



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RIO

**EDAD Y CRECIMIENTO DEL TIBURÓN ALETA DE CARTÓN
Carcharhinus falciformis (Bibron, 1839) REGISTRADO EN EL GOLFO DE
TEHUANTEPEC**

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TITULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

OPCIÓN: BIOLOGÍA MARINA

PRESENTA:

HEBER ZEA DE LA CRUZ

BOCA DEL RIO, VER

2007

RESUMEN

Se estimó la edad y el crecimiento del tiburón aleta de cartón, *Carcharhinus falciformis* a partir de la lectura de marcas de crecimiento en vértebras, durante el 2005 se recolectaron 127 muestras de vértebras de tiburones capturados en la flota artesanal tiburonera de Puerto Madero, Chiapas en el Golfo de Tehuantepec. Se encontró una relación lineal entre la longitud total (LT) de los organismos y el radio vertebral, la ecuación resultante que describe esta relación es para hembras $R = -1.22 + 0.061 (LT)$, para machos $R = -1.019 + 0.059 (LT)$, y para ambos sexos $R = -1.138 + 0.06 (LT)$. El coeficiente de correlación fue de 0.988 para todos los casos. Para estimar el crecimiento se utilizó la ecuación de Von Bertalanffy, los modelos que describen el crecimiento en longitud es para hembras $L_T = 315 (1 - e^{-0.106(t+1.642)})$, y para machos $L_T = 310 (1 - e^{-0.102(t+1.86)})$, para ambos sexos $L_T = 315 (1 - e^{-0.104(t+1.69)})$. Las tallas de nacimiento estimadas por esta ecuación de crecimiento fueron de 50 cm LT y 53 cm LT, para hembras y machos respectivamente. La edad de madurez sexual se estima para las hembras entre los 6 y 7 años con 177 cm LT y los machos a los 6 años con 168 cm LT. Las edades máximas teóricas que puede alcanzar esta especie son de 24 años para las hembras y 23 años para los machos.

Los modelos de crecimiento en peso resultantes fue para hembras $W_T = 143.5 (1 - e^{-0.106(t+1.642)})^{2.95}$, para machos $W_T = 143.34 (1 - e^{-0.102(t+1.86)})^{3.11}$, y para ambos sexos $W_T = 146.1 (1 - e^{-0.104(t+1.69)})^{3.02}$.

I. INTRODUCCION

1.1. La pesquería del tiburón.

La pesca del tiburón en las costas de México, constituye fundamentalmente una pesquería artesanal multiespecífica, la cual opera de acuerdo a la disponibilidad estacional del recurso (Castillo, 1992). Esta pesquería presenta problemas para su administración y regulación debido a que los modelos de evaluación usados en otras pesquerías no son apropiados para los tiburones (Anderson, 1990). La amplia distribución y hábitos migratorios de algunas especies de tiburón son otro de los factores que dificultan tanto el conocimiento de estos organismos como la instrumentación de medidas de manejo y protección (Tovar, 2000). La captura nacional de este recurso se ha mantenido estable en ambos litorales durante los últimos años en alrededor de 35 mil toneladas anuales (Castillo *et al.*, 1997).

Para México, el tiburón es un importante recurso pesquero por los ingresos y fuentes de trabajo que genera, ya que representa una significativa entrada de ingresos para un importante número de comunidades costeras de México, dependiendo de ella numerosos pescadores que explotan este recurso por medio de embarcaciones menores a lo largo de los litorales mexicanos (Tovar, 2000). Además la carne del tiburón es una opción de proteína animal para muchas de estas comunidades y para el resto del país, ya que el 90% de la captura total se destina para consumo humano (Bonfil, 1994). Al igual que la exportación de algunas partes del tiburón como las aletas, las cuales alcanzan precios altos en el mercado asiático, contribuyendo de manera significativa la captación de divisas.

En México se tiene conocimiento de más de 100 especies de elasmobranquios de las cuales 40 especies son importantes en la pesquería de ambos litorales (Applegate *et al.*, 1994), entre éstas se encuentra el tiburón aleta de cartón o sedoso *Carcharhinus falciformis*, que habita tanto en el Océano Pacífico como en el Golfo de México.

En la pesquería del litoral del Océano Pacífico destacan tres regiones productivas: el Golfo de Tehuantepec, el Golfo de California, y la costa occidental de la Península de Baja California (Soriano *et al.*, 2000). En el Golfo de Tehuantepec el principal puerto de desembarco es Puerto Madero, en el cual se concentra la flota de embarcaciones menores dirigida por permisionarios; otros puertos menores de desembarco de tiburón en el estado de Chiapas son Boca del Cielo, Costa Azul, Las Palmas y Paredón. En esta región la pesquería de tiburón es de tipo artesanal, las artes de pesca más utilizadas son cimbra, palangre y redes de enmalle, como consecuencia del uso de diferentes artes de pesca, la composición de la captura, además de ser multiespecífica, abarca una gran variedad de tallas y estadios de desarrollo (Soriano *et al.*, 2003). Durante la década de 1980 se registraron los máximos volúmenes de producción en la historia de la pesquería del estado de Chiapas, alcanzando 5,022 toneladas en 1988 que lo llevó a ocupar el primer lugar de producción de tiburón en el país, lo que ha permitido un desarrollo urbano e incremento en su economía interna.

Debido a su posición geográfica el Golfo de Tehuantepec cuenta con una alta diversidad de especies de tiburones pertenecientes a los ordenes Carcharhiniformes, Lamniformes, Orectolobiformes, que incluyen a las familias Carcharhinidae, Alopiidae, Sphyrnidae, Triakidae, y Ginglymostomatidae, los géneros son; *Carcharhinus*,

Nasolamia, *Galeocerdo*, *Prionace*, *Alopias*, *Isurus*, *Sphyrna*, *Mustelus* y *Ginglymostoma*; de los cuales se registran 21 especies (Soriano *et al.*, 2000).

El análisis de abundancia por especie indica que *C. falciformis* y *S. lewini* sostienen la pesquería en la región representando el 89.3% de la captura total (Soriano *et al.*, 2000), considerando que *C. falciformis* es la especie que sostiene la pesquería en la región del Golfo de Tehuantepec, con mayor abundancia en marzo, octubre y noviembre arriba del 80%; con tallas mínimas de 50 cm de longitud total (LT) y máximas de 340 cm LT (Castillo *et al.*, 1999).

Actualmente existe una creciente preocupación acerca de las capturas de tiburones pelágicos a nivel mundial, ya que se ha registrado una disminución de las capturas de elasmobranquios debido a la sobre pesca de organismos adultos y juveniles (Bonfil, 1994); situación que ha preocupado a pescadores, sector gubernamental, investigadores, y grupos no gubernamentales, ya que los tiburones es uno de los recursos pesqueros más vulnerables debido a sus estrategias de historia de vida (tasa lenta de crecimiento, madurez sexual tardía, baja fecundidad, y largos periodos de gestación) y a las actividades humanas (rápido crecimiento en las pesquerías parcialmente reguladas, los altos niveles de mortalidad por captura incidental por otras pesquerías y la degradación de importantes áreas de crianza y otras áreas como zonas costeras y estuarios) (Soriano *et al.*, 2003). Esto conlleva a una lenta recuperación de las poblaciones y tener repercusiones en el rendimiento reproductivo. Los efectos directos de la sobre pesca intensiva pueden resultar en cambios en la abundancia, estructura de talla, parámetros de la historia de vida (ejemplo: fecundidad), los efectos indirectos involucran las interacciones tróficas a nivel de comunidad produciendo efecto sobre el ecosistema debido a que los

tiburones son los reguladores de las poblaciones pelágicas (Stevens *et al.*, 2000). Aunque la importancia ecológica de los tiburones como depredador en el complejo de comunidades de peces es virtualmente desconocido, es probable que desempeñe un papel relevante como depredador apical en la estructura y funcionamiento de las comunidades marinas (Acal *et al.*, 2003).

Otro factor importante dentro del ciclo de los tiburones y que influye necesariamente en las pesquerías, son sus migraciones que pueden ser: verticales, horizontales, diurnas y estacionales. Estas migraciones se presentan por la disponibilidad de alimento, ciclos reproductivos de las mismas especies y por cambios ambientales estacionales que se presentan en su hábitat.

