

**EDAD Y CRECIMIENTO DEL TIBURÓN MARTILLO *Sphyrna lewini*
(GRIFFITH Y SMITH, 1834) EN EL PACÍFICO CENTRAL DE MÉXICO**

**AGE AND GROWTH FOR THE SCALLOPED HAMMERHEAD SHARK,
Sphyrna lewini (GRIFFITH AND SMITH, 1834) ALONG THE CENTRAL
PACIFIC COAST OF MEXICO**

Vicente Anislado-Tolentino
Carlos Robinson-Mendoza

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,
Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado postal 70-305
México, D.F. 04510
E-mail:robmen@servidor.unam.mx

Recibido en septiembre de 2000; aceptado en agosto de 2001

RESUMEN

De julio de 1992 a julio de 1998 se capturaron 260 individuos de tiburón martillo (*Sphyrna lewini*, Griffith and Smith, 1834) en la costa de Michoacán, México (18°10'N, 103°10'W). Se tomaron 101 organismos, 50 machos y 51 hembras, para el análisis de anillos de crecimiento en el radio del *centrum* vertebral. Los resultados demuestran que inmediatamente después de nacer se forma un primer anillo. Posteriormente se forman dos anillos anuales, uno en junio-julio y otro en noviembre-diciembre. Por sexos, los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy fueron: $L_{\infty} = 353.3$ cm, $K = 0.156$ cm año⁻¹, $t_0 = -0.633$ años, $b = 2.8$ y $W_{\infty} = 269.2$ kg, para las hembras; y $L_{\infty} = 336.4$ cm, $K = 0.131$ cm año⁻¹, $t_0 = -1.091$ años, $b = 2.87$ y $W_{\infty} = 187$ kg, para los machos. De acuerdo con este estudio la hembra más grande (335.6 cm) tendría una edad de 18.6 años y el macho más grande (244.3 cm) 8.8 años.

Palabras clave: Edad, crecimiento, vértebras, *Sphyrna lewini*, tiburón martillo.

ABSTRACT

The age and growth of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini* (Griffith and Smith, 1834) were estimated from rings on the vertebral *centrum* in 101 individuals (51 females and 50 males) from 260 organisms obtained from commercial fisheries off the coast of Michoacán, Mexico (18°10'N, 103°10'W). Results show that immediately after birth, a first ring is formed. Later we observed that two rings are formed each year, one between June and July and the other between November and December. The parameters of the von Bertalanffy growth function were, for females, $L_{\infty} = 353.3$ cm, $K = 0.156$ cm yr⁻¹, $t_0 = -0.633$ years, $b = 2.8$ and $W_{\infty} = 269.92$ kg; and, for males, $L_{\infty} = 336.4$ cm, $K = 0.131$ cm yr⁻¹, $t_0 = -1.09$ years, $b = 2.87$ and $W_{\infty} = 187$ kg. According to these results, a female 335.6-cm-long would be 18.6 years old and a male of 244.3 cm would be 8.8 years old.

Key words: Age, growth, vertebra, *Sphyrna lewini*, scalloped hammerhead shark.

INTRODUCCIÓN

El tiburón martillo (*Sphyrna lewini*) se distribuye, en el Pacífico oriental, desde la costa oeste de California hasta Ecuador y posiblemente hasta el norte de Perú (Compagno, 1984). Es una especie aparentemente muy móvil y se desplaza formando grandes cardúmenes, como se ha documentado en el Golfo de California (Klimley y Brown, 1983).

Diversos han sido los trabajos sobre la biología de esta especie. Clarke (1971) examinó el crecimiento por medio del marcaje de neonatos, encontrando que las crías en Hawai, crecen hasta 1 cm en 33 días, y hasta 6 cm, en 78 días. Holden (1974) utilizó datos del periodo de gestación, la talla al nacer y la longitud máxima observada para estimar la tasa de crecimiento de la especie en el Golfo de México. Schwartz (1983) analizó el borde vertebral de *Sphyrna lewini* y del tiburón arenoso, *Carcharhinus obscurus*, del Golfo de California, utilizando la técnica de tinción del cristal violeta para la observación de los anillos de crecimiento. Branstetter (1987) investigó la edad y crecimiento de individuos de *S. lewini* del norte del Golfo de México mediante el conteo de anillos en el borde vertebral, encontrando la formación de un anillo por año. Chen *et al.* (1990), trabajando también con *S. lewini*, encontraron en la región noroeste de Taiwán la formación de un primer anillo de crecimiento al nacer y, posteriormente, dos anillos anuales. En otras especies de tiburón, se han desarrollado los estudios de edad estimando curvas de crecimiento por medio de anillos concéntricos en las vértebras. En algunas ocasiones estos estudios se han combinado con análisis de las frecuencias de longitudes buscando la relación entre longitud del organismo y formación de anillos (Thorson y Lacy, 1982; Ferreira y Vooren, 1991; Cailliet *et al.*, 1992; Parsons, 1993; Liu *et al.*, 1997).

En la costa michoacana, el tiburón martillo representa alrededor de un 70% de la biomasa

INTRODUCTION

In the eastern Pacific Ocean, the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, is distributed from the coast of southern California to Ecuador and, probably, to Peru (Compagno, 1984). It is a mobile species swimming in large schools, as reported for the Gulf of California (Klimley and Brown, 1983).

Several studies have been carried out about the age and growth of the scalloped hammerhead shark in different geographic areas. Clarke (1971) studied the growth of *S. lewini* using tags on newborn sharks taken off Hawaii, reporting their growth up to 1 cm in 33 days and up to 6 cm in 78 days. Holden (1974) used the time of gestation, the size at birth and the maximum length, to estimate the growth in the scalloped hammerhead shark in the Gulf of Mexico. Schwartz (1983) analyzed the vertebral edges of *S. lewini* and the dusky shark, *Carcharhinus obscurus*, from the Gulf of California, staining the vertebra with crystal violet to observe ring growth. Branstetter (1987) studied age and growth of *Sphyrna lewini* in the northern Gulf of Mexico by counting rings on the vertebral edge, finding an annual ring formation and implying a low growth rate. Chen *et al.* (1990), studying *S. lewini* from Taiwan, found the appearance of a first growth ring right after birth with semianual rings appearing thereafter. In other species of sharks, age studies have looked at the growth curve combined with the vertebral analysis and the length-structural analysis, searching for the relationship between shark length and ring formation (Thorson and Lacy, 1982; Ferreira and Vooren, 1991; Cailliet *et al.*, 1992; Parsons, 1993; Liu *et al.*, 1997).

The scalloped hammerhead shark represents about 70% of the biomass of elasmobranchs captured along the Michoacán coast during the rainy season. These captures total 50% of the biomass of all the fish captured in

de elasmobranchios capturada durante la época de lluvias y, de acuerdo a observaciones personales, puede llegar a aportar el 50% de la biomasa de todos los peces capturados en el área. Específicamente en la costa del estado de Michoacán (observación personal), la pesca del tiburón se sostiene principalmente por neonatos y juveniles del tiburón martillo (Ruiz, 1983; Madrid *et al.*, 1997). Sin embargo, no existe ningún estudio básico de edad y crecimiento que proporcione los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy para esta especie en aguas mexicanas. El objetivo de este estudio es conocer los parámetros principales de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy por medio de lecturas de los anillos de crecimiento (zonas opacas) en vértebras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se capturaron 260 individuos de *S. lewini* de 1992 a 1998. Todos los organismos pertenecieron a capturas comerciales del litoral michoacano, principalmente del poblado de Caleta de Campos (entre los 18°00' y 18°10'N y los 102°28' y 103°10'W) (fig. 1). Los muestreos fueron trimestrales, se efectuaron durante los períodos de luna nueva y tuvieron una duración promedio de siete días de participación activa en la pesca comercial, de tal manera que se cubrieran todos los meses durante los años de captura (tabla 1).

