10	
17	278.02		67.64
		6.74	
18	284.76		69.28

DISCUSIÓN

Estructura de tallas

La longitud máxima reportada para la especie es de 396 cm LT (Bigelow y Schroeder, 1948). Sin embargo, el ejemplar más grande capturado en el Pacífico Norte ha sido de 350 cm LT (Applegate, 1977). Por otro lado, la talla de nacimiento reportada es de aproximadamente 70 cm LT (Mollet *et al.*, 2000). En este estudio se registraron organismos con tallas desde 77 cm a 290 cm LT. De acuerdo con los registros antes mencionados, en el presente trabajo se logró obtener una muestra de más del 82% del intervalo de tallas reportado para el tiburón mako del Pacífico.

La falta de tiburones makos de tallas mayores ha sido explicada de varias maneras: Mollet *et al.* (2000) sugirieron que estos organismos se encuentran en aguas más profundas o bien en lugares más retirados de la costa. En muchas especies de tiburones comúnmente se ha observado que existe una segregación por tallas, lo que provoca que las capturas estén compuestas de organismos de talla semejante (Hoenig y Gruber, 1990). De la misma manera se cree que las crías se concentran en áreas alejadas de las zonas de captura.

Por otro lado, Pratt y Casey (1983) reportaron que los grandes makos (mayores que 260 cm LT) fácilmente rompen las artes de pesca y generalmente prefieren otro alimento en vez de macarela o arenque, los cuales son utilizados por los pescadores comerciales y deportivos como carnada. La ausencia de los tiburones mako pequeños la atribuyen a la poca vulnerabilidad a las artes de pesca convencionales, utilizadas por los pescadores.

Russ (1991) menciona que la disminución en la abundancia, particularmente de las tallas grandes, es ocasionada por la sobrepesca ya que observa que las especies sobreexplotadas son las que presentan estas características, es decir, los cambios en la composición de longitudes, de la población, hacia tallas pequeñas, han sido atribuidos a la sobreexplotación (Anderson, 1985).

Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del organismo

Para que una estructura pueda ser considerada como un buen indicador de la edad debe cumplir al menos tres condiciones: que no haya reabsorción, que los patrones de las bandas de crecimiento sean producto de diferencias en el crecimiento y por último que exista un crecimiento proporcional entre la estructura y la longitud corporal del organismo (Cailliet *et al.*, 1983a). Existe evidencia reciente de que el esqueleto cartilaginoso de los elasmobranquios es un sistema cerrado con respecto a la incorporación de calcio, en el que una vez incorporado al tejido, el calcio no se pierde por reabsorción. Clement (1992), realizó un examen minucioso del endoesqueleto de varios Condrictios, llegando a la conclusión de que el esqueleto de estos organismos, a pesar de su aparente complejidad es muy simple, en el cual todo el crecimiento esquelético puede ser logrado sin la reabsorción de tejido previamente mineralizado. Por otro lado parece que las diferencias en la densidad de las bandas de crecimiento en las vértebras de los tiburones son el producto de diferencias en la mineralización durante las distintas fases del crecimiento (Cailliet *et al.*, 1983b).

En este estudio se encontró que las vértebras crecen proporcionalmente a la longitud corporal de los organismos, ya que la relación obtenida entre estas variables fue rectilínea, con un coeficiente de determinación alto (0.91). Debido a que se ha comprobado que las

estructuras cumplen con los requisitos necesarios, se puede considerar a las vértebras de tiburón mako como buenos indicadores de la edad.

Cailliet *et al.* (1983b) encontraron este mismo tipo de relación entre el diámetro de la vértebra y LT, para tiburones makos capturados en la costa de California. En la mayoría de los estudios sobre edad y crecimiento de tiburones se ha reportado que la relación entre el tamaño de las vértebras y la longitud corporal es rectilínea (Thorson y Lacy, 1982; Gruber y Stout, 1983; Cailliet *et al.*, 1985; Brastetter, 1987b; Sminkey y Musick., 1995; Oshitani *et al.*, 2003). Contrario a lo anterior, Pratt y Casey (1983) reportaron que la relación que existe entre el radio de la vértebra y la longitud furcal del tiburón mako del Atlántico Norte es ligeramente curvilínea, sin embargo, esta relación no es explicada por los autores.

Branstetter *et al.* (1987) encontraron el mismo tipo de relación que Pratt y Casey (1983), para el tiburón tigre, *Galeocerdo cuveri.* Estos autores mencionan que la relación de tipo curvilínea es ocasionada por dos períodos de crecimiento, y que el punto de inflexión en la curva representa la talla en la cual alcanzan la madurez sexual.