Los tiburones presentan una gran desventaja frente a la pesca intensa debido a sus estrategias de historia de vida, estas características conllevan una lenta recuperación de las poblaciones cuando son sobre explotados comercialmente. La determinación de edad, tasas de crecimiento, situación demográfica, son componentes esenciales usados en la evaluación de los recursos marinos, y el establecimiento de medidas de manejo responsable y aprovechamiento sustentable, es por ello la importancia de llevar a cabo el estudio de edad y crecimiento de *C. falciformis* para contribuir con el aporte de información básica con la finalidad de establecer medidas de manejo para una pesca responsable de este recurso, ya que esta especie sostiene la pesquería de Puerto Madero, Chiapas, con un 70 % de la producción pesquera de tiburones en esta zona y es necesario establecer acciones de manejo para evitar un colapso en las poblaciones de esta especie y en la pesquería de Puerto Madero, y otras localidades pesqueras del estado de Chiapas.

II. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Métodos utilizados para determinación de edad en elasmobranquios.

El estudio de elasmobranquios en aspectos de edad y crecimiento se dificulta por las maniobras propias de la actividad pesquera que no permite coleccionar el material biológico y la información adecuada para ello, ya que la mayoría de las veces los organismos llegan al lugar de desembarco eviscerados y la extracción de vértebras se ve limitada por el daño que pudiera sufrir el producto (organismos capturados), el cual tendría un valor económico menor. Sin embargo, es importante comprender que el cálculo de edades y la estimación de la tasa de crecimiento de organismos capturados, resulta a su vez esencial para el entendimiento de la dinámica poblacional (Powers, 1983).

Varios métodos de determinación de edad han sido utilizados para los elasmobranquios, entre ellos; el análisis de distribución de frecuencia, el cual es un método indirecto desarrollado por Petersen (1982), la limitante de este método es que al disminuir la tasa de crecimiento con el tiempo, la separación de grupos de edad se dificulta. A partir de este método se originaron otros métodos indirectos como el de Cassie (1954) y Battacharya (1967) (Sparre y Venema, 1992).

El método de marcaje y recaptura ha sido utilizado mediante la recuperación de organismos marcados de tallas conocidas, que posteriormente son extrapolados a edades, siendo un método directo de estimación de edad (Tovar, 2000). Otros autores han usado la tasa de reemplazamiento de dientes para estimar la tasa de crecimiento, pero este método provee solamente estimaciones burdas ya que la tasa de reemplazamiento de dientes varía entre los individuos. La tasa de crecimiento

embrionario se utiliza para generar curvas de crecimiento por extrapolación, pero no es un sustituto para el análisis de tasas de crecimiento basadas en la determinación de edad y solamente puede ser considerado como una medida provisional (Francis, 1981).

Las zonas de crecimiento en vértebras son utilizadas como un método directo para la determinación de edad, ya que éstas poseen suficiente grado de calcificación, observando que poseen marcas anuales, y los patrones de calcificación pueden variar considerablemente entre las especies (Applegate, 1967). También en las espinas dorsales se han encontrado que tienen zonas de crecimiento, pero muchos elasmobranquios no tienen espinas y esta técnica es limitada solamente para algunas especies.

Algunos estudios sobre el proceso de calcificación en las vértebras y otras estructuras del esqueleto de los tiburones se han realizado sin encontrar hasta la fecha evidencias de una verdadera osificación. (Applegate, 1967; Officer, 1995). La calcificación en los condriictios se lleva a cabo mediante acumulación de sales de calcio, generalmente fosfato de calcio (apatita) en células que se agrupan en paquetes prismáticos irregulares, los tiburones presentan incluso hormonas reguladoras de estos procesos fisiológicos, desconociéndose los detalles de dichos procesos, que intervienen más bien en la regulación y el equilibrio osmótico.

Las marcas representan por lo general variaciones estacionales en el crecimiento somático (verano-invierno), estando altamente influenciadas por la calidad y cantidad de alimento y factores físico-químicos como la temperatura y la salinidad (Yudin y Cailliet, 1990; Officer, 1995).

Los anillos o annulli implican un patrón de depositación en un tiempo determinado, que puede ser anual o no. Una marca de crecimiento, un anillo o una banda pueden ser utilizados como sinónimos, siendo zonas concéntricas que pueden ser traslúcidas u opacas. En el presente trabajo se utilizó el término de marcas de crecimiento, la cual es definida como un par de bandas, una banda opaca y una banda hialina.

Las bandas opacas son más espesas en su mineralización por su mayor contenido de sales de calcio que las bandas hialinas (Yudin y Cailliet, 1990), por lo tanto se supone que la solución de tinción penetra en mayor cantidad en las bandas hialinas que en las opacas, es por ello que las bandas hialinas en el microscopio se observan con mayor intensidad (tinción violeta), mientras que en las bandas opacas penetra en menor intensidad la tinción (Fig. 1).

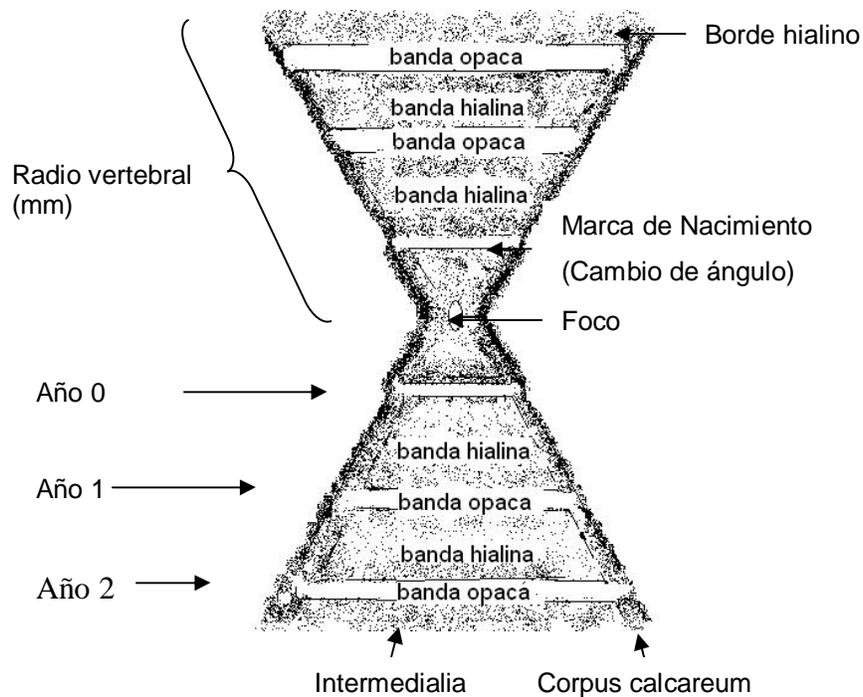


Fig. 1.- Componentes de una vértebra en un corte longitudinal.

Las marcas de crecimiento también pueden ser atribuidos a características endógenas y ritmos biológicos particulares para cada especie (Kusher *et al.*, 1992). Varios autores han desarrollado y usado varias técnicas para acentuar estas marcas de crecimiento en varias especies de elasmobranquios, entre las más utilizadas está la inmersión en alcohol (Richard *et al.*, 1963), la impregnación con xileno (Daiber, 1960), la tinción con rojo de alizarina (La Marca, 1966), la impregnación con nitrato de plata (Stevens, 1975), la técnica de radiografía con rayos X (Urist, 1961; Applegate, 1967), y la tinción con cristal violeta (Wintner y Cliff, 1996).

Se asume que las vértebras son buenos indicadores de edad, por tres razones fundamentales: Primera, en el crecimiento de elasmobranquios la calcificación del esqueleto cartilaginoso ocurre por un proceso de depositación y no hay indicaciones de remodelación o reabsorción (Urist, 1961; Applegate, 1967). Segunda, el incremento del tamaño corporal está acompañado por un aumento en el diámetro de las vértebras (Stevens, 1975). Tercera, los patrones de bandas visibles en rayos X y con otras técnicas distintas es el resultado de distintas densidades, que se deben a diferencias en la mineralización las cuales ocurren en las distintas fases de crecimiento (Cailliet *et al.*, 1983). Al existir alternancia de bandas hialinas y bandas opacas en las vértebras durante el crecimiento (Radtke y Cailliet, 1984) y al presentarse una periodicidad regular con la formación de estas bandas a través de la vida del individuo, las vértebras pueden ser utilizadas para determinar la edad de elasmobranquios (Beamish y McFarlane, 1983).