De los 260 individuos, se seleccionaron 51 hembras y 50 machos para el conteo de anillos en las vértebras, definiendo como anillo, una marca opaca en el radio del *centrum* vertebral posterior a una marca hialina (Chen *et al.*, 1990). El criterio de muestreo vertebral consistió en que los organismos se descargaran enteros en la playa, esto es, con cabeza y vísceras. Las muestras biológicas consistieron en cinco vértebras de cada individuo, las cuales fueron extraídas de la región postcefálica, limpiadas, separadas y conservadas con isopropanol al 70%.

the area (personal observations). In this area, the fishery of the hammerhead shark is maintained mainly by newborn and juvenile specimens (Ruiz, 1983; Madrid *et al.*, 1997). There are no basic age and growth studies of this species for the Mexican waters. The objective of this study is to determine the main parameters of the von Bertalanffy growth equation by means of readings of growth rings (opaque zones) in the vertebrae.

MATERIALS AND METHODS

From 1992 to 1998, 260 individuals of *S. lewini* were obtained from the commercial captures off the Michoacán coast, mainly off the town of Caleta de Campos (between 18°00' to 18°10'N and 102°28' to 103°W) (fig. 1). The samplings were taken quarterly and during new moon periods. Each sampling consisted of seven days of active participation in the commercial fishery. We covered every month during the years of capture (table 1).

From the 260 individuals, 51 females and 50 males were selected for the ring count of the vertebrae. We define rings as opaque marks on the edge of the vertebra, appearing after a hyaline mark (Chen *et al.*, 1990). The sampling criteria were that all specimens had to be intact when landed, as well as complete with head and viscera. Five vertebrae were used from each individual. Each group of vertebrae were extracted from the postcephalic region, cleaned, separated and preserved in 70% isopropyl alcohol.

The technique used for the preparation of the vertebrae for their readings was: (1) rinse with running water for 5 to 15 minutes; (2) remotion of the connective tissue with 5.6% sodium hypochlorite for five minutes to 12 hours, depending on size (Bonfil *et al.*, 1993); (3) section along sagittal plane with saw and polish with sandpaper; and (4) rinse of two sections of different vertebrae from the same specimen with running water and overstain with

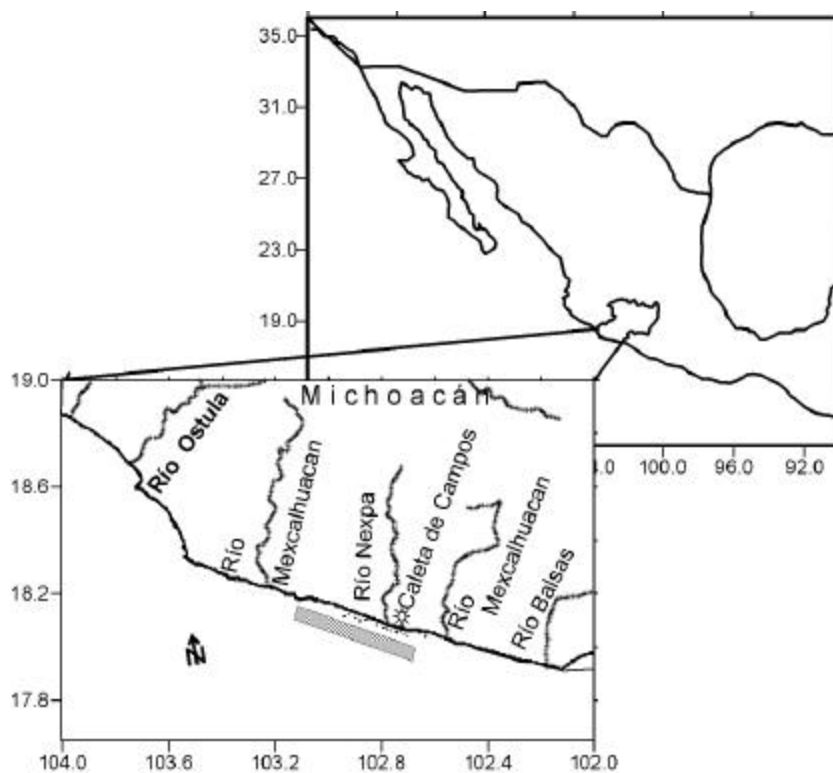


Figura 1. Area de estudio en la costa del Pacífico Mexicano.
Figure 1. Study area along the Pacific coast of Mexico.

La técnica utilizada para la preparación de las lecturas de las vértebras fue la siguiente: (1) enjuague con agua corriente durante períodos de 5 a 15 minutos; (2) remoción del tejido conectivo con hipoclorito de sodio al 5.6% durante períodos de 5 minutos a 12 horas, con uno o dos cambios de solución según el tamaño (Bonfil *et al.*, 1993); (3) se les practicó un corte longitudinal con una segueta de calado manual para acero y posteriormente fueron pulidas progresivamente con lijas de agua del número 200 al 800; y, finalmente, (4) se enjuagaron dos fracciones diferentes de vértebras del mismo organismo con agua corriente y se les aplicó una sobretinción con cristal violeta al 0.01%,

0.01% crystal violet, removing the excess with 50% isopropyl alcohol (Schwartz, 1983).

We used a microscope to observe and count the number of rings in the vertebra for age determination. We used a reflected light microscope with a scaled ocular micrometer parallel to the vertebral *centrum* (Cv, normally called *corpus calcareum*) in the right dorsal region of the vertebra (fig. 2).

In this region we measured the vertebral radius (R), r_i , the distance from the focus (F) to the inferior edge of each ring (opaque zone); and r_n , the distance from the focus to the inferior edge of the last ring, considering the focus as the origin of the vertebra.

Tabla 1. Calendario de colectas.**Table 1.** Sampling calendar.

Mes	Años de muestreo	Mes	Años de muestreo
Enero	1993, 1996, 1998	Julio	1992, 1995, 1996, 1998
Febrero	1994, 1997	Agosto	1993, 1994, 1997
Marzo	1993, 1995, 1996	Septiembre	1992, 1995, 1996
Abril	1994, 1997, 1998	Octubre	1993, 1994, 1997
Mayo	1993, 1995, 1996	Noviembre	1992, 1995, 1996
Junio	1994, 1997	Diciembre	1993, 1994, 1997

retirando el exceso de colorante con isopropanol al 50% (Schwartz, 1983).

Una vez efectuados los procedimientos anteriores, se observó y se contó el número de anillos de la vértebra para la determinación de la edad con un microscopio con luz reflejada, provisto de un ocular micrométrico con escala paralela al *centrum* vertebral (Cv) (normalmente llamado *corpus calcareum*), en la región dorsal derecha (fig. 2). En esta región se realizaron las mediciones del radio del *centrum* vertebral (R), de r_i que es la distancia del foco (F) al borde inferior de cada anillo, y de r_n , que es la distancia del foco al borde inferior del último anillo, entendiéndose como foco el origen de la vértebra.

Incremento Marginal

La frecuencia anual de formación de anillos de crecimiento se estimó por medio de cambios mensuales en el incremento marginal (IM) usando la relación propuesta por Lai y Liu, (1979):

$$IM = (R - r_n)/(r_n - r_{n-1})$$

Marginal increment

We measured the annual frequency of growth-ring formation using monthly changes in the marginal increment (IM), according to the relationship proposed by Lai and Liu (1979):

$$IM = (R - r_n)/(r_n - r_{n-1})$$

where r_{n-1} is the distance from the focus to the penultimate ring.