Lecturas de marcas de crecimiento en las vértebras

Las lecturas de las marcas de crecimiento se llevaron a cabo solo en las vértebras de la parte anterior de la columna vertebral de los organismos, con el fin de disminuir la variación en los resultados. En algunos trabajos de edad y crecimiento en tiburones se ha reportado que existen diferencias en el número de marcas de crecimiento entre las vértebras de diferentes regiones de un mismo organismo. En un estudio con tiburón ángel (*Squatina californica*), Natanson y Cailliet (1990) concluyeron que las discrepancias obtenidas en las

lecturas de las vértebras fueron producto de las diferencias que existen en el desarrollo de la columna vertebral. Por otro lado, Officer *et al.* (1996) también encontraron diferencias en los conteos de las marcas de crecimiento entre las vértebras de distintas regiones de la columna de *Mustelus antarticus* y *Galeorhinus galeus*, sin embargo no lograron distinguir si estas discrepancias eran ocasionadas por la metodología utilizada o por diferencias que existen entre las vértebras de distintas regiones de la columna vertebral.

Para resaltar las marcas de crecimiento en las vértebras se determinó que la técnica de nitrato de plata fue la más eficiente. Esta técnica también ha sido utilizada en otros estudios de edad y crecimiento del tiburón mako (Pratt y Casey, 1983; Cailliet *et al.*, 1983b). En muchos trabajos se han realizado cortes de las vértebras como el único método para determinar la edad en tiburones; sin embargo Oshitani *et al.* (2003) en un estudio con tiburón piloto, (*Carcharinus falciformis*) mencionan que la superficie de las vértebras provee más información detallada de la estructura que los cortes de las mismas y que la superficie es más fácil de preparar y observar. También hace énfasis en que la observación de la superficie de las vértebras es mucho mejor que la observación de cortes de la estructura debido a que se logra una mayor precisión en el conteo de las marcas de crecimiento.

Durante las lecturas de las marcas de crecimiento, se identificó en la mayoría de las vértebras una marca previa a la marca de nacimiento. Esta marca previa se localizaba muy cerca del origen de la estructura. En estudios con otras especies de tiburones se han identificado también marcas embrionarias, y se las ha asociado a diferentes eventos según la especie.

En las vértebras de los tiburones leopardo (*Triakis semifaciata*) se encontró una marca previa a la de nacimiento, sugiriendo que esta marca es depositada periódicamente al igual que las marcas de crecimiento de organismos ya nacidos, por lo que podría ser utilizada como indicador del período de gestación (Kusher *et al*., 1992). Por otro lado, los embriones del tiburón ángel (*Squatina californica*) presentan más o menos cinco marcas, y los neonatos entre seis a siete, lo que indica que estas marcas son depositadas en un período menor a un año, son el producto de eventos fisiológicos, o bien, que esta especie tiene un período de gestación muy largo (Natanson y Cailliet, 1990). Branstetter (1987b) localizó una marca embrionaria en las vértebras de dos especies de Carcharínidos, *Carcharhinus limbatus* y *C. brevipinna* y las asoció al momento en el que la placenta se vuelve funcional en el desarrollo de los embriones. También se ha reportado la presencia de una marca embrionaria en tiburones vivíparos aplacentados (Branstetter y Musick, 1994; Wintner y Cliff, 1998). En *Carcharias taurus* la marca embrionaria fue asociada al momento en el cual el embrión comienza a alimentarse de ovocitos (Branstetter y Musick, 1994).

En el tiburón mako la presencia de una marca de crecimiento embrionaria podría atribuirse al momento en el que el embrión deja de alimentarse de su propio vitelo para consumir ovocitos no fecundados, producidos por la madre con el fin de completar el desarrollo de los embriones. En un estudio reciente de reproducción de tiburón mako, Mollet *et al.* (2000) mencionan que los embriones de esta especie comienzan a alimentarse de huevos nutritivos (ovofagía) a partir de los 6 cm cuando tienen 3 o 4 meses de gestación hasta finalizar este período. Debido a que la marca embrionaria se localizó cerca del origen, podría asumirse que fue depositada en los primeros meses de gestación, coincidiendo con el tiempo en el cual sucede el cambio de alimentación.

Posterior al conteo de las marcas de crecimiento, se obtuvo el valor de precisión de las lecturas. La precisión se define como la reproducibilidad que existe al realizar el conteo en la misma estructura varias veces sin importar si el valor obtenido es acertado o no. No existe un valor predeterminado para estudios de edad, debido a que la precisión está fuertemente influenciada por la especie, la naturaleza de la estructura y no solamente por el lector. En la mayoría de los estudios con tiburones se han obtenido valores del coeficiente de variación mayores al 10 %, mientras que generalmente con otolitos se logran valores cercanos al 5% (Campana, 2001). El coeficiente de variación obtenido en este estudio fue cercano al 9 %, indicando que existe una variación baja entre las lecturas realizadas en las vértebras de tiburón mako.

Validación de la edad

La distribución mensual del tipo de borde de las vértebras, mostró un patrón claro donde los bordes oscuros fueron dominantes durante la temporada verano-otoño, mientras que los bordes claros fueron dominantes en la temporada invierno-primavera. El patrón encontrado en este trabajo sugiere que la formación de las marcas de crecimiento en *Isurus oxyrinchus* es un evento periódico y anual.