2.2. Estudios de edad y crecimiento realizados en tiburones.

Se han realizado varias investigaciones sobre edad y crecimiento en tiburones, sin embargo, estos organismos presentan pocas partes duras, por lo cual resulta difícil determinar la edad, estudios en tiburones indican una banda opaca calcificada y una hialina menos calcificada se forman anualmente en las vértebras (Branstetter *et al.*, 1987), entre algunos autores se puede mencionar a Gruber y Stout (1983), quienes realizaron un estudio de edad y crecimiento con el tiburón limón *Negaprion brevirostris*, utilizando la tinción con rojo de alizarina en vértebras, así como marcaje biológico con tetraciclina en organismos en libertad y en cautiverio, y mencionaron que estudios de edad y crecimiento han proporcionado curvas de crecimiento usando marcas concéntricas sobre la estructura vertebral. En muchos casos el conteo de estas marcas de crecimiento fue combinado con datos de frecuencia y longitud y otros datos biológicos, llegando a la conclusión de que en las vértebras se forman marcas de crecimiento anualmente, dando una estimación de crecimiento anual.

Schwartz (1983) estimó la edad de tiburón martillo *Sphyrna lewini* y el tiburón prieto *Carcharhinus obscurus*, basándose en el conteo de bandas de crecimiento en vértebras, utilizando la tinción con nitrato de plata y cristal violeta.

Cailliet y cols. (1985), realizaron estudios preliminares sobre la edad y crecimiento del tiburón blanco *Carcharodon carcharias*, mediante la lectura de marcas de crecimiento con radiografías de rayos X y tinción con nitrato de plata, mencionaron observar la marca de nacimiento en la superficie vertebral, y reportaron una longitud asintótica (L_{∞}) de 763.7 cm LT, una tasa de crecimiento (K) de 0.058 y

una edad teórica a la longitud cero (t_0) de -3.53, mencionó una edad de madurez sexual tardía, entre 9-10 años.

Yudin y Cailliet (1990), estimaron la edad y crecimiento del tiburón mamón gris *Mustelus californicus*, y el mamón café *M. henlei*, utilizando radiografías con rayos X, reportó edades de 0-9 años con una talla de nacimiento de 20-30 cm LT en *M. californicus* y 0-13 años con una talla de nacimiento de 19-21 cm LT en *M. henlei*, estimando las ecuaciones de crecimiento por sexos separados para ambas especies.

Kusher y cols. (1992), validaron la edad y crecimiento del tiburón leopardo *Triakis semifasciata*, utilizando la tinción con nitrato de plata y organismos recapturados marcados con tetraciclina, relacionando aspectos de reproducción, encontrando una K de 0.082, L_∞ de 153.3 cm y t_0 de -2.31, estimaron que los machos maduran a los 7 años y las hembras maduran a los 10 años de edad.

Mendizábal (1995), estimó la edad y crecimiento de *Carcharhinus limbatus* en el Pacífico Central Mexicano, utilizando métodos indirectos de análisis de frecuencias de tallas. Por su parte Tovar (2000), determinó la edad y crecimiento para esta misma especie en el Golfo de México, utilizando la tinción con rojo de alizarina, cristal violeta y nitrato de plata en vértebras, estableció las curvas de crecimiento por sexos separados y obtuvo los valores de la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy, al igual mencionó que la tinción con cristal violeta es la más conveniente para la observación de marcas de crecimiento en las vértebras en esta especie.

Anislado y Robinson (2001), determinaron la edad y el crecimiento del tiburón martillo *S. lewini* en el Pacífico Central Mexicano, utilizando la sobre tinción con cristal violeta 0.01%, mencionando que la relación del crecimiento en longitud y el

radio vertebral es isométrica, y la edad de madurez para los machos es de 3.5 años con 170 cm LT y para las hembras es de 4.5 años con 200 cm LT, para esta misma especie Andrade (1996), determinó la edad y crecimiento mediante la lectura de marcas de crecimiento en vértebras, estimando que la edad de madurez para las hembras fue de 8.5 años y para los machos a los 8 años de edad.

Ribot (2002), determinó la edad del tiburón mako *Isurus oxyrinchus*, en las costas de Baja California Sur, mencionó que la formación de bandas de crecimiento en las vértebras es periódica y anual formándose un banda hialina y un banda opaca por año, también hace referencia que la relación encontrada entre el radio de la vértebra y la longitud total de los organismos fue de tipo lineal, indicando que esta estructura es apropiada para estudios de edad y crecimiento.

Medellín (2004), realizó un estudio de edad y crecimiento del tiburón dormilón búfalo, *Heterodontus mexicanus* en la parte norte del Golfo de California por medio de un análisis de vértebras y espinas dorsales, utilizando la tinción con rojo de alizarina, y determinó la talla y edad de madurez para machos a los 49 cm con 6 años de edad y las hembras son maduras sexualmente a los 54 cm con 8 años, y una K de 0.123.

2.3. Estudios realizados sobre *Carcharhinus falciformis*.

Branstetter y Stiles (1987), estimaron la edad, crecimiento y biología reproductiva del tiburón sedoso, *C. falciformis*, y el tiburón martillo, *S. lewini* para el noroeste del Golfo de México, mencionando para el tiburón sedoso que la talla de madurez sexual para las hembras es de 225 cm LT con una edad estimada entre 7-9 años, mientras que los machos maduran sexualmente entre los 210-220 cm LT con una edad estimada entre los 6-7 años.

Bonfil y De Anda (1993), determinaron la edad y crecimiento mediante la lectura de marcas de crecimiento en vértebras del tiburón sedoso *C. falciformis* de la península de Yucatán, México, encontrando que esta especie nace con una longitud de 76 cm LT después de un periodo de 12 meses de gestación y que las hembras alcanzan su madurez sexual de 232-245 cm LT con una edad aproximada de 12 años, y los machos son maduros a los 225 cm LT con una edad aproximada de 10 años. Estimó la edad máxima que puede alcanzar esta especie y mencionó que para las hembras es de 22 años y para los machos es de 20 años, sobre los parámetros de crecimiento reportaron una K de 0.101, L_{∞} de 311.0 cm LT, y t_0 de -2.718.

Cadena y Villavicencio (2000), realizaron un estudio sobre reproducción del tiburón *Carcharhinus falciformis* en el Golfo de California, en el cual consideraron que la talla de primera madurez sexual para machos es de 178 cm LT, e igual para las hembras de 178 cm LT, y que esta especie presenta una gestación embrionaria de 12 meses y la talla de nacimiento la propone en 70 cm LT con una proporción de sexos de embriones de 1:1.

Oshitani y cols. (2003), determinaron la edad y crecimiento del tiburón sedoso *C. falciformis* en el Océano Pacífico, frente a las costas de Japón; utilizando la tinción con rojo de alizarina en vértebras y mencionaron que el número de bandas de crecimiento observados para machos fue de 0-8 y para las hembras fue de 0-13, los machos maduran sexualmente alrededor de los 186 cm LT con una estimación de edad de 5-6 años y para las hembras el rango de madurez está entre los 193-200 cm LT con una aproximación de 6-7 años, la talla de nacimiento para esta especie la estimó entre los 65-81 cm LT. Los parámetros de crecimiento reportaron una K de 0.148, L_{∞} de 287.7cm LT, y t_0 de -1.76, no encontraron diferencias significativas en el crecimiento para hembras y machos, por lo cual establecieron la curva de crecimiento para ambos sexos.

Soriano y cols. (2003), determinaron aspectos reproductivos de tres especies de la familia *Carcharhinidae*, en el Golfo de Tehuantepec incluyendo el tiburón aleta de cartón, *C. falciformis*, y mencionaron que la talla de primera madurez sexual para machos es de 168 cm LT y 177 cm LT para hembras, de acuerdo al análisis de desarrollo embrionario, mencionan que la temporada de nacimiento es durante los meses de verano (junio-agosto) con una talla de 50-77 cm LT.

2.4. Biología de *C. falciformis*.

2.4.1. Taxonomía.

Reino: Animalia

Phylum: Chordata

Clase: Chondrichthyes

Subclase: Elasmobranchii

Orden: Carcharhiniformes

Familia: Carcharhinidae

Genero: *Carcharhinus*

Especie: *Carcharhinus falciformis*

Nombre común: tiburón aleta de cartón o sedoso

2.4.2. Descripción.

El tiburón aleta de cartón *Carcharhinus falciformis* (Fig. 2) también conocido como tiburón sedoso, tunero, marrajo o aleta, dependiendo de la zona y del estado de madurez en que se encuentre, pertenece al orden de los Carcharhiniformes y a la familia Carcharhinidae (Compagno, 1984), también llamados tiburones grises, esta familia es una de las más numerosas y de mayor distribución a nivel mundial.