Back calculation

The back calculation of Fraser-Lee (Francis, 1990) was made using a nonlinear regression between the total length (LT) and the vertebral radius (R). From this relation, the y-intercept (a_0) and slope (b_0) are given by:

$$LT_{pi} = [(LT_c + a_0) (r_i^{b_0}/R^{b_0})] - a_0,$$

where LT_{pi} is the past length to the ring i , and LT_c is the total length at capture.

donde r_{n-1} es la distancia que va del foco al penúltimo anillo.

Retrocálculo

El retrocálculo de Fraser-Lee (ver Francis, 1990) se estimó por medio de regresión no lineal entre la longitud total (LT) y el radio vertebral (R). De esta relación, la ordenada al origen (a_0) y la pendiente (b_0) se incorporaron a la función:

$$LT_{pi} = [(LT_c + a_0) (r_i^{b_0}/R^{b_0})] - a_0,$$

donde LT_{pi} es la longitud total pretérita al anillo i y LT_c es la longitud total a la captura.

Crecimiento

Posteriormente se obtuvieron parámetros para la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy (ECVB), la cual se expresa de la siguiente forma:

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

donde LT es la longitud total al tiempo t , L_{∞} es la longitud máxima teórica a la que puede llegar un individuo, K es la constante de crecimiento, t es el tiempo en años, y t_0 es el tiempo hipotético cuando la longitud es cero.

L_{∞} fue estimada por el método de Chapman (1961) y Gulland (1969) por medio de:

$$LT_{(t+1)} - LT = a_1 + b_1 * LT$$

donde $LT_{(t+1)}$ es la longitud total al tiempo $t+1$, a_1 es la ordenada al origen, b_1 es la pendiente, y $L_{\infty} = a_1/-b_1$.

K y t_0 fueron calculados por el método de Gulland y Holt (1959), por medio de:

$$\text{Ln} (1 - (L_{\infty}/LT)) = a_2 + b_2 * t,$$

Growth

We calculated the parameters of the von Bertalanffy growth equation (VBGE), expressed as:

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

where LT is the total length at time t , L_{∞} is the maximum length of the organism, K is the growth coefficient, t is the time in years and t_0 is the hypothetical time when length is zero. L_{∞} was estimated using the method by Chapman (1961) and Gulland (1969) using:

$$LT_{(t+1)} - LT = a_1 + b_1 * LT$$

where $LT_{(t+1)}$ is the total length at time $t+1$, a_1 is the y-intercept, b_1 is the slope, and L_{∞} is $a_1/-b_1$.

K and t_0 were calculated using the Gulland and Holt (1959) method, using:

$$\text{Ln} (1 - (L_{\infty}/LT)) = a_2 + b_2 * t$$

Resolving,

$$K = -b_2 \text{ and } t_0 = a_2/-b_2.$$

Weight-length relationship

The relationship between total weight (PT) and the total length was examined for females and males. In pregnant females, the weight of the embryos was not included in the weight of the mother. The statistical comparisons were made using a one-way analysis of variance. In order to observe the age at which the growth between females and males can change, a two-way analysis of variance, without replicates, was used and, after this, a Bonferroni test of the positive critical difference (PCD) was carried out (Weimer, 1996).

y, despejando:

$$K = -b_2 \text{ y } t_0 = a_2 / -b_2.$$

Relación peso-longitud

La relación entre el peso total (*PT*) y la longitud total fue examinada para hembras y machos, restando el peso de los embriones del peso total de las hembras.

Las comparaciones estadísticas se realizaron por medio del análisis de varianza de una vía mientras que, para la comparación del retrocálculo, se usó el análisis de varianza de dos vías sin réplicas y, posteriormente, la prueba de la diferencia crítica positiva (DCP) de Bonferroni (Weimer, 1996), a fin de observar la edad en la que el crecimiento entre las hembras y los machos puede cambiar.

RESULTADOS

Relación entre el radio del *centrum* vertebral y la longitud total

La relación encontrada entre el radio del *centrum* vertebral (*R*) con respecto a la longitud total (*LT*) fue de tipo curvilíneo (fig. 3) encontrando para las hembras:

$$LT = 182.78 R^{0.756}$$

($r = 0.985$, desv. est. (S) = 12.34, $n = 51$)

y para los machos:

$$LT = 175.486 R^{0.682}$$

($r = 0.972$, $S = 11.19$, $n = 50$).

Este tipo de comportamiento representa una disminución en el crecimiento de la vértebra en los tiburones de gran tamaño.

Tiempo de formación de anillos (zonas opacas)

Con base en el análisis del incremento marginal (*IM*) se aprecian dos valores mínimos,

RESULTS

Relationship between the radius of the vertebral *centrum* and the total length

The relationship between the radius of the vertebral *centrum* (*R*) in respect to the total length was curvilinear (fig. 3) and we found, that for females

$$LT = 182.78 R^{0.756}$$

($r = 0.985$, std. dev. (S) = 12.34, $n = 51$)

and, for males

$$LT = 175.48 R^{0.682}$$

($r = 0.972$, $S = 11.19$, $n = 50$).

This behavior represents a decrease in the growth of vertebrae in sharks of great size.

Time of ring formation (opaque zones)

For the analysis of the marginal increment (*IM*), two minimum values were found, one during the summer (June-July) and another in winter (November-December) (fig. 4). We deduced that a ring forms every half of a year. The observed deviations could be a consequence of the intrinsic variability of the population. Additionally, the vertebrae of 38 unborn embryos and of 39 newborns were analyzed. The terminal embryos were collected during the time of parturition (May-June) and did not have or display a ring, whereas the newborn were collected in June and July and displayed a noticeable ring.

According to the behavior of the marginal increase (*M*), we concluded that right after birth the first growth ring forms (June-July). The second ring then forms in winter (November-December) and, by the first year of life, the shark will have three growth rings on its vertebrae.

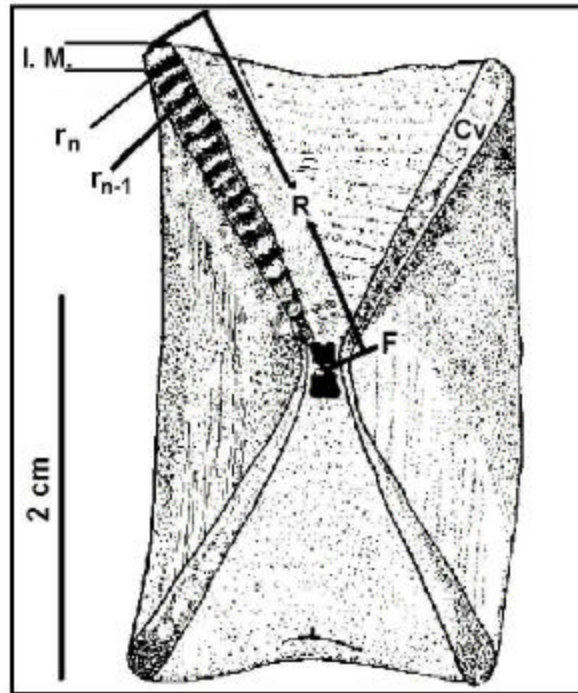


Figura 2. Sección vertebral preparada para el conteo de anillos de crecimiento: Cv = *Centrum* vertebral, F = foco, R = radio vertebral, r_i = distancia del foco al anillo i, r_{n-1} = distancia del foco al penúltimo anillo, IM = incremento marginal.

Figure 2. A vertebral section used for ring counting: Cv = vertebral *centrum*, F = focus, R = vertebral radius, r_i = distance from the focus to the ring i, r_n = distance from the focus to the last ring, r_{n-1} = distance from the focus to the penultimate ring, IM = marginal increment.