Branstetter (1987b) realizó este mismo tipo de validación con el tiburón *Carcharhinus limbatus* y *C. brevipinna,* encontrando que los bordes oscuros se presentaban en verano, mientras que los claros eran frecuentes en invierno. En la mayoría de los estudios de edad y crecimiento para elasmobranquios se ha reportado este tipo de periodicidad en la formación de las marcas de crecimiento, sin embargo Parker y Stott (1965) reportaron que en el tiburón peregrino (*Cetorhinus maximus*) la formación de las marcas de crecimiento es un

evento semestral.

Para el tiburón mako, la periodicidad de la formación de las marcas de crecimiento encontrada en este estudio coincide con la reportada por Cailliet *et al.* (1983b). Mientras que Pratt y Casey (1983) sugirieron que dos marcas representan un año de edad en el tiburón mako del Atlántico Norte. Recientemente, Campana *et al.* (2002) utilizando una bomba de radiocarbono determinaron que la periodicidad con la que se forman las marcas de crecimiento en las vértebras de tiburón mako es anual, ya que el número de marcas en la estructura coincidió con el tiempo transcurrido después de la mayor incorporación de C^{14}.

La relación entre la distribución temporal del tipo de borde en la vértebra y la temperatura promedio superficial del mar era de esperarse, ya que se sabe que durante los meses cálidos las condiciones son favorables para el crecimiento de los organismos, lo cual se ve reflejado en la estructura como bandas oscuras anchas. Por el contrario en las temporadas frías el crecimiento es menor y la incorporación de minerales en la estructura disminuye, produciendo una banda angosta y clara (Branstetter, 1987a).

Las fluctuaciones estacionales en la temperatura y la intensidad de la luz pueden ser importantes controladores de la formación de las marcas de crecimiento (Branstetter, 1987a). Se ha reportado que las fluctuaciones estacionales, lunares y diurnas en los niveles de calcio corresponden a los tiempos de formación de las marcas de crecimiento en escamas y otolitos de algunos teleósteos (Mugiya *et al*., 1981). Estos estímulos estacionales también podrían variar la cantidad o la tasa de incorporación de calcio y fósforo en los elasmobranquios. Branstetter (1987a) realizó un estudio con tiburones en cautiverio, donde la calidad del agua y los niveles de alimento eran constantes, y por lo tanto también los

niveles de minerales; aún así encontró una clara periodicidad en la formación de las marcas de crecimiento que coincidía con los cambios en la temperatura del agua, la cual fue manipulada siguiendo el comportamiento natural del ambiente marino.

En este trabajo solo se utilizó el método de validación de distribución temporal del tipo de borde de las vértebras. Sin embargo, es necesario aplicar otros métodos de validación, y conseguir muestras representativas de cada mes. Este método de validación es un método indirecto el cual no es muy preciso. Existen métodos directos como el marcado con tetraciclina que son más eficientes. Sin embargo, este método, además de ser muy caro, presenta la desventaja de que el número de organismos recapturados es muy bajo y generalmente en tiempos muy largos. Otro método directo, que resulta eficiente es el uso de la bomba de radiocarbono en las vértebras para determinar y confirmar la periodicidad de las marcas de crecimiento, ya que se ha demostrado que es apropiado en todas las especies de tiburones por lo menos de las que presentan marcas formadas antes de 1970 (Campana *et al.*, 2002). Este método se basa en las altas acumulaciones de C^{14} en las estructuras, debido a las pruebas nucleares que se realizaron entre los 50` y los 60` (Campana *et al.*, 2002). La desventaja que presenta esta técnica es que solo puede aplicarse a organismos que hayan nacido antes de los 70`.

Estructura de edades

Al realizar las estimaciones de edad se encontró que los organismos más abundantes fueron los de 1 y 5 años de edad. Se encontraron pocos organismos que habían alcanzando la talla de madurez. Los estudios de reproducción de tiburón mako reportan que en esta especie el macho madura al alcanzar los 180 cm LT, mientras que las hembras alcanzan la madurez

sexual a los 270 cm LT. De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, los machos alcanzarían la madurez sexual a los 7 años de edad, mientras que las hembras a los 15 años aproximadamente. Cailliet *et al* (1983b) consideraron la talla de madurez a los 180 cm LT para ambos sexos y le estimaron una edad de 7 a 8 años, lo cual coincide con la edad de madurez estimada para machos en el presente estudio. Por otro lado, Pratt y Casey (1983) sugirieron que las marcas de crecimiento en las vértebras pueden ser una aproximación de la edad en las tallas pequeñas, sin embargo en los adultos existe la posibilidad de que las marcas de crecimiento no se depositen anualmente. Así mismo, Casey y Natanson (1992) mencionan que en *Carcharhinus plumbeus* existe evidencia de que la periodicidad anual no persiste durante toda la vida del organismo, particularmente en las hembras con embriones.

Distribución mensual de tallas y grupos de edad

Según Villavicencio (1996), la mejor época de pesca de elasmobranquios en Baja California Sur se presenta en primavera y verano, principalmente por tres razones:

- Es la temporada en que las condiciones climáticas son menos extremas y permiten la operación de embarcaciones fuera de las áreas protegidas del océano Pacífico y Golfo de California;
- Durante primavera y verano las especies se aproximan y concentran en la zona costera con fines reproductivos,
- Durante esas temporadas disminuyen las capturas de langosta y abulón, y los pescadores del sector cooperativista se dedican a la pesca de tiburón.