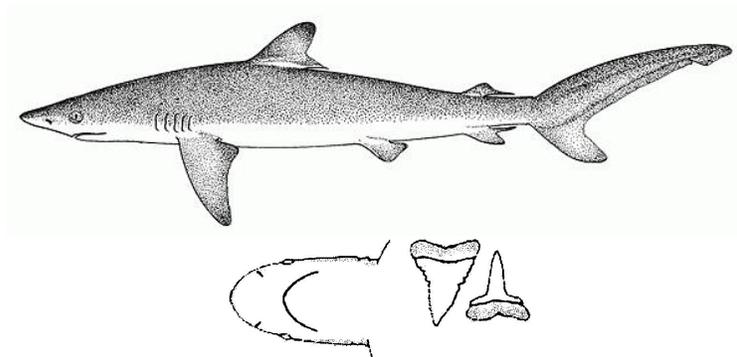


Fig. 2.- Tiburón aleta de cartón, *Carcharhinus falciformis* (tomado de Castro, 1983).

Se caracteriza en general por presentar un cuerpo largo y poco robusto, ojos pequeños cubiertos con membrana nictitante, hocico moderadamente largo, dientes con una sola cúspide, serrados, triangulares, los dientes interiores son de forma afilada que presenta serraciones, los organismos carecen de espiráculo y de quillas precaudales; la primera aleta dorsal se acerca más a las aletas pectorales que a las pélvicas y la segunda aleta dorsal es igual o ligeramente menor en la base que la aleta anal y con un extremo posterior libre, la aleta caudal mide menos de la tercera parte de la longitud total, con un lóbulo superior cercano a dos veces de largo que el inferior (Compagno, 1984; Castro, 1983). Color gris claro en el dorso y los lados, blanco sucio en el vientre. Su reproducción es vivípara, con fecundidad de dos a doce embriones en relación proporcional a la talla. Su principal alimento lo constituyen los peces 54%, los cefalópodos 31% y los crustáceos 15% (Mendizábal, 1995).

De acuerdo a la clave ontogénica de Castro (1983) se presentan cuatro etapas de desarrollo, la cual los separa en organismos neonatos, juveniles, adultos y hembras grávidas.

Los neonatos son los organismos que en la especie vivípara presenta la conexión umbilical, cuya abertura se presenta en diferentes modalidades dependiendo del tiempo de nacido en: abierta, iniciando el proceso de cicatrización, y ya cicatrizada. La fase juvenil incluye organismos que presentan la cicatriz umbilical cerrada, los machos se evidencian por el temprano desarrollo de los ~~masper~~. En una etapa avanzada de esta fase, los órganos sexuales internos se aprecian delgados, pálidos y rígidos, tanto en hembras como en machos.

En la fase adulta los machos maduros presentan los clasper completamente calcificados, vascularizados y con la capacidad de rotación hacia la parte anterior del organismo, los testículos grandes, y los conductos deferentes presentan fluido seminal. Las hembras muestran ovarios de gran tamaño con aspecto granuloso y presencia de folículos maduros de color amarillo.

Se asignó el estado de hembras grávidas a todas aquellas que muestran evidencias de cicatriz de cópula (mordidas) en diversas partes del cuerpo, especialmente en la región de las aletas pectorales, así como los órganos internos (ovario, útero y oviductos) con rasgos de gravidez, presencia de óvulos maduros, y en estados más avanzados la presencia de embriones en desarrollo.

2.4.3. Distribución.

El tiburón aleta de cartón *C. falciformis*, es un tiburón abundante en la zona oceánica, así como en la zona costera (Fig. 3); habita en los trópicos cerca del borde de la plataforma de las islas y los continentes, ocasionalmente se le encuentra en áreas cercanas a la costa a profundidades de 18 m y en mar abierto hasta profundidades de 500 m.

La estructura de la dinámica poblacional es poco conocida, los muestreos en la pesca palangrera en el Océano Pacífico Oriental y Central muestran que es más abundante en las zonas costeras que en la zona oceánica, se ha observado una segregación por tallas; los juveniles se concentran en áreas de crianza cercanas a la costa y los adultos en la zona oceánica (Compagno, 1984).

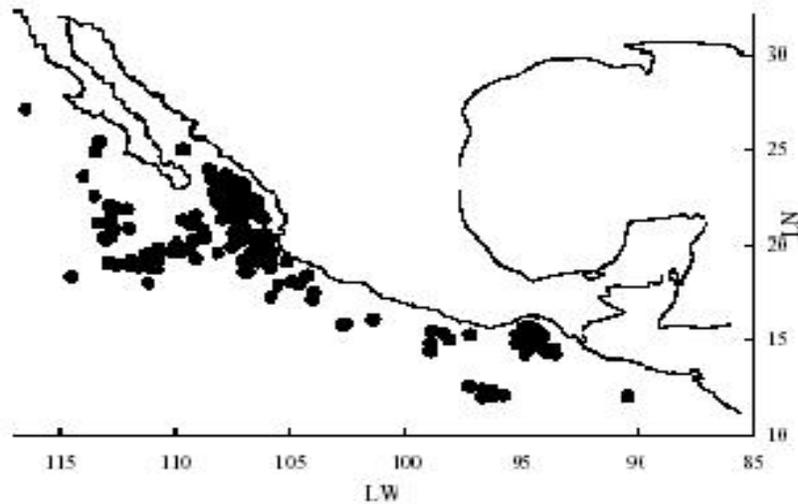


Fig. 3.- Distribución del tiburón aleta de cartón *C. falciformis* en el Océano Pacífico.

Para el Océano Pacífico Centro y Sur de México el índice de abundancia de captura es mayor frente a Puerto Vallarta, Jal., durante julio y agosto, menor de enero a abril del Golfo de California al sur de Manzanillo, e intermedio de mayo a agosto frente al Golfo de Tehuantepec (Vélez *et al.*, 1989; Mendizábal *et al.*, 1990).

2.4.4. Migración.

El tiburón aleta de cartón presenta dos movimientos estacionales al año en el Océano Pacífico: el primero de norte a sur (del Golfo de California hacia aguas de Centroamérica) en los meses de marzo-abril, el segundo movimiento se realiza de sur a norte en los meses de julio a septiembre, por lo que sus migraciones obedecen a los cambios de temperatura de las masas de agua, en busca de las mejores condiciones de disponibilidad de áreas de alimento, además de regresar a sus áreas habituales de alumbramiento para protección de sus crías como son las aguas del Golfo de Tehuantepec (Soriano *et al.*, 2000).

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General.

Estimar la edad y crecimiento del tiburón aleta de cartón *Carcharhinus falciformis* capturado por la pesca artesanal tiburonera en el Golfo de Tehuantepec, a partir de la lectura de marcas de crecimiento en vértebras.

3.2. Objetivos Particulares.

- Estimar la estructura de tallas de la población.
- Determinar la relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del organismo.
- Validar la formación de bandas de crecimiento en vértebras a través del seguimiento mensual de tipo borde (hialino u opaco).
- Estimar la estructura de edad de la población mediante la lectura de anillos de crecimiento en vértebras.
- Determinar la relación entre la talla y la edad de los organismos.
- Estimar los parámetros de crecimiento en longitud y peso de la ecuación de Von Bertalanffy (K , L_{∞} , t_0 y W_{∞}) para hembras, machos y ambos sexos.

IV. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio contempla el Golfo de Tehuantepec, este es una zona importante debido a las características oceanográficas que posee, ya que presenta una alta productividad, por lo tanto una mayor disponibilidad de alimento y forma parte de la región A41 de las áreas prioritarias marinas de la CONABIO (1998) (Mapa de áreas marinas prioritarias amenazadas) (Fig. 4).