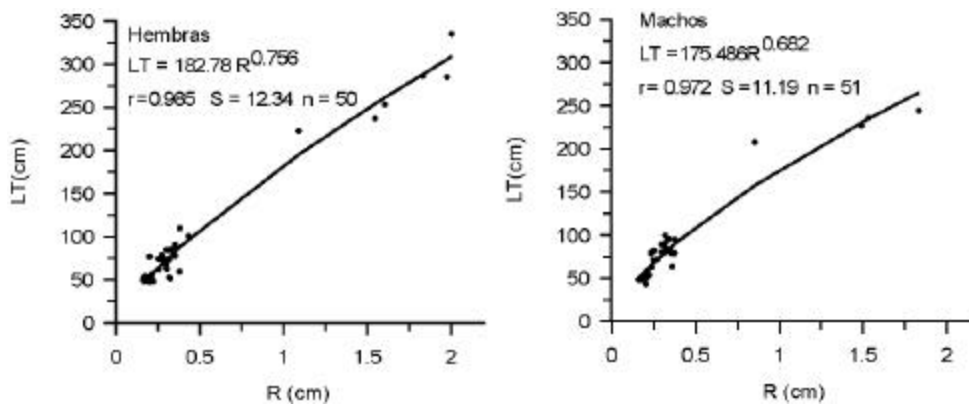


Figura 3. Relación curvilínea entre la longitud total (LT) y el radio vertebral (R).

Figure 3. Regression analysis between total length (LT) and vertebral radius (R).

uno durante el verano (junio-julio) y otro en invierno (noviembre-diciembre) (fig. 4), por lo que se deduce que cada medio año se forma un anillo. Las desviaciones observadas pueden ser consecuencia de la variabilidad intrínseca de la población.

Adicionalmente se analizaron las vértebras de 38 embriones terminales (dentro del vientre) y 39 neonatos (de vida libre pero con la inserción del cordón umbilical aún fresca). Los embriones terminales fueron colectados durante la época de parto (mayo-junio) y no presentaron anillo, mientras que los neonatos se colectaron en la época de lluvias (junio-julio) y presentaban un anillo bien marcado.

De acuerdo al comportamiento del incremento marginal, se puede concluir que inmediatamente después del nacimiento se forma el primer anillo de crecimiento (junio-julio). Consecuentemente, el segundo anillo se forma en invierno (noviembre-diciembre) y, para el primer año de vida, el tiburón contará con tres anillos de crecimiento en sus vértebras.

Es importante resaltar que el fenómeno de sobreposición de anillos (Lee, 1921, citado en: Chen *et al.*, 1990) fue observado en tres hembras de 285.6 cm de longitud total, con 18 ($n = 2$) y 19 ($n = 1$) anillos, mientras que un ejemplar de 335.6 cm de longitud total, sólo tenía 16 anillos. Por otro lado, en los machos, un ejemplar de 227 cm de longitud total presentó 16 anillos mientras que dos machos de mayor tamaño (de 236 y 244.3 cm de longitud total) presentaron 15 anillos. Lo anterior se debe a que estos ejemplares son representantes de las tallas más longevas de la población.

Retrocálculo

Las longitudes retrocalculadas fueron estimadas a través de las medidas individuales de cada radio del *centrum* vertebral (tabla 2). Se encontraron diferencias significativas entre hembras y machos ($F = 106.7$, $P > 0.0001$ g.l.: 1, 17).

The phenomenon of ring superimposition (Lee, 1921, in Chen *et al.*, 1990) was observed in three females of 286 cm in total length with 18 ($n = 2$) and 19 rings ($n = 1$), and one individual of 336 cm in total length had 16 rings. For the males, one individual of 227 cm in total length displayed 16 rings and two males of greater size (236 and 244 cm in total length) had 15 rings. We assumed that these individuals represent the older sharks of this population.

Back calculation

The back calculation lengths were estimated by the individual measures of each radius of the vertebral *centrum* (table 2). There were significant differences between females and males ($F = 106.7$, $P < 0.0001$, d.f.: 1, 17).

During the first 5 years of life, results of the Bonferroni test do not display a positive critical difference ($PCD = 126$, $P > 0.05$), which corresponds to the first sexual maturity observed. The average length at birth calculated by back calculation was 44.9 cm for females and 49.4 cm for males. This relationship was verified by means of the observation of 150 terminal embryos of 46 to 50 cm in total length. There was no significant difference between the sizes of the terminal embryos and those of the newborn sharks ($F = 1.84$, $P > 0.05$, d.f.: 1,150).

Estimation of the parameters of the von Bertalanffy growth equation

The parameters estimated for the growth curve were $L_{\infty} = 353.3$ cm, $K = 0.153$ cm yr⁻¹ and $t_0 = -0.633$ years for females; and $L_{\infty} = 336.4$ cm, $K = 0.131$ cm yr⁻¹ and $t_0 = -1.091$ years, for males (fig. 5). Accordingly, the largest female (335.6 cm) would have an age of 18.6 years and the largest male

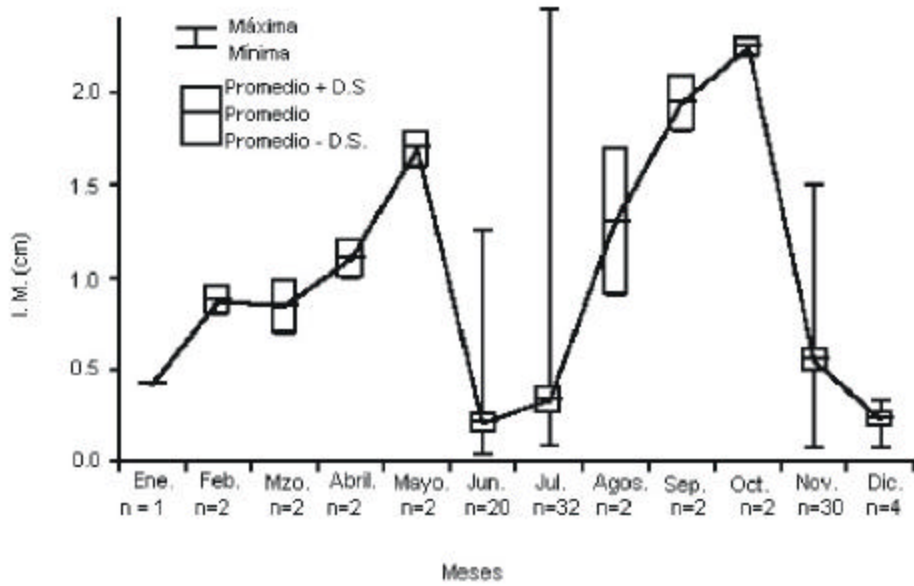


Figura 4. Relación de la variación mensual del incremento marginal (IM).
Figure 4. Monthly variation of the marginal increment (IM).

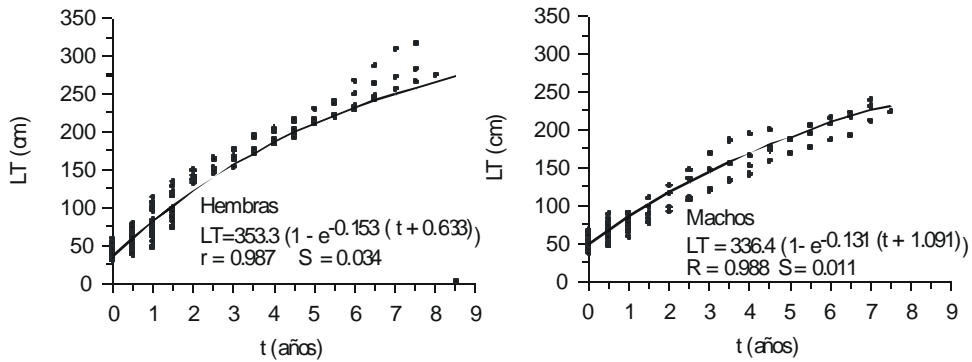


Figura 5. Curva de crecimiento de von Bertalanffy.
Figure 5. Von Bertalanffy's growth curve.