Sin embargo, en el presente estudio, la temporada en la que se registraron mayor cantidad de organismos fue en invierno-primavera, con una fuerte dominancia en el mes de Marzo. El organismo más joven y el de mayor edad fueron capturados en el mes de Abril correspondiendo a la menor y mayor talla registrada respectivamente. Tal vez, esto se deba a un evento de reproducción ya que se han realizado estudios sobre este aspecto para la especie, determinando que la época en la que estos tiburones se reproducen es desde finales de invierno a mediados de primavera en ambos hemisferios (Mollet *et al.*, 2000). La temporada de reproducción provoca que las hembras generalmente se acerquen más a la costa donde son fácilmente capturadas (Mollet *et al.*, 2000). El organismo más grande, capturado en abril, fue una hembra madura de 290 cm LT, mientras que el más pequeño de 77 cm LT presentó una talla próxima a la de nacimiento reportada para la especie (70 cm LT, Mollet *et al.*, 2000). La presencia en enero, abril y mayo de organismos con tallas próximas a la de nacimiento concuerda con el supuesto de que el nacimiento se produce desde invierno a mediados de primavera.

Curva de crecimiento

Los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy (L_∞ = 411 cm LT, k = 0.05 año^{-1} y t_0 = -4.7 años) estimados en este estudio se asemejan a los reportados por Cailliet *et al.* (1983b) para el tiburón mako del Pacífico Norte (L_∞ = 321 cm LT, k = 0.07 año^{-1}y t_0 = -3.75 años). Las diferencias entre ambos resultados probablemente se deban al tamaño de muestra y al intervalo de tallas de cada estudio. Por otro lado, los parámetros encontrados en este estudio difieren de los reportados por Pratt y Casey (1983) para el mako del Atlántico Norte (machos: L_∞ = 302 cm LF, k = 0.26 año^{-1} y t_0 = -1 años; hembras L_∞ = 345

cm LF, k = 0.20 año^{-1}y t_0 = -1 años) posiblemente porque estos autores consideraron dos marcas de crecimiento como un evento anual.

La longitud asintótica estimada en este trabajo fue 4% mayor a la talla máxima reportada mundialmente de 396 cm LT (Bigelow y Schroeder, 1948) y 15 % mayor a la talla máxima reportada para el Pacífico (Applegate, 1977). Un valor más cercano a las tallas máximas reportadas sería estimado si se lograra obtener muestras de los organismos de tallas mayores, cubriendo así todo el intervalo de tallas de la especie.

A través del modelo de crecimiento se estimó el porcentaje de la longitud asintótica que alcanzan los organismos con la edad, encontrando que a la edad de la madurez sexual (8 años para machos) los organismos presentan una talla 50 % menor a la longitud máxima teórica, mientras que a los 18 años solo alcanzan el 70 % de esta longitud. Es decir que, en los primeros 10 años crecen aproximadamente el 60 % de su tamaño corporal máximo, mientras que en los 10 años siguientes solo crecen 20 % más.

El parámetro $t_{0,}$ en el presente trabajo, fue considerado como un parámetro de ajuste sin significado biológico. La definición de este parámetro es que es un valor que representa la edad hipotética a la cual el organismos tiene una longitud cero, siempre y cuando crezca de acuerdo al modelo. Sin embargo, los peces no siempre crecen en la manera descrita por la ecuación, por lo que t_0 no es un parámetro biológico, y solo puede ser considerado como parámetro de ajuste (Pauly, 1979), a menos que se conozca exactamente como es el crecimiento durante el período de gestación. Existen trabajos donde se ha intentado ajustar la curva de von Bertalanffy asignándole a t_0 el período de gestación establecido para la especie (Holden, 1974; Pratt y Casey, 1983), sin embargo se ha notado que las estimaciones

de k se ven sobreestimadas, mientras que la L_∞ se subestiman. Este es el caso de *Cetorhinus maximus*, al cual se le estimó un valor de k de 0.14 año^{-1} utilizando el período de gestación como t_0 (Holden, 1974), mientras que Pauly (1978) estimó una k de 0.036 año^{-1} usando el método tradicional. En este caso, el utilizar el período de gestación como un valor de t_0 generó un valor estimado de k 3.5 veces mayor al estimado de la manera tradicional.

El crecimiento neto anual estimado, en el presente estudio, a través del modelo de von Bertalanffy mostró que existe una mayor disminución en el crecimiento después del primer año de vida. Debido a que el tiburón mako nace en aguas oceánicas, el rápido crecimiento de los neonatos aunado a la eficiencia en el nado podría ser una estrategia de supervivencia, y al alcanzar el año de vida, estos tiburones disminuyen su crecimiento ya que el riesgo de ser depredados por peces mayores es menor. Por otro lado, las otras disminuciones importantes en el crecimiento corresponden a los 8 y 10 años de edad, lo cual probablemente se deba a que los tiburones maduran aproximadamente a estas edades (por lo menos los machos). Se ha reportado que los tiburones disminuyen el crecimiento en el momento que alcanzan la madurez sexual ya que los organismos dirigen su energía a la preparación para el momento de la reproducción (Branstetter *et al*, 1987).