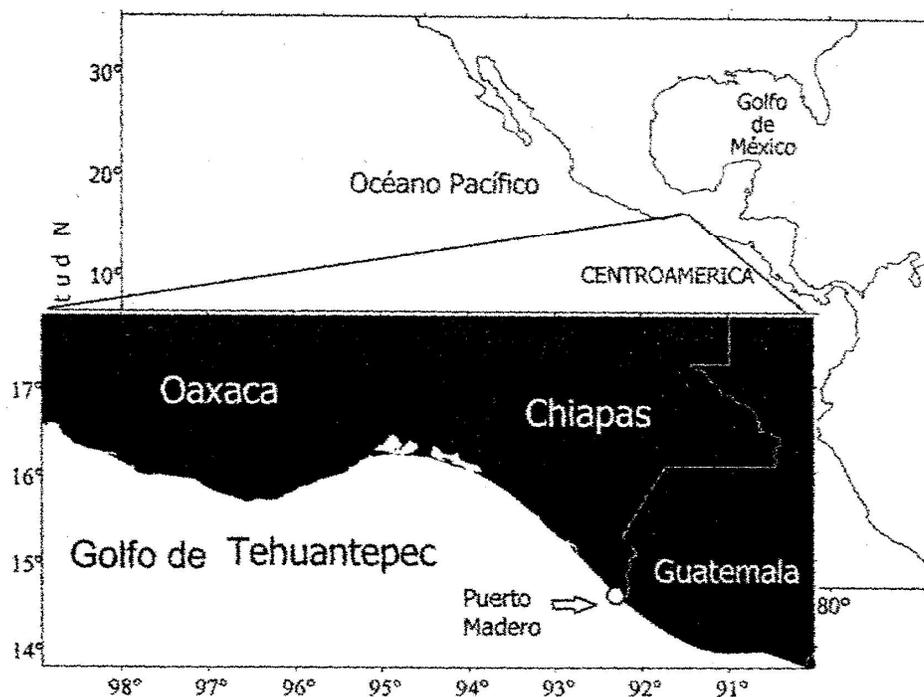


Fig. 4.- Área de estudio. Golfo de Tehuantepec, Chiapas, México.

El Golfo de Tehuantepec es una extensa entrada de la costa, situada entre Puerto Ángel y la Barra del Río Suchiate, que se localiza a 250 millas aproximadamente y al sureste de este puerto. La parte más interna del Golfo es la Barra de San Francisco, éste tiene una forma triangular cuya base sería la línea que une Puerto Ángel con la desembocadura del Río Suchiate; el vértice superior se encontraría al noroccidente, entre Puerto Ángel y el complejo lagunar y al nororiente

entre este complejo y Puerto Madero. Este triángulo se extiende en una superficie aproximadamente 19,000 millas náuticas cuadradas, con una base de 282 millas por una altura de 64 millas. Las costas del Golfo de Tehuantepec pertenecen a los estados de Oaxaca y Chiapas.

El principal puerto de desembarque del estado de Chiapas es Puerto Madero, este se ubica entre las latitudes norte $16^{\circ} 08' 24''$ y $14^{\circ} 12' 36''$ y las longitudes oeste $96^{\circ} 36' 24''$ y $92^{\circ} 16' 48''$ (Castillo *et al.*, 1998).

Las profundidades en el Golfo de Tehuantepec son menores de 1800 m, en la línea batimétrica que corresponde a esa profundidad pasa frente a Puerto Ángel a una distancia de 12 millas de la costa y atraviesa el Golfo con ondulaciones, hasta llegar a unas 47 millas mar adentro al sureste de la desembocadura del río Suchiate. Puerto Madero está situado a 19 millas al sureste de la barra de San Simón.

La región del Golfo de Tehuantepec se encuentra en una zona tropical, el clima en la región costera de Chiapas, incluyendo Puerto Madero es por lo general tropical húmedo con lluvias abundantes, con mayores cantidades de precipitación en el mes de junio y a fines de otoño. A lo largo de las costas del sur de México la temporada de lluvias y la de sequía están bien definidas. La primavera se extiende desde mayo a noviembre y el resto del año constituye la sequía.

La temperatura media en esta zona varía muy poco, la temperatura máxima promedio anual es de 35.2°C en el mes de julio, el mínimo de 22.4°C en diciembre, la media anual de temperatura es aproximadamente de 27.6°C . La distribución vertical de la salinidad exhibe un máximo de 38 ppm y un mínimo de 27.2 ppm para la región costera (Galván, 2002).

La distribución de la temperatura superficial en el Golfo de Tehuantepec tiene un patrón estacional, de abril a septiembre la temperatura promedio es de 29 °C en todo el Golfo. De octubre a marzo, particularmente durante los vientos tehuantepecanos, la temperatura superficial del Golfo de Tehuantepec desciende drásticamente en la parte central más próxima a la costa, se han registrado bajas de temperatura de hasta 10 °C como resultado de la intensa mezcla vertical y el ascenso de agua subsuperficial.

A lo largo de las costas del sur de México, la dirección de los vientos predominantes proviene del noroeste, tendiendo a ser paralelos a la línea de la costa, presentándose en el Golfo de Tehuantepec los vientos fuertes del norte en la época de invierno. En particular en el Golfo de Tehuantepec los vientos dominantes son del noroeste durante los meses fríos. Durante los meses cálidos el cinturón de calmas ecuatoriales se encuentra más al norte causando frecuentes calmas y cambiando los vientos dominantes en dirección del sur.

De acuerdo a la oceanografía del Golfo de Tehuantepec, existe una corriente de arrastre de sedimento de partículas de arena del oeste hacia el sureste de tipo superficial. Así mismo, existe una contracorriente que se dirige de sureste a noreste de tal forma que en el Golfo de Tehuantepec, en su plataforma continental se da un fenómeno de embudo de succión de partículas sólidas suspendidas o arrastradas que son depositadas rápidamente en las barreras físicas que separan a las lagunas costeras del mar, ocasionando con esto en algunos sitios, el cierre de las bocanarras de manera temporal o permanente (Galván, 2002).

V. PROCEDIMIENTO

El procedimiento del trabajo se realizó en tres fases, el trabajo de campo, el trabajo de laboratorio y trabajo de gabinete.

5.1. Trabajo de campo.

5.1.1. Muestreo.

La estrategia del trabajo se basó en la obtención de muestras de vértebras e información biológica a partir de las operaciones de pesca y desembarco de las capturas de la flota artesanal tiburonera en Puerto Madero, Chiapas, ya que este puerto capta más del 80% de la pesquería de tiburón en todo el estado. La información fue registrada en bitácoras de captura e información biológica en el periodo que comprende de enero a diciembre de 2005.

Dentro del muestreo de campo se llevó a cabo la identificación específica de los organismos de la especie usando las claves de Compagno (1984) y Castro (1983). Una vez identificados a los organismos del tiburón aleta de cartón *C. falciformis* se tomaron los datos biométricos (Fig. 5) como: longitud total (LT) que es la distancia de la punta de la cabeza hasta la punta del lóbulo superior de la aleta caudal, Longitud furcal (LF) que es la distancia entre la punta de la cabeza hasta la bifurcación de la aleta caudal, Longitud de clasper (LC) en el caso de los machos (de la base hasta la parte distal del mismo), y peso total.

Las medidas fueron tomadas con una cinta métrica de plástico al centímetro más cercano, el peso se tomó con una báscula metálica de 500 kg de capacidad, estas medidas se consideraron con el fin de establecer las relaciones entre las tallas y edades de los organismos.

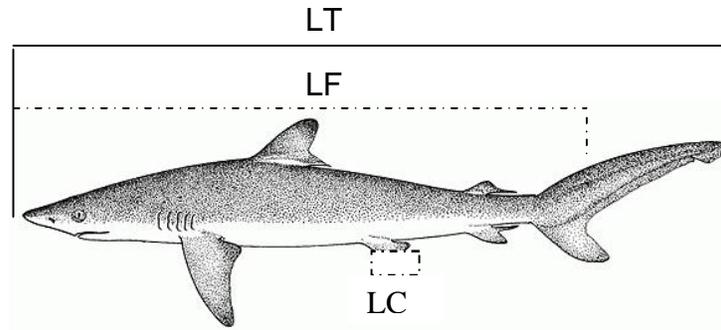


Fig. 5.- Principales datos biométricos tomados de los organismos muestreados del tiburón aleta de cartón *C. falciformis*.

Además, también se registró el sexo de los ejemplares, el cual se realizó de forma visual, dependiendo de la presencia de *claspers* o gonopterigios en los machos y la ausencia de estos órganos en las hembras. Así mismo se determinó el estado de madurez sexual con base a la clave ontogénica de Castro (1983). La cual separa a los organismos en; neonatos, juveniles, maduros y para las hembras incluye el estado de gravidez.

5.1.2. Colecta de vértebras.

Para la determinación de la edad en tiburones, las estructuras que permiten estos análisis son las vértebras, por lo que se colectaron vértebras de cada ejemplar de tiburón aleta de cartón *C. falciformis*. Para la extracción de las vértebras se utilizó un cuchillo, y se hicieron cortes desde el interior de la cavidad corporal cuando los organismos ya estaban eviscerados seleccionando las vértebras que se encuentran debajo de la primera aleta dorsal, obteniendo de 5 a 10 vértebras. Se tomaron las muestras en esta parte de los ejemplares debido a que son las que presentan mayor

diámetro, y permiten una mejor lectura de los anillos de crecimiento, por lo cual son más confiables disminuyendo el error de las lecturas.