Tabla 2. Longitudes estimadas por retrocálculo. Mínima – promedio – máxima (número de ejemplares).
Table 2. Back-calculated length. Minimum – average – maximum (number of individuals) .

Sexo	Anillo Edad	1 0+	2	3 1+	4	5 2+
Machos	Observada	44.7 – 51.9 – 56.6 (22)	50.9 – 68 – 94.3 (11)	63.6 – 84.1 – 95.6 (10)	73.8 – 82.2 – 86 (3)	N. A. (0)
	Retrocalculada	38 – 49.4 – 68.1 (50)	47.3 – 66.5 – 89.4 (27)	59.7 – 78 – 91.5 (17)	78.2 – 89.9 – 110.8 (7)	92.8 – 109 – 127.2 (4)
Hembras	Observada	47.8 – 51.6 – 54.3 (16)	48.5 – 62.1 – 84.3 (8)	53 – 70.7 – 90.7 (13)	78 – 85.6 – 101.7 (7)	101 (1)
	Retrocalculada	31 – 44.9 – 59.8 (51)	38.4 – 59.1 – 79.4 (34)	47 – 70.24 – 83.3 (27)	73.6 – 86.3 – 100.5 (14)	96.9 – 103.7 – 114.5 (7)
Sexo	Anillo Edad	6	7 3+	8	9 4+	10
Machos	Observada	N. A. (0)	N. A. (0)	N. A. (0)	N. A. (0)	208 (1)
	Retrocalculada	108 – 125.7 – 146.8 (4)	120.6 – 139.8 – 169 (4)	132.7 – 152 – 186.3 (4)	141.4 – 163.7 – 194.7 (4)	159.5 – 177.6 – 206.7 (4)
Hembras	Observada	N. A. (0)	N. A. (0)	N. A. (0)	N. A. (0)	N. A. (0)

Sexo	Anillo Edad	6	7	8	9	10
			3+		4+	
	Retrocalculada	116.2 – 122.9 – 134.4 (6)	132.6 – 138.9 – 149.3 (6)	146.1 – 154.2 – 165.3 (6)	154.2 – 167.5 – 176.64 (6)	170.8 – 180.8 – 194.9 (6)

Tabla 2 (Cont.)

Sexo	Anillo Edad	11	12	13	14	15
		5+	6+	6+		7+
Machos	Observada	N. A: (0)	N. A:(0)	N. A:(0)	N. A. (0)	236 – 240.2 – 244.3 (2)
	Retrocalculada	169.9 – 181.5 – 187.6 (3)	176.6 – 193.1 – 206 (3)	186.6 – 203.5 – 216 (3)	193 – 211 – 222.3 (3)	211.9 – 227.7 – 239.7 (3)
Hembras	Observada	223 (1)	223 (1)	N. A. (0)	N. A. (0)	237 (1)
	Retrocalculada	185.4 – 192.2 – 264.7 (6)	192.9 – 203.6 – 215.9 (6)	210.4 – 216.2 – 230.7 (5)	220.5 – 228.3 – 240.3 (5)	229.3 – 242.5 – 268 (4)

Sexo	Anillo Edad	16	17	18	19
			8+		9+

Durante los primeros 5 años de vida, la prueba de Bonferroni no muestra una diferencia crítica positiva ($DCP = 126, P > 0.05$), que correspondería a la primera madurez sexual observada en este trabajo. La talla promedio de nacimiento calculada por el retrocálculo fue de 44.9 cm, para las hembras, y de 49.4, para los machos. Esta relación fue verificada mediante la observación de 150 embriones terminales con un rango de 46 a 50 cm de longitud total. No existió diferencia significativa entre las tallas de los embriones terminales y las de los neonatos ($F = 1.84, P > 0.05, g.l.: 1, 150$).

Estimación de los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy

Los parámetros estimados para la curva de crecimiento fueron: $L_{\infty} = 353.3$ cm, $K = 0.153$ cm año⁻¹ y $t_0 = -0.633$ años, para las hembras, y $L_{\infty} = 336.4$ cm, $K = 0.131$ cm año⁻¹ y $t_0 = -1.091$ años, para los machos (fig. 5). De acuerdo con este estudio, la hembra más grande (335.6 cm) tendría una edad de 18.6 años y el macho más grande (244.3 cm) tendría 8.8 años.

La talla de nacimiento de las hembras, por medio de las ecuaciones obtenidas, solamente se subestima en 14 cm. Este valor puede ser el resultado de la falta de ejemplares de tallas entre 100 y 145 cm (aproximadamente de 2.5 a 5 años).

Las ecuaciones obtenidas, en sus cálculos desde el nacimiento hasta los 7 años de edad, muestran diferencias significativas entre machos y hembras ($F = 14.7, P < 0.05, g.l.: 1, 15$). Las tallas de primera madurez sexual observadas para las hembras fueron de 223 cm, con una edad estimada de 5.8 años y, para los machos, de 170 cm, con una edad calculada en 4.3 años.

(244.3 cm) 8.8 years. By means of the equations obtained the length at birth for the females was underestimated by just 14 cm. This value could be the result of the absence of individuals of 100 cm to 145 cm (about 2.5 to 5 years) during the sampling.

The equations obtained in the calculations from birth to 7 years showed significant differences between males and females ($F = 14.7, P < 0.05, d.f.: 1, 15$). The first sexual maturity length observed for females was 223 cm, corresponding to an age of 5.8 years and, for males it was 170 cm with an age of 4.3 years.

Weight-length relationship

The relationship between the total weight (PT) and the total length (fig. 6) were, for females:

$$PT = 2.0 * 10^5 * LT^{2.8}$$

($r = 0.98, S = 8.22, n = 42$);

and for males:

$$PT = 1.05 * 10^5 * LT^{2.87}$$

($r = 0.98, S = 3.04, n = 39$).

The analysis of variance for these two curves suggested a statistical significant difference ($F = 14.7, P < 0.05, d.f.: 1, 15$). The equations of weight in relation to time, transformed to the von Bertalanffy growth equation were, for females:

$$PT = 269.2 (1 - e^{-0.156(t + 0.576)})^{2.8};$$

and for males:

$$PT = 187 (1 - e^{-0.131(t + 1.091)})^{2.87}.$$

Relación peso-longitud

Las relaciones entre el peso total (PT) y la longitud total (fig. 6), presentaron las siguientes funciones:

$$PT = 2 * 10^{-5} * LT^{2.8}$$

($r = 0.98$, $S = 8.22$, $n = 42$),

para las hembras y, para los machos:

$$PT = 1.05 * 10^{-5} * LT^{2.87}$$

($r = 0.98$, $S = 3.04$, $n = 39$).