El valor del parámetro k del modelo de von Bertalanffy determinado en este trabajo, es menor al reportado por Pratt y Casey (1983) de 0.20 año^{-1}. Estos autores sugirieron que el crecimiento del tiburón mako es rápido cuando se compara con otras especies de tiburones, y que es comparable al crecimiento que presentan otras especies de peces pelágicos como el dorado, los atunes y los picudos. Por otro lado el valor estimado por Cailliet *et al.* (1983b)

de 0.07 año^{-1} fue muy semejante al estimado en este estudio de 0.05 año^{-1}, concluyendo que la especie presenta un lento crecimiento.

Se han realizado muchos estudios de edad y crecimiento en otras especies de tiburones donde se ha determinado que el crecimiento juega un papel muy importante en la supervivencia de los organismos y el parámetro k del modelo de von Bertalanffy ha sido de gran utilidad para la comparación del crecimiento entre las especies.

Existen especies de tiburones con crecimiento rápido como *Carcharhinus limbatus* (k = 0.27 año^{-1}) y *C. brevipinna* (k = 0.21 año^{-1}) (Branstetter, 1987b), *Rhizoprionodon terraenovae* (k = 0.35 año^{-1}) (Parsons, 1985). Estas especies tienen crías pequeñas en zonas protegidas. Los neonatos crecen rápidamente durante el primer año, aumentando su eficiencia y velocidad al nadar, lo que disminuye las probabilidades de ser depredados. Otras especies con crecimiento rápido, como *Prionace glauca* (k = 0.22 año^{-1}), son especies oceánicas con una mayor descendencia, y el rápido crecimiento los hace menos susceptibles a la depredación (Cailliet *et al.*, 1983b).

Las especies de crecimiento lento presentan otras estrategias de supervivencia como *Carcharhinus plumbeus* (k = 0.05 año^{-1}; Casey *et al.*, 1985) y *C. leucas* (k = 0.07 año^{-1}; Thorson y Lacy, 1982) que permanecen en las áreas de crianza hasta alcanzar los 100 cm LT (Branstetter, 1987b). El valor del parámetro de crecimiento k del tiburón mako, estimado en este estudio, sitúa a esta especie junto con los tiburones que presentan el crecimiento más lento, los cuales tienen crías bien desarrolladas que son eficientes al nadar, disminuyendo con esto el riesgo a ser depredados por peces mayores incluyendo otros tiburones (Branstetter, 1990). Entre estas especies se encuentran *Carcharhinus obscurus*

(k= 0.045 año^{-1}; Simpfendorfer *et al.*, 2002) y *Carcharodon carcharias* (k = 0.06 año^{-1}; Cailliet *et al.*, 1985).

Es muy importante tener estimaciones precisas de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy, sobre todo del parámetro k, ya que sobreestimaciones podrían llevar al diseño de medidas de manejo que afecten negativamente a la población. Pratt y Casey (1983) con los resultados obtenidos en su trabajo sugirieron que el tiburón mako, al presentar un crecimiento rápido, puede ser un buen candidato para la pesca comercial. Esta sugerencia fue el resultado de la subestimación de la edad. Sin embargo, en este estudio, los resultados sugieren que esta especie presenta un crecimiento lento, que junto otras características de su historia de vida como la baja fecundidad y la reproducción tardía, lo hacen altamente susceptible a la sobreexplotación.

CONCLUSIONES

El tiburón mako, se encuentra presente en la costa occidental de Baja California Sur durante todo el año, siendo más frecuente en los meses de invierno y primavera.

El intervalo de tallas para el tiburón mako de Baja California Sur varió de 77 cm a 290 cm LT, con un dominio de tallas entre los 90 y 160 cm LT.

La relación que existe entre el radio de la vértebra y la longitud total de los organismos es rectilínea, indicando que existe un crecimiento directamente proporcional entre la estructura y la longitud corporal. Esto sugiere que las vértebras del tiburón mako son buenos indicadores de la edad.

Con base en la distribución temporal del tipo de borde de las vértebras se sugiere que la formación de las marcas de crecimiento es un evento periódico formándose una banda clara y una banda oscura al año.

Los tiburones mako de Baja California sur presentan entre 0 a 18 años de edad, siendo más frecuentes los organismos de 1 a 5 años.

Los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para la especie fueron:

$L_\infty = 411$ cm LT $\qquad k = 0.05$ año^{-1} $\qquad t_0 = -4.7$ años

Los resultados sugieren que el tiburón mako, *Isurus oxyrinchus*, presenta lento crecimiento comparado con otras especies de tiburones.