Las vértebras fueron guardadas en bolsas de plástico debidamente etiquetadas con los datos de colecta como; especie, longitud total, longitud furcal, sexo, peso, fecha de colecta y número de registro, estas se mantuvieron en congelación hasta ser procesadas en el laboratorio.

5.2. Trabajo de laboratorio.

5.2.1. Limpieza y cortes de vértebras.

Las vértebras colectadas fueron descongeladas y limpiadas, removiendo el arco neural, la apófisis y el tejido conectivo de manera mecánica, con la ayuda de pinzas, posteriormente para reblandecer y facilitar la remoción del tejido conectivo residual se sumergieron las muestras en peróxido de hidrógeno al 3% de 6-12 horas dependiendo del tamaño de la muestra (Medellín, 2004) y se enjuagaron con agua corriente. Las vértebras una vez limpias fueron secadas al aire libre a temperatura ambiente por 24 hrs, evitando que las vértebras se deformaran por la deshidratación.

Las vértebras limpias y secas fueron montadas sobre un trozo de acrílico para poder sujetarse a la cortadora y realizar los cortes longitudinales, y para ello se utilizó una cortadora Isomet con cuchilla de borde de diamante (Fig. 6), para obtener cortes de 0.5 mm de grosor y tener mejor visualización de las marcas de crecimiento. Se realizaron cortes de 2 o 3 vértebras de cada organismo para evitar la subestimación de las bandas depositadas, dos de estos cortes fueron teñidos y uno quedó sin tinción (blanco).



Fig. 6.- Cortadora Isomet con cuchilla de borde de diamante utilizada para el corte de vértebras.

5.2.2. Tinción y montaje de muestras.

Para resaltar las marcas de crecimiento en los cortes de las vértebras se utilizó el método de tinción con cristal de violeta 0.01% (Winter y Cliff, 1996), los cortes fueron sumergidos en tinción con cristal de violeta entre 18 y 24 horas dependiendo del tamaño de la muestra, si la muestra estaba sobre teñida se sumergían en isopropanol al 50% (Schwartz, 1983; Anislado y Robinson, 2001) para retirar el exceso de colorante y tener mejor definición de las marcas. Una vez teñidas las muestras se dejaban secar a temperatura ambiente y se montaban en portaobjetos de vidrio con resina sintética Cytoseal-280 (Fig. 7). Se midió el radio vertebral (distancia del foco de la vértebra hasta la parte distal) con un vernier digital de marca DIGIMATIC modelo CD-6+ para obtener una mayor exactitud en las medidas.

5.2.3. Lectura de marcas de crecimiento.

Las marcas de crecimiento fueron contadas en un microscopio estereoscópico con luz transmitida y con luz reflejada, a fin de tener mejor visualización de las bandas, se hicieron observaciones de las muestras como un proceso de aprendizaje e identificación de bandas verdaderas y falsas, así también para identificar el tipo de borde presente en la vértebra.



Fig. 7.- Corte longitudinal de vértebra, teñida y montada sobre portaobjetos.

Se realizaron tres lecturas de bandas de crecimiento, con el propósito de disminuir el error al leer estas marcas, las tres lecturas se realizaron con una semana de diferencia cada una. En cada lectura se desconocían los datos de longitud de los organismos a fin de evitar prejuicios al momento del conteo de las marcas, como resultado verdadero se consideró la lectura que más se repetía, y se descartaron las vértebras que presentaron variaciones en las lecturas.

Dentro del conteo de marcas de crecimiento en las vértebras se excluyó la marca de nacimiento, y se le asignó la edad cero, en las marcas de crecimiento se contaron las bandas opacas y las bandas hialinas, las primeras se observan más

delgadas y menos teñidas que las hialinas, lo que facilita mejor las lecturas de estas bandas. Se identificaron bandas falsas, que son similares a bandas opacas, pero asociadas a bandas incompletas o irregulares encontrándose solo en una parte de la estructura, las cuales fueron excluidas en el conteo de edad.

5.2.4. Validación.

Para validar la periodicidad de la formación de las marcas de crecimiento (hialinas u opacas) se utilizó el método de seguimiento mensual del tipo de borde de acuerdo con la clasificación de Tanaka y Mizue (1979), donde clasifica el tipo de borde por grados; G1 es una banda opaca en formación, G2 es una banda hialina de grosor pequeño, G3 es una banda hialina bien definida.

5.3. Trabajo de gabinete

5.3.1. Estructura de tallas.

Se agruparon los datos de longitud total de los organismos muestreados en el periodo de estudio, en intervalos de 10 cm y se elaboraron histogramas de frecuencia para conocer la estructura de tallas de la población, y la estructura de tallas para la determinación de edad, así mismo se obtuvieron los parámetros estadísticos de las tallas.

Se elaboraron histogramas con los datos observados del estado de madurez sexual de los organismos muestreados a fin de una mejor perspectiva de la situación de la pesquería del tiburón aleta de cartón *C. falciformis*.

5.3.2. Relación radio vertebral . longitud total.

Los datos del radio de la vértebra y la longitud total de los organismos se ajustaron a una regresión lineal a través del programa FISAT II (Gayaniilo *et al.*, 2002) para establecer la relación entre ambas variables, el modelo que describe esta relación es el siguiente:

$$R = a + b (LT)$$

Donde:

LT: es la variable independiente (longitud total).

R: es la variable dependiente (radio vertebral).

a y b: son la ordenada al origen y la pendiente respectivamente.

r^2 : es el índice de correlación entre las variables.

5.3.3. Parámetros de crecimiento en longitud.

Para calcular el crecimiento del tiburón aleta de cartón *C. falciformis*, se utilizó la ecuación de Von Bertalanffy (1938), considerando que es el modelo que mejor describe el crecimiento en peces, y su expresión es la siguiente:

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

Donde:

L_T : es la longitud a la edad t en años

L_∞ : es la longitud asintótica o la edad máxima teórica.

K: es la tasa de crecimiento

t_0 : es la edad teórica a la longitud cero.

La estimación de los parámetros de crecimiento como K y t_0 fueron obtenidos a través del método de Gulland y Holt (1959).

$$\ln (1-(LT/ L_{\infty}))= a + b (t)$$

Resolviendo

$$K= -b$$

$$t_0 = a /-b$$

La longitud asintótica (L_{∞}) fue calculada por medio del método gráfico de Ford-Walford (1946).

$$L (t) \text{ vs } L (t + t)$$

Los parámetros de crecimiento se calcularon para hembras, machos y para ambos sexos.

5.3.4. Parámetros de crecimiento en peso.

Para estimar los parámetros de crecimiento en peso fue necesario estimar la relación entre el peso total y la longitud total de los organismos del tiburón aleta de cartón. El modelo que describe la relación entre la longitud total y el peso total es el siguiente:

$$W= a (LT)^b$$

En la forma lineal el modelo es:

$$\log W= \log a + \log b (LT)$$

Donde:

LT: es la variable independiente (longitud total)

W: es la variable dependiente (peso total).

a y b: son la ordenada y la pendiente al origen respectivamente estimadas por regresión lineal.

Se calculó el índice de correlación (r^2) entre las variables.

En el caso de las hembras grávidas no se tomó el peso total, para el análisis de regresión entre las variables (longitud total . peso) ya que el peso de los embriones pueden causar variaciones entre los resultados.

Para obtener las gráficas de crecimiento en peso se utilizaron los valores a y b, obtenidos de la regresión longitud total-peso a la ecuación de Von Bertalanffy y por lo que la ecuación que describe el crecimiento en peso es la siguiente:

$$W_T = W_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})^b$$

Donde:

W_T : es el peso a la edad t en años.

W_∞ : es el peso asintótico.

K: es la tasa de crecimiento

t_0 : es la edad teórica a la longitud cero.

b: pendiente de la relación peso-longitud

VI. RESULTADOS

En el periodo de enero a diciembre de 2005 fueron realizados 80 muestreos periódicamente en la zona pesquera de Puerto Madero, Chiapas, en los cuales se registraron un total 1028 organismos del tiburón aleta de cartón *C. falciformis*, los cuales fueron capturados por la flota artesanal tiburonera en la zona del Golfo de Tehuantepec.