El análisis de varianza para estas dos curvas sugiere una diferencia estadísticamente significativa ($F = 14.7$, $P < 0.05$, g.l.: 1, 15). Las ecuaciones del peso total con relación al tiempo, transformadas a la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy son, para las hembras:

$$PT = 269.2 (1 - e^{-0.156(t + 0.576)})^{2.8};$$

y, para los machos:

$$PT = 187 (1 - e^{-0.131(t + 1.091)})^{2.87}.$$

DISCUSIÓN

Relación entre el radio del *centrum* vertebral y la longitud total

El tipo de relación encontrada en este estudio no es muy común. Los reportes de relaciones curvilíneas en tiburones incluyen solo especies del cinturón tropical (del Trópico de Cáncer al Trópico de Capricornio) como son, el cazón (*Galeorhinus galeus*) del sureste de Brasil (Ferreira y Vooren, 1991), el tiburón zorro (*Alopias superciliosus*) (Liu *et al.*, 1997) y el mismo tiburón martillo (*Sphyrna lerwini*) (Chen *et al.*, 1990), ambos del noreste de

DISCUSSION

Relationship between the radius of the vertebral *centrum* and the total length

The type of relationship between the radius of the vertebral *centrum* and the total length found in this study is not common, though the reports about curvilinear relationships in sharks include only species of the tropical belt (from the Tropic of Cancer to the Tropic of Capricorn); the school shark (*Galeorhinus galeus*) off southeastern Brazil (Ferreira and Vooren, 1991), the bigeye thresher shark (*Alopias superciliosus*) (Liu *et al.*, 1997) and the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) (Chen *et al.*, 1990), both off northeast Taiwan. This behavior will have to be studied through comparison with other species of this region.

Marginal increment

With respect to the appearance of a ring immediately after birth, this phenomenon is also reported for the hammerhead shark by Branstetter (1987) and Chen *et al.* (1990). This is possible if the food being ingested promotes a momentary retardation of growth of sufficient length so that the new individual adapts itself to its new environment (Hoar and Randall, 1969). The regularity in the appearance of rings does not agree with Branstetter (1987) and Schwartz (1983), who reported an annual ring.

As for the regularity in the formation of the ring, Chen *et al.* (1990) also reports two periods of growth ring formation that occur in summer and winter. A similar behavior is also mentioned by Pratt and Casey (1983) for the shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*), Parker and Stott (1965, in Schwartz, 1983) for the basking shark (*Cetorhinus maximus*), and by Thorson and Lacy (1982) for the bull shark (*Carcharhinus leucas*).

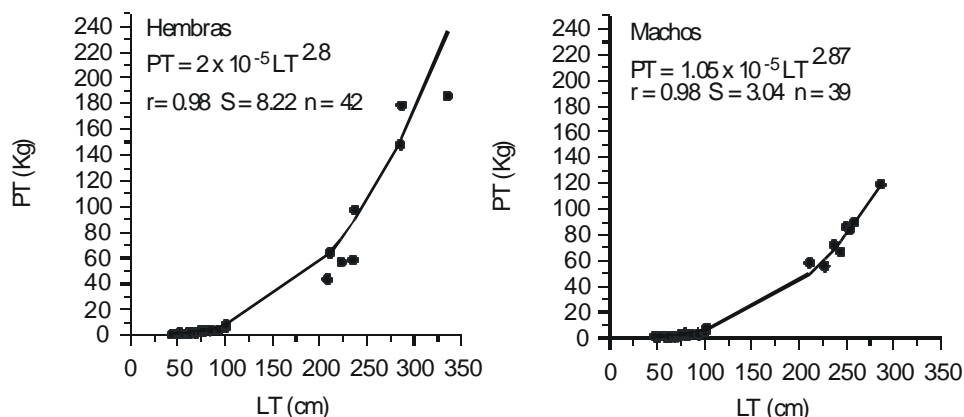


Figura 6. Relación curvilínea del peso total (PT) con la longitud total (LT).
Figure 6. Curvilinear relationship between total weight (PT) and total length (LT).

Taiwán. Este comportamiento deberá de ser estudiado a través de la comparación con otras especies de esta región.

Incremento marginal

Con respecto a la aparición de un anillo inmediatamente después de nacer, este fenómeno también es reportado para el tiburón martillo por Branstetter (1987) y Chen *et al.*, (1990). Esto es posible, si el alimento al ser ingerido promueve un retardo momentáneo del crecimiento lo suficientemente largo para que el nuevo individuo se adecue al medio (Hoar y Randall, 1969). La periodicidad de aparición de anillos no coincide con los trabajos de Branstetter (1987) y de Schwartz (1983), quienes reportan un anillo anual.

Para la periodicidad en la formación de anillos, Chen *et al.* (1990) también reportan dos períodos de formación que se presentan en el verano y en el invierno. Fenómenos similares son también mencionados para el marrajo dientes (*Isurus oxyrinchus*) por Pratt y Casey (1983); para el tiburón peregrino (*Cetorhinus maximus*), por Parker y Stott (1965, en: Schwartz, 1983), y por Thorson y Lacy (1982), para el tiburón chato (*Carcharhinus leucas*).

The ring that forms in summer, in adults, is probably associated to the reproductive behavior, as much as for parturition as for mating, because it implies a high energetic expense (Wourms *et al.*, 1988). In immature sharks, the ring can originate because of the increase in the food ingested (Yudin and Cailliet, 1990). The winter ring may be produced by temperature changes as reported by Stevens (1975) for the blue shark (*Prionace glauca*). Along the central Pacific coast of Mexico, the warm temperature of the water during the summer (27°C) decreases considerably in winter (22°C). This change in the temperature may cause the scalloped hammerhead shark to move towards warmer water, producing the winter ring. This behavior has been reported for this same species in the Gulf of California (Klimley and Brown, 1983). This change causes a delay in the growth rate and also increases the energetic costs for feeding and temperature regulation (Carey *et al.*, 1982; Yudin and Cailliet, 1990).

Back calculation

There were significant differences ($P < 0.05$) between the total length estimated by back calculation for each ring and those

El anillo que se forma en verano en los adultos, probablemente se encuentra asociado al comportamiento reproductivo, tanto de parto como de apareamiento, ya que implica un alto gasto energético (Wourms *et al.*, 1988). En los tiburones inmaduros, el anillo puede ser originado por el incremento en la alimentación (Yudin y Cailliet, 1990). El anillo de invierno puede ser producido por cambios en la temperatura, tal como lo reporta Stevens (1975), para el tiburón azul (*Prionace glauca*). A lo largo de la costa del Pacífico central de México, la temperatura del agua en verano (27°C) disminuye considerablemente hacia el invierno (22°C), lo que puede provocar que el tiburón martillo se mueva junto con el agua cálida, produciendo el anillo de invierno. Este comportamiento ha sido reportado para esta misma especie en el Golfo de California (Klimley y Brown, 1983). Este cambio causa un retraso en la tasa de crecimiento y, por otro lado, incrementa el gasto energético para la alimentación y regulación de la temperatura (Carey *et al.*, 1982; Klimley, 1987; Yudin y Cailliet, 1990).

Retrocálculo

Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las longitudes totales estimadas para cada anillo por el retrocálculo y los resultados de los trabajos realizados por Schwartz (1983), Branstetter (1987) y Chen *et al.*, (1990), para esta especie. Existen diferencias con lo encontrado por Schwartz (1983), sin embargo, este autor no infiere un crecimiento tipo ECVB por lo que en las primeras edades subestima hasta un 17% la longitud total, mientras que, en edades juveniles, sobrestima en un 10% las longitudes ($F = 9.7$; $P < 0.05$; g.l.: 19, 8). La talla de nacimiento estimada en el presente trabajo está dentro de los rangos reportados, esto es, de 38 a 50 cm (Applegate *et al.*, 1979; Compagno, 1984).

reported by Schwartz (1983), Branstetter (1987) and Chen *et al.*, (1990). Our results were different to those reported by Schwartz (1983), however, this author does not assume a von Bertalanffy growth pattern and, therefore, during the first ages there is a 17% underestimation in the total length and a 10% overestimation during juvenilehood ($F = 9.7$; $P < 0.05$; d.f.: 19, 8). The length at birth estimated in the present study is within the limits reported by Applegate *et al.*, (1979) and Compagno (1984) (38 to 50 cm).