LITERATURA CITADA

Anderson, E.D. 1985. Analysis of various sources of pelagic shark catches in the Northwest and Western Central Atlantic Ocean and Gulf of Mexico with comments on catches of other large pelagics. *In:* Shark Catches from Selected Fisheries off the U.S. East Coast. NOAA Tech. Rep. NMFS: 1-14

Applegate, S.P. 1967. A survey of shark hard parts. *In*: P. W. Gilbert, R.F. Mathewson, and D.P. Rall (eds.), Sharks, skates, and rays. The Johns Hopkins Press, Baltimore, Md. p: 37-67

Applegate, S.P. 1977. A new record-size bonito shark, *Isurus oxyrinchus* Rafinesque, from southern California. Calif. Fish Game 63: 126-129

Applegate, S.P., L. Espinosa, L.B. Menchaca y F. Sotelo. 1979. Tiburones Mexicanos. Subsecretaria de Educación e Investigación. Dirección General de Ciencia y Tecnología del Mar. México, D.F. 147 pp.

Baum, J.K., R.A. Myers, D.G. Kehler, B. Worm, S.J. Harley and P.A. Doherty. 2003. Collapse and conservation of shark populations in the northwest Atlantic. Science 299:389-392

Bigelow, H.B. and W.C. Schroeder. 1948. Sharks. *In:* Fishes of the western North Atlantic. Mem. Sears Found. Mar. Res. Yale Univ., N° 1 (Part 1). p: 59-546

Bonfil, S. R. 1994. Overview of world elasmobranch fisheries. FAO Fish. Tech. Pap. 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 and growth estimates for blacktip, *Carcharhinus limbatus*, and spinner, *C. brevipinna*, sharks from the Northwestern Gulf of Mexico. Copeia 4: 964-974

Branstetter, S., J.A. Musick and J.A. Colvocoresses. 1987. A comparison of the age and growth of the tiger shark, *Galeocerdo cuvieri*, from off Virginia and from the Northwestern Gulf of Mexico. Fish. Bull. 85 (2): 269-279

Branstetter, S. 1990. Early life-history implications of selected Carcharhinoid and Lamnoid sharks of the Northwest Atlantic. *In:* Pratt, H.L., S.H. Gruber, and T. Taniuchi, (eds). Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology systematics, and the status of the fisheries. NOAA Tech. Rep. NMFS 90: 17-28.

Branstetter, S., and J. A. Musick. 1994. Age and growth estimates for the sand tiger in the Northwestern Atlantic Ocean. Trans. Am. Fish. Soc. 123:242–254.

Cailliet, G.M, L.K. Martin, D. Kusher, P. Wolf, and B.A. Welden. 1983a. Techniques for enhancing vertebral bands in age estimation of California elasmobranchs. *In:* Prince E.D. and L.M. Pulos (eds). Proceedings of the International workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 8: 157-165

Cailliet, G.M, L.K. Martin, J.T. Harvey, D. Kusher, and B.A. Welden. 1983b. Preliminary studies on the age and growth of blue, *Prionace glauca,* common thresher, *Alopias vulpinus,* and shortfin mako, *Isurus oxyrinchus,* sharks from California waters. *In:* Prince E.D. and L.M. Pulos (eds). Proceedings of the International workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 8: 179-188

Cailliet, G.M., L.J. Natanson, B.A. Welden, and D.A. Ebert. 1985. Preliminary studies on the age and growth of the white shark, *Carcharodon carcharias*, using vertebral rings. Mem. of the Southern Cal. Aca. Sci. 9: 48-60

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

Campana, S.E., L.J. Natanson and S. Myklevoll. 2002. Bomb dating and age determination of large pelagic sharks. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 59: 450-455

Carey, F.G. and J.M. Teal. 1969. Mako and porbeagle: warm-bodied sharks. Comp. Biochem. Physiol. 28:199-204

Casey, J.G., H.L. Pratt and C.E. Stillwell. 1985. Age and growth of the sandbar shark (*Carcharhinus plumbeus*) from the northwestern Atlantic. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 963-975

Casey, J.G. and N.E. Kohler. 1992. Tagging studies on the shortfin mako shark (*Isurus oxyrinchus*) in the western North Atlantic. Aust. J. Mar. Freshwater Res. 43: 45-60

Castillo, G.J.L 1992. Diagnostico de la pesquería de tiburón en México. Secretaría de Pesca, México. 72 pp.

Castro, J.I. 1983. The sharks of North American waters. Texas University Press, United States of America. 180 pp.

Castro, J., C. Woodley and R. Brudek. 1999. A preliminary evaluation of the status of shark species. FAO Fish. Techn. Pap. 380: 72 pp.

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

Cliff, G., S.F.J. Dudley, and B. Davis. 1990. Sharks caugth in the protective gill nets off Natal, South Africa. 3. The shortfin mako, *Isurus oxyrinchus* (Rafinesque). S. Afri. J. Mar. Sci. 9:115-126

Compagno, L.J.V. 1984. FAO species catalog. Vol. 4. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 1. FAO Fish. Synop. 125: 655 pp.