6.1. Estructura de tallas.

6.1.1. Estructura de tallas de la población.

De los organismos muestreados durante el ciclo anual enero-diciembre de 2005, se encontró que el macho más pequeño capturado fue de 51 cm LT y el más grande fue de 308 cm LT, con una talla media de 120.9 cm LT. Por su parte la hembra más pequeña capturada fue de 54 cm LT y la más grande fue de 300 cm LT, con una talla promedio de 127.6 cm LT (Fig. 8). La talla promedio para ambos sexos fue de 129.9 cm LT (Tabla I).

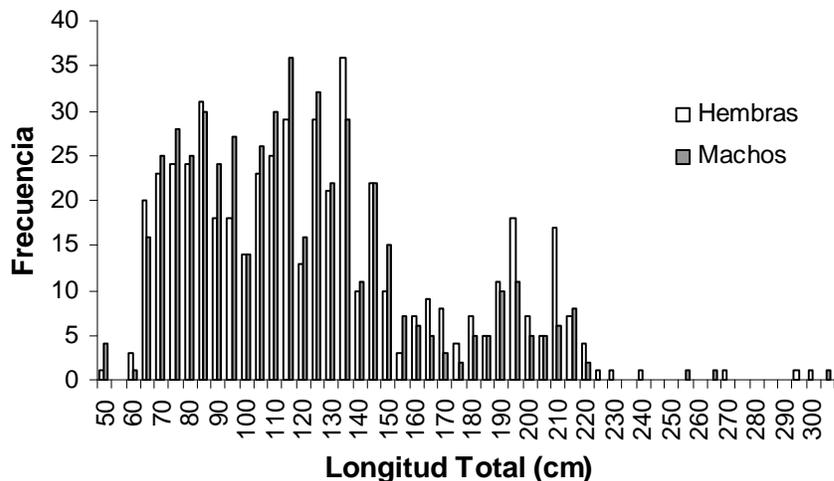


Fig. 8.- Distribución de frecuencias de tallas de tiburón aleta de cartón *C. falciformis* en el periodo de enero a diciembre de 2005.

La proporción de sexos encontrados en los organismos muestreados durante el periodo de estudio fue de 1:1, (50.2% para machos con 516 organismos y 49.8% para hembras con 512 organismos).

Tabla I.- Parámetros de las tallas de tiburón aleta de cartón *C. falciformis* durante el periodo enero a diciembre de 2005.

Parámetro	Hembras	Machos	Ambos sexos
n	512	516	1028
Media	127.6	120.9	123.9
Mediana	121	115	118
Moda	118	85	85
Error típico	1.96	1.76	1.29
Desviación estándar	44.5	40.1	42.3
Varianza de la muestra	1985.7	1611.8	1790.4
Mínimo	54	51	51
Máximo	300	308	308

6.1.2. Estadios de madurez sexual de la población.

En la figura 9 se observan los estadios de madurez sexual de los organismos muestreados y se clasifican con base a Castro (1983), identificándose claramente los 4 estadios: neonatos (I), juveniles (II), adultos (III), y hembras grávidas (IV).

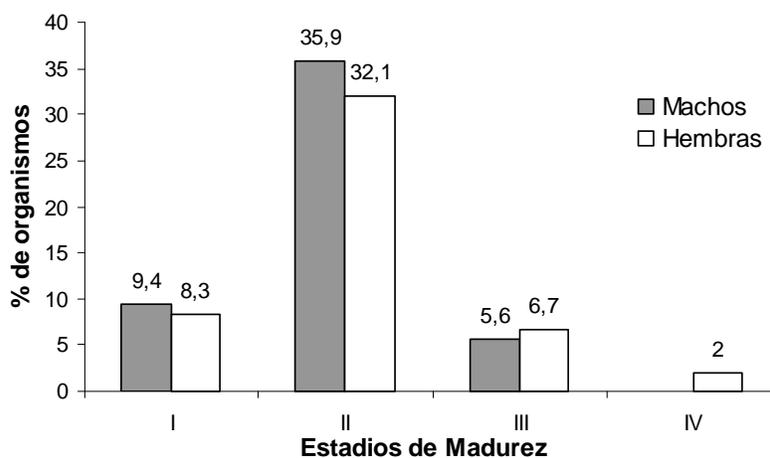


Fig. 9.- Estadios de madurez sexual del tiburón aleta de cartón *C. falciformis* durante el periodo de enero a diciembre de 2005.

La mayor proporción de organismos muestreados son representados por organismos inmaduros, los juveniles (estadio II) con un 68% (35.9% machos y 32.1% hembras) los cuales pueden ser observados en la pesquería durante todo el año, mientras que los organismos neonatos (estadio I) representan el 17.7% (9.4% y el 8.3% para machos y hembras respectivamente) y están presentes en la pesquería desde abril a septiembre. En el caso de organismos maduros el mayor porcentaje se presentó en las hembras con el 6.7% y los machos con el 5.6%, y son capturados desde marzo a agosto. Por lo que se refiere a las hembras grávidas (estadio IV), representaron solo un 2% del total de organismos muestreados en este periodo de captura, con mayor frecuencia en los meses de abril y julio.

Para la determinación de madurez sexual en el caso de los machos, se observa en los órganos sexuales el paso de un estado de madurez a otro, es decir de la fase juvenil al adulto. Estas características se presentan principalmente en el órgano copulador denominado clasper observando su grado de calcificación y vascularización, tomando como machos maduros cuando este órgano está completamente calcificado y puede girar libremente hacia atrás.

Se registró la longitud del clasper, desde los neonatos hasta los adultos, y se observó que la longitud de este órgano se incrementa rápidamente entre los 165 y 180 cm LT (Fig. 10), en los neonatos y juveniles, el crecimiento del clasper es lento ya que apenas si alcanza a las aletas pélvicas, posteriormente conforme el animal se va acercando a su madurez los claspers sobrepasan a estas aletas y se observa el incremento de la longitud del clasper.

El crecimiento de este órgano es de tipo sigmoideal, es decir, en los primeros años del tiburón aleta de cartón crece lentamente y a medida que se acerca a la

madurez sexual, la longitud del clasper se acelera hasta alcanzar su asíntota. Como se mencionó anteriormente, en el intervalo de 165-180 cm LT se muestra una gran transición de los organismos juveniles a organismos adultos y que se pueden encontrar dentro de este intervalo organismos subadultos, es decir, cumplen con cierto grado de calcificación y vascularización pero no presentan una rotación libre todavía, más bien presentan una rotación limitada del clasper. Se observó que los organismos posteriores a los 180 cm LT, presentan un crecimiento del clasper poco significativo, hasta detener su incremento.

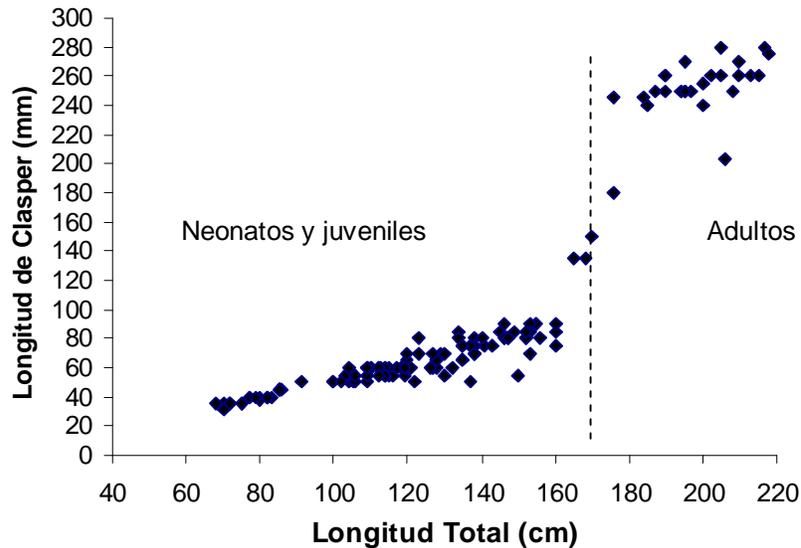


Fig. 10.- Relación entre la longitud total y la longitud del clasper en machos del tiburón aleta de cartón *C. falciformis*.

6.1.3. Estructura de tallas para la determinación de edad.

Para el estudio de edad y crecimiento se colectaron un total de 127 muestras de vértebras del tiburón aleta de cartón *C. falciformis*, en el periodo de enero a diciembre de 2005, seleccionando los organismos utilizados de acuerdo a las tallas. La proporción de sexos fue de 1:1(52% para los machos con 66 organismos y 48% para las hembras con 61 organismos), y se consideró cubierto el rango de tallas tanto para hembras como para machos, ya que las longitudes de los organismos oscilan desde los 60 cm LT hasta los 230 cm LT (Fig. 11).