Even though the results of this study are significantly different to those obtained by Schwartz (1983), Branstetter (1987) and Chen *et al.* (1990) ($P < 0.05$), these discrepancies can be caused by the geographic difference at capture or by the sampling size.

Growth

According to Branstetter (1990), a growth coefficient (K) in the von Bertalanffy growth equation between 0.05 and 0.1 yr^{-1} corresponds to a slow growing species, one between 0.1 and 0.2 yr^{-1} indicates a moderate growing species, while one between 0.2 and 0.5 yr^{-1} corresponds to a fast growing species. In this study, we found a moderate growth ($K = 0.156 \text{ yr}^{-1}$ for females and $K = 0.131 \text{ yr}^{-1}$ for males) (table 3), similar to that found by Chen *et al.* (1990), who reported a $K = 0.16 \text{ yr}^{-1}$ for males and 0.18 yr^{-1} for females. The values differ significantly to Holden's (1974) who reported a $K = 0.054 \text{ yr}^{-1}$ and Branstetter's (1987) who reported a $K = 0.073 \text{ yr}^{-1}$. Branstetter (1987) did not sample during the critical seasons, i.e. summer (mating season) and winter, assuming therefore a single annual ring. In this respect, Holden (1974) made direct reference to gestation time and birth size, but these carried two error sources: an intrinsic one, since intrauterine growth is supposed similar to free-life growth, which is questionable

Tabla 3. Comparación de los parámetros de crecimiento en algunos estudios para el tiburón martillo.
Table 3. Comparison of growth parameters from several studies for the scalloped hammerhead shark.

Parámetro	Clark (1971)	Holden (1974)	Branstetter (1987)	Chen <i>et al.</i> (1990)		Presente trabajo	
				Hembras	Machos	Hembras	Machos
L_{∞} (cm)	---	309	329	319	321	353.3	336.4
K (años ⁻¹)	---	0.054	0.073	0.249	0.222	0.156	0.131
t_0 (años)	---	-1	-2.2	-0.413	-0.746	0.633	1.091
Talla al nacer (cm)	40 a 50	45	49	61.6	56.8	47.8	44.7
$= aLT^b$	a	$2.76 \cdot 10^{-6}$	---	$2.82 \cdot 10^{-6}$	$1.35 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1.05 \cdot 10^{-5}$
	b	3.07	---	3.129	3.252	2.8	2.87

La relación entre la longitud total (LT) y el radio vertebral (R) obtenida en este trabajo difiere de lo presentado por Schwartz (1983), Branstetter (1987) y Chen *et al.*, (1990) ($P < 0.05$). Estas diferencias pueden estar dadas por el tamaño de la muestra o por las diferentes regiones geográficas en que se han realizado los estudios.

Crecimiento

De acuerdo con Branstetter (1990), el coeficiente de crecimiento (K) en la ecuación de von Bertalanffy puede caer en los siguientes rangos: de 0.05 a 0.1 año⁻¹ en especies de crecimiento lento; de 0.1 a 0.2 año⁻¹ en especies de crecimiento moderado; y de 0.2 a 0.5 año⁻¹ en especies de crecimiento rápido. Lo encontrado en este estudio muestra un crecimiento moderado ($K = 0.156$ año⁻¹, para las hembras, y $K = 0.131$ año⁻¹, para los machos) (tabla 3). Dentro de este crecimiento moderado se cataloga también el encontrado por Chen *et al.* (1990), quienes reportan un $K = 0.18$ año⁻¹, para las hembras, y $K = 0.16$ año⁻¹, para los machos. Sin embargo, estos coeficientes son diferentes a los reportados por Holden (1974), quien reporta un $K = 0.054$ año⁻¹,

as in oviparous and placental species, the growth rate increases as the newborn is free to swim (Castro and Wourms, 1993); and, an extrinsic one, due to the limited number and the veracity of reports and the different natural histories of the organisms reported in the literature, and at a greater extent to the gestation and mating seasons, which depend mainly on temperature (Pratt and Casey, 1990).

Relationship between total weight and total length

The weigh-length relationships investigated for this species in other regions were significantly different ($F = 11.6$, $P < 0.005$, d.f.: 6, 162). Clarke (1971) working with the population of this species off Hawaii found that, for an organism of 200 cm of total length the weight was 32 kg. Using the parameters obtained in the present work for the same length we calculated 55.5 kg for females and 42.2 kg for males. The weights observed in the captures were 45 to 48 kg for females and 40 to 45 kg for males.

Branstetter (1987), in the Gulf of Mexico, calculated a weight of 36.8 kg., Chen *et al.* (1990) in Taiwan calculated 44.7 kg for

y por Branstetter (1987), que reporta un $K = 0.073 \text{ año}^{-1}$. Branstetter (1987) no realizó muestreos durante las estaciones críticas, que son el verano (época de apareamiento) y el invierno, asumiendo, por lo tanto, la formación de un anillo anual. A este respecto, Holden (1974) hace referencia directa al tiempo de gestación y el tamaño al nacer, lo cual lleva consigo dos fuentes de error: una intrínseca, ya que supone que el crecimiento intrauterino es similar al de vida libre, lo cual es cuestionable, dado que en las especies ovíparas y placentarias la velocidad del crecimiento embrionario se retarda después de que el recién nacido es liberado al medio ambiente (Castro y Wourms, 1993); y otra extrínseca, debido a las limitaciones en cantidad y veracidad de los reportes y debido a las diferentes historias naturales de los organismos reportados en la literatura pero, sobretodo, debido a las temporadas de gestación y apareamiento, que dependen principalmente de la temperatura (Pratt y Casey, 1990).

Relación entre peso total y longitud total

Las relaciones peso-longitud investigadas en otras regiones para esta especie difieren todas y cada una de ellas ($F = 11.6$, $P < 0.005$, g.l.: 6, 162). Clarke (1971), trabajando con la población que habita en las costas de Hawai encontró que para un organismo de 200 cm de longitud total el peso es de 32 kg. Utilizando los parámetros obtenidos en el presente trabajo para esa misma talla el peso estimado es de 55.5 kg para las hembras y 42.2 kg para los machos. Los pesos observados en las capturas fueron de 45 a 48 kg para las hembras y de 40 a 45 kg para los machos.

Branstetter (1987) en el Golfo de México calcula un peso de 36.8 kg. Chen *et al.*, (1990) en Taiwan calcularon 44.7 kg para las hembras y 40.6 kg para los machos. Algunas de estas diferencias pueden estar asociadas con el clima, la geografía, con mecanismos de

females and 40.6 kg for males. Some of these differences can be associated with the climate, geography, the response to fishing pressures and sample size (Chen *et al.*, 1990; Cortes and Parsons, 1995).

ACKNOWLEDGMENTS

Thanks to P.A. Klimley and the anonymous referees for their valuable recommendations for the development of this work. To the fishermen, Isabel "El Churu" and Javier Magaña as to Arturo García Ochoa for their support in the fishing. Thanks to Catalina Salas and her family, and to Fernando Márquez F., Arturo Ruiz, Juan Madrid and Leonardo Castillo for their comments. This work was supported from August 1997 to August 1998 by the Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA-UNAM). Thanks to Ellis Glazier for editing the English-language text.

English translation by the authors.

respuesta al esfuerzo pesquero o con el tamaño de la muestra (Chen *et al.*, 1990; Cortés y Parsons, 1995).