Cramer, J. 1996. Large pelagic logbook indices for sharks. Document SB-III-3. 1996 Shark Stock Assesment Workshop. NOAA/NMFS/SEFSC, Miami. 7 pp.

Chavez, S. y J. Schmitter. 1995. Marco geológico y ambiental del área de estudio. Cap. I *En:* Aurioles, D. y E. Balart (eds). La langostilla: Biología, Ecología y Aprovechamiento. CIB, México. p: 1-8

De la Lanza, G.E. 1991. Oceanografía de mares mexicanos. AGT ed. México. 525 p.

Fischer, W., F. Krupp, W., Schneider, C., Sommer, K.E., Carpenter y V.H. Niem. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Volumen II. Vertebrados-Parte 1. Roma, Italia. p: 647-1200

Galván, F., H. Nienhuis, and P. Klimley. 1989. Seasonal abundance and feeding habits of sharks of the lower Gulf of California, Mexico. Calif. Fish Game 75 (2): 74-84

Garrick, J.A.F. 1967. Revision of shark genus *Isurus* with description of a new species (Galeoidea, Lamnidae). Proc. U.S. Natl. Mus. 118: 663-690

Gómez. J. y H. Vélez. 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la corriente de California. Ciencias Mar. 8 (2): 167-176

Gulland, J. 1971. The fish resources of the ocean. FAO, Fishing News Ltd., Surrey. 255 pp.

Gruber S.H. and R.G. Stout. 1983. Biological materials for the study of age and growth in a tropical marine elasmobranch, the lemon shark, *Negaprion brevirostris* (Poez). *In:* Prince E.D. and L.M. Pulos (eds). Proceedings of the International workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 8: 193-205

Haskell, W.L. 1949. An investigation of the possibility of determining the age of sharks through annuli as show in cross-sections of vertebrae. Ann. Rep. Mar. Lab.: 212-217

Heist, E.J., J.A. Musick and J.E. Graves. 1996. Genetic population structure of the shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) inferred from restriction fragment length polymorphism analysis of mitochondrial DNA. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 538-588

Hoff, T.B. and J.A. Musick. 1990. Western North Atlantic shark-fishery management problems and informational requirements. *In:* Pratt, H.L., S.H. Gruber, and T. Taniuchi (eds). Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics, and the status of the fisheries. NOAA Tech. Rep. NMFS 90: 455-472

Holden, M.J. 1974. Problems in the national exploitation of elasmobranch population and some suggested solutions. *In*: Harden-Jones, F.R. (ed.). Sea Fisheries Research. p: 117-137

Holts, D.B., A. Julian, O. Sosa-Nishizaki and N.W. Bartoo. 1996. Pelagic shark fisheries along the west coast of the United States and Baja California, Mexico. Am. Fish. Soc. 1995 Proc. 37 pp.

Hoenig, J.M. and S.H. Gruber. 1990. Life-history patterns in the elasmobranchs: implications for fisheries management. *In*: Pratt, H.L., S.H.Gruber, and T. Taniuchi, eds. Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics, and the status of the fisheries. NOAA Tech. Rep. NMFS 90: 1-16

INP. 2000. Sustentabilidad y pesca responsable en México: evaluación y manejo. Instituto Nacional de la Pesca, Mexico. p: 176-203

Kusher, D.I., S.E. Smith, and G.M. Cailliet. 1992. Validated age and growth of the leopard shark, *Triakis semifasciata*, with comments on reproduction. Environmental Biology of Fishes 35, 187-203.

Miller, D.J. and R.N. Lea. 1976. Guide to the coastal marine fishes of California. Fish Bulletin 157: 88

Mollet, H.F., G. Cliff, H.L. Pratt Jr., and J.D. Stevens. 2000. Reproductive biology of the female shortfin mako, *Isurus oxyrinchus* Rafinesque, 1810, with comments on the embryonic development of lamnoids. Fish. Bull. 9: 299-318

Mugiya, T., N. Watabe, J. Yamada and J.D. Dean. 1981. Diurnal rhythm of otolith formation in the goldfish, *Carassius auratus*. Ibid. 68 (a): 659-662

Musick, J.A. 1999. Life in the Slow Lane. Am. Fish. Soc. Symp. 23: 2-7

Natanson, L.J. and G.M. Cailliet. 1990. Vertebral growth zone deposition in Pacific angel sharks. Copeia: 1133-1145

Officer, R.A., A.S. Gason, T.I. Walker and J.G. Clement. 1996. Sources of variation in counts of growth increments in vertebrae from gummy shark, *Mustelus antarticus*, and school shark, *Galeorhinus galeus*: implications for age determination. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 1765-1777

Oshitani, S., H. Nakano and S. Tanaka. 2003. Age and growth of the silky shark *Carcharhinus falciformis* from the Pacific Ocean. Fish. Sci. 69 : 456-464

Parés Sierra A., M. López y E.G. Pavía. 1997. Oceanografía física del Océano Pacífico Nororiental. *En:* M.F. Lavín, (ed). Contribuciones a la oceanografía física en México. Monografía N° 3. Unión Geofísica Mexicana. p: 1-24

Parker, H.W. and F.C. Stott. 1965. Age, size and vertebral calcification in the basking shark, *Cetorhinus maximus* (Gun.). Zool. Meded. 40 (34): 305-319

Parsons, G.R. 1985. Growth and age estimation of the atlantic sharpnose shark, *Rhizoprionodon terraenovae*. Copeia: 80-85

Pauly, D. 1978a. A critique of some literature data on the growth, reproduction and mortality of the lamnid shark *Cetorhinus maximus* (GUNNERUS). ICES CM/H-17: 10pp.

Pauly, D. 1979. Gill size and temperature as governing factors in fish growth: a generalization of von Bertalanffy`s growth formula. Berichte de Instituts für Meereskunde an der Univ. Kiel. N° 63 XV, 156 p.

Pratt, H.L, Jr. and J.G. Casey. 1983. Age and growth of the shortfin mako, *Isurus oxyrinchus.* Summary paper. *In* Prince E.D. and L.M. Pulos (eds). Proceedings of

the International workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 8: 175-177

Reynolds, R.W. and Smith, T.M. 1994. Improved global sea surface temperature analysis using optimum interpolation. J. Climate 7: 929-948

Ridewood, W.G. 1921. On the calcification of the vertebral centra in sharks and rays. Phil. Trans. Roy. Soc. London. Ser. B. 210: 311-407

Roedel, P.M. and W.E. Ripley. 1950. California sharks and rays. Cal. Fish Game, Fish. Bull. p: 75-88

Robles Gil, S. 1985. Estudio geográfico del estado de baja California Sur. Gob. del Edo./Prog. Cult. Front., La Paz. 203 pp.

Russ, G.R. 1991. Coral reef fisheries: effects and yields. *In:* P.F. Sale (ed). Academic Press. San Diego, U.S.A. p: 601-635

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. Summary paper. *In* Prince E.D. and L.M. Pulos, eds. Proceedings of the International workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 8: 167-174

Simpfendorfer, C. A., R. B. McAuley, J. Chidlow and P. Unsworth.2002. Validated age and growth of the dusky shark, *Carcharhinus obscurus*, from Western Australian waters. Mar. and. Freshwater Res. 53(2):567-573

Sminkey, T.R. and J.A. Musick. 1995. Age and growth of the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*, before and after population depletion. Copeia (4): 871-883

Stevens, J.D. 1975. vertebral rings as a means of age determination in the blue shark, *Prionace glauca.* J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 55: 657-665

Stevens, J.D. 1983. Observations on reproduction in the shortfin mako *Isurus oxyrinchus*. Copeia 1: 126-130

Stillwell, C.E. and N.E. Kohler. 1982. Feeding Habits, and estimates of daily ration of the shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) in the Northwest Atlantic. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39: 407-414

Thorson, T.B. and E.J. Lacy, Jr. 1982. Age, growth rate and longevity of *Carcharhinus leucas* estimated from tagging and vertebral rings. Copeia 1: 110-116

Villavicencio, C.J. 1996. Pesquería de tiburón y cazón. *En:* Casa, M. y G. Ponce (eds). Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. p: 305-315

Villavicencio, C.J. 1997. Tiburones capturados comercialmente en La Bahía de La Paz, B.C.S. *En:* Urbán R.J. y M. Ramírez (eds). La Bahía de La Paz, investigación y conservación. UABCS-CICIMAR-SCRIPPS. p:189-200

Watts, S. 2001. The End of the Line? Global threats to sharks. WildAid. 61 pp.

Walsh, J.J., J.C. Kelley, T.E. Whitledge and J.J. McIsaacs. 1974. Spin-up of the Baja California upwelling ecosystem. Limnol. Oceanogr. 19: 553-571

Wheatherley, A.H. and H.S. Gill. 1987. The biology of fish growth. Academic Press, USA. 440 pp.

Wyllie, J.G. 1966. Geostrophic flow of the California Current at the surface and at 200 meters. Calif. Coop. Fish. Invest. Atlas 4: 1-288

Wyrtki, K. 1965. Corrientes superficiales del Océano Pacífico tropical oriental. Interam. Trop. Tuna Comm. 9: 295-304

ANEXO I

Tabla 6.- Clave edad-longitud para *Isurus oxyrinchus*.

Intervalo de tallas	Edad														n
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	13	15	18	
71-80	1														2
81-90		1													1
91-100		1													3
101-110		0.85	0.15												20
111-120		0.29	0.59	0.12											17
121-130		0.13	0.38	0.38	0.13										8
131-140			0.23	0.54	0.23										13
141-150			0.13	0.38	0.38	0.13									8
151-160				0.21	0.43	0.36									14
161-170					0.4	0.4	0.2								10
171-180						0.25	0.5	0.25							4
181-190								1							1
191-200								0.5	0.5						2
201-210										1					1
211-220															
221-230															
231-240											0.67	0.33			3
241-250															
251-260															
261-270													1		1
271-280															
281-290														1	1
n	2	27	20	18	17	11	4	3	1	1	2	1	1	1	109