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a P.A. Klimley y a los revisores anónimos por sus valiosas recomendaciones para el desarrollo de este trabajo. A los pescadores, Isabel "El Churu" y Javier Magaña, así como a Arturo García Ochoa, por su apoyo en las capturas; a Catalina Salas y su familia; a Fernando Márquez F., Arturo Ruiz, Juan Madrid y Leonardo Castillo, por sus comentarios. Este trabajo fue financiado, de agosto de 1997 a agosto de 1998, por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM. Gracias a Ellis Glazier por su revisión del texto en inglés.

REFERENCIAS

- Applegate, P.S., Espinosa-Arrubarrena, L., Menchaca-López, L. y Sotelo-Macías, F. (1979). Tiburones Mexicanos. Dir. Gral. de Cien. y Tec. del Mar. SEP. México. 146p.
- Bonfil, R., Mena, R. and de Anda, D. (1993). Biological parameters of commercially exploited silky sharks, *Carcharhinus falciformis*, from the Campeche bank, México: 73–85. In: Branstetter (Ed). Conservation biology of elasmobranchs US. Dep. Commer. NOAA. Tech. Report. NMFS. 115.
- Branstetter, S.D. (1987). Age, growth and reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis* and scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, from the northwestern Gulf of México. Env. Biol. Fish. 19(3): 161–173.
- Branstetter, S.D. (1990). Early life-history implications of selected carcharhinoid and lamnoid sharks of the Northwest Atlantic. 17–28. In: H.L. Pratt Jr., S.H. Gruber and T. Taniuchi. (Eds). Elasmobranchs as living resources: Advances in biology, ecology, systematics and status of fisheries US. Dep. Commer. NOAA. Tech. Rep. NMFS. 90.
- Caillet, G.M., Mollet, H.F., Pitterberger, G.G., Bedford, D. and Natanson, L.J. (1992). Growth and demography of the Pacific angel shark (*Squatina californica*), based upon tag returns off California. Aust. J. Mar. Freshwater Res. 43: 1313–1330.
- Carey, F.G., Kanwisher, J.W., Brazier, O., Gabrielson, G., Casey, J.G. and Pratt, H.L.Jr. (1982). Temperature and activities of the white shark *Carcharodon carcharias*. *Copeia*. (2): 254–260.
- Castro, I.J. and Wourms, J.P. (1993). Reproduction placentation and embryonic development of the atlantic sharpnose shark, *Rhizoprionodon terranova*. J. Morph. (218): 257–280.
- Chapman, D.G. (1961) Statistical problems in dynamics of exploited fishes populations. Proc 4th. Berkeley Symp. Math. and Probability. Cont. Biol. and Prob. Med. 4: 153–168. Univ. of California Press.
- Clarke, T.A. (1971). The ecology of the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini* in Hawaii. Pac. Sci. (25): 133–144.
- Chen, C.T., Leu, T.C. and Lou, N.Ch. (1990). Age and growth of the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, in northeastern Taiwan waters. Pac. Sci. 44(2): 156–170.
- Compagno, L.J.V. (1984). FAO. Species catalogue. vol 4. Sharks of the world and annotated and illustrated catalogue of sharks species known to date. Part. 2 (Carcharhiniformes) FAO. Fisheries Synopsis. 125, (4): p X, 251–655.
- Cortes, E. and Parsons, G.R. (1995). Comparative demography of two populations of the bonnethead shark (*Sphyrna tiburo*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 709–718.
- Ferreira, B.P., and Vooren, C.M. (1991). Age, growth, and structure of vertebra in the school shark *Galeorhinus galeus* (Linnaeus, 1758) from southern Brazil. Fish. Bull. 89: 19–31.
- Francis, R.C. (1990). Back-calculation of fish length: a critical review. J. Fish. Biol. 36: 883–902.
- Gulland, J.A. and Holt, S.H. (1959). Estimation of growth parameters for data at unequal time intervals. J. Cons. Int. Explor. Mer. 25(1): 47–49.
- Gulland, J.A. (1969). Manual of methods for fish stock assessment part I. Fish populations analysis. FAO. Man. Fish. Sci. (4): 154 p.
- Hoar, W.S. and Randall, D.T. (1969). Nutrition, digestion and energy utilization. In. Fish Physiology. Vol. I. Academic Press. N.Y., USA.
- Holden, M.J. (1974). Problems in the rational exploitation of elasmobranch populations and some suggested solutions. Pages 187–215. In. Jones. (Ed). Fisheries Research. J. Wiley and Sons. N.Y.
- Klimley, A.P. and Brown, S.T. (1983). Stereophotography for the field biologist: measurement of lengths and three-dimensional positions of free-swimming sharks. Mar. Biol. (74): 175–185.
- Klimley, A.P. (1987). The determinants of sexual segregation in the scalloped hammerhead shark, *S. lewini*. Env. Biol. Fish. 18 (1): 27–40.
- Lai, H.L. and Liu, H.C. (1979). Age determination of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) using four age structures. Bull. Int. N. Pac. Fish. Comm. 45: 66–98.

- Liu, K.M., Chiang, P.J. and Chen, Ch.T. (1997). Age and growth estimates of the bigeye thresher shark, *Alopias superciliosus*, in northeastern Taiwan waters. Fish. Bull. 96: 482–491.
- Madrid-Vera, J., Sánchez, P. and Ruiz, A. (1997). Diversity and Abundance of a Tropical Fishery on the Pacific Shelf of Michoacán, México. Estuar. Coast. Shelf Sci. 45, 485–495.
- Parsons, G.R. (1993). Age determination and growth of the bonnethead shark *Sphyrna tiburo*: a comparison of two populations. Mar. Biol. 117: 23–31.
- Pratt, Jr.H.L. and Casey, J.G. (1983). Age and growth of the shortfin mako, *Isurus oxyrinchus*, using four methods. Can. J. Fish. Aquat. Sci. (40): 1944-1957.
- Pratt, Jr.H.L. and Casey, J.G. (1990). Shark reproductive strategies as a limiting factor in direct fisheries, with a review of Holden's method of estimating growth-parameter. 97–108. In: H.L. Pratt Jr., S.H. Gruber and T. Taniuchi. (Eds). Elasmobranchs as living resources: Advances in biology, ecology, systematics and status of fisheries US. Dep. Commer. NOAA. Tech. Rep. NMFS. 90.
- Ruiz, L.A. (1983). Contribución al conocimiento de los peces marinos de importancia comercial en Bahía Bufadero, Michoacán, México. Tesis en Biología. Fac. de Ciencias. UNAM. 137 p.
- Schwartz, F.J. (1983). Sharks ageing methods and age estimation of the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, and dusky, *Carcharhinus obscurus*, sharks based on vertebral ring counts. Pages 167- 174. In: Prince E. D. and I. M. Pulos Eds. Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: Tuna, billfishes and sharks.. US. Dep. of Commer. NOAA. Tech. Rep. NMFS 8.
- Stevens, J.D. (1975). Vertebral rings as a means of age determination in the blue shark (*Prionace glauca* L.). J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 55: 221–225.
- Thorson, T.B. and Lacy, E.J. (1982). Age, growth rate and longevity of *Carcharhinus leucas* estimated from tagging and vertebral rings. Copeia (1): 110–115.
- Weimer Richard, C. (1996). Estadística. CECSA. México. 839 p.
- Wourms, J.P., Grove, B.D. and Lombardi, J. (1988). The maternal-embryonic relationship in viviparous fishes. In. Hoar W.S and D.J. Randall. (Eds). Fish Physiology, Vol. 1, Part B.. Acad. Press. N.Y. 1–134 p.
- Yudin, K. and Cailliet, G.Mc. (1990). Age and growth of the gray smoothhound *Mustelus californicus*, and the brown smoothhound *M. henlei*, sharks from central California. Copeia (1): 191–204.