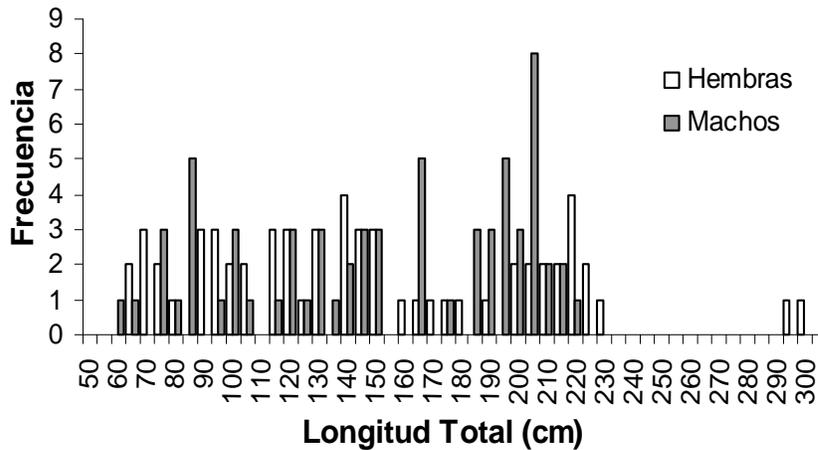


Fig. 11.- Distribución de frecuencias de tallas de tiburón aleta de cartón, *C. falciformis* para la determinación de edad y crecimiento.

Se obtuvo un mayor número de muestras para organismos juveniles debido a que la pesca en la zona de estudio incide principalmente en ejemplares inmaduros de esta especie, aunque también se registraron tallas de organismos adultos como se observa en la distribución de frecuencia de tallas (Fig. 10); sin embargo, no se colectaron vértebras de organismos entre 240 cm LT y 290 cm LT debido a que no se logró el acceso a las vértebras.

6.2. Relación entre la talla del organismo y el radio de la vértebra.

Se estableció la correlación existente entre la longitud total del organismo y el radio de la vértebra (Fig. 12) por medio de regresión lineal utilizando mínimos cuadrados. La ecuación que describe la relación de las variables son para machos $R = -1.019 + 0.059(LT)$; para hembras $R = -1.22 + 0.061(LT)$, y para ambos sexos se encontró: $R = -1.138 + 0.06(LT)$. El índice de correlación (r^2) entre las variables observado para machos, hembras y ambos sexos fue de $r^2 = 0.988$ para todos los casos (Tabla II).

Tabla II.- Constantes del modelo de regresión lineal que describe la relación entre la longitud total del organismo y el radio de la vértebra.

Parámetro	Hembras	Machos	Ambos sexos
n	61	66	127
a	-1.221	-1.019	-1.138
b	0.061	0.059	0.060
r^2	0.988	0.988	0.988

De acuerdo al valor obtenido del coeficiente de correlación tanto para hembras, como para machos y ambos sexos se encontró que existe una relación proporcional entre las dos variables, es decir, a medida que crece el organismo el radio de la vértebra se incrementa (Fig. 12a, 12b y 12c), por lo cual se considera que las vértebras son un indicador para la determinación de edad y crecimiento del tiburón aleta de cartón *C. falciformis*.

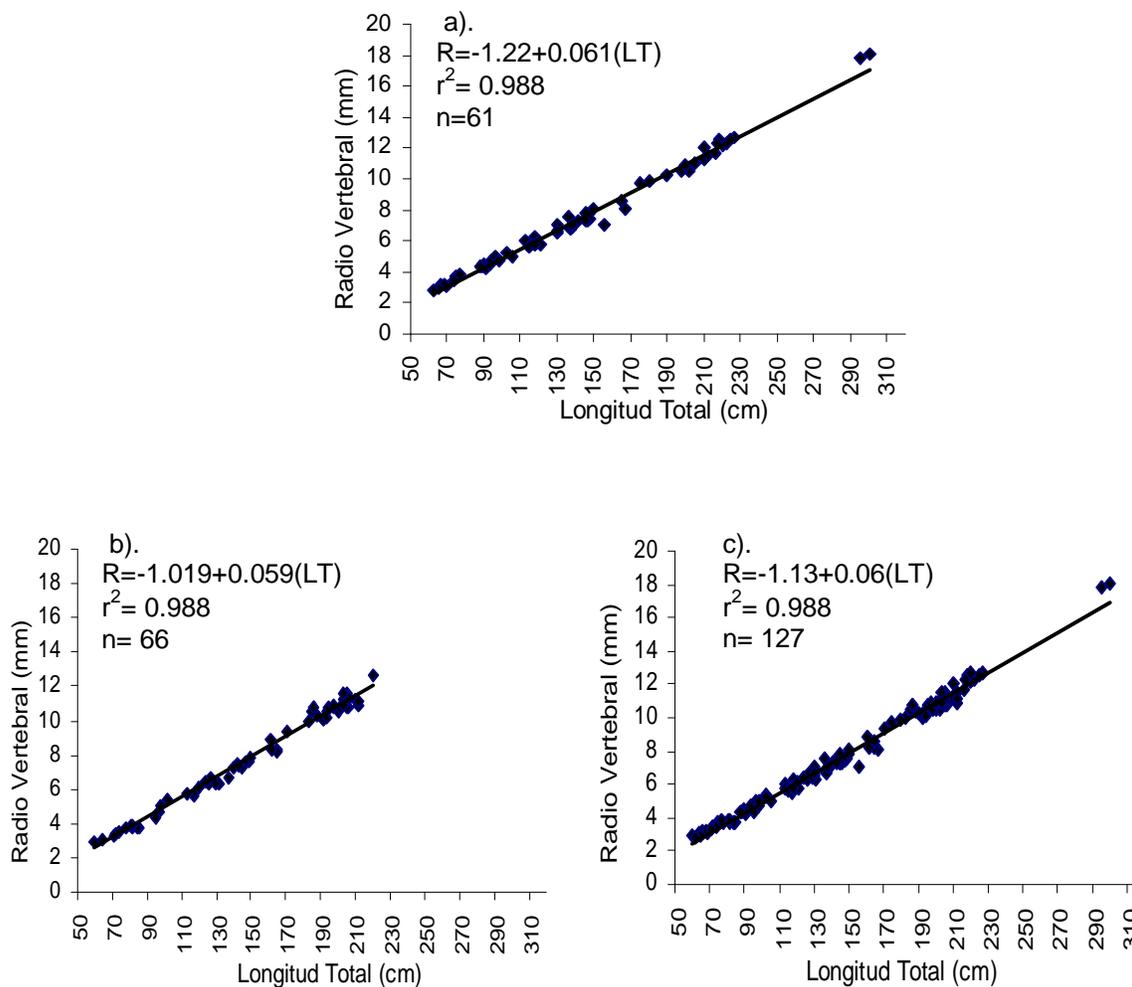


Fig. 12.- Relación entre la longitud total y el radio de la vértebra de hembras (a), machos (b) y ambos sexos (c) del tiburón aleta de cartón *C. falciformis*.

6.3. Validación de la formación de bandas de crecimiento.

De acuerdo a la formación del tipo de borde en la estructura vertebral, existen periodos importantes para la formación de las bandas hialinas y opacas. La banda opaca se empieza a formar a partir del mes de abril, hasta el mes de julio donde estas bandas se observan claramente en el borde de la estructura, sin embargo se

observó una banda opaca en el mes de febrero. Mientras que el mayor porcentaje de bandas hialinas se observan desde agosto hasta marzo (Tabla III).

Tabla III.- Proporción de bordes vertebrales hialinos y opacos en un ciclo anual del tiburón aleta de cartón *C. falciformis*.

Mes	% bordes opacos	% bordes hialinos
Enero	0	100
Febrero	3	97
Marzo	0	100
Abril	19	81
Mayo	46	54
Junio	87.5	12.5
Julio	28	72
Agosto	0	100
Septiembre	0	100
Octubre	0	100

En la figura 13 se muestra el grado de formación del tipo de borde opaco y hialino, de acuerdo a la clasificación de Tanaka y Mizue (1979), quienes clasifican el tipo de borde por grados, donde G1 es una banda opaca en formación, G2 es una banda hialina de grosor pequeño, G3 es una banda hialina bien definida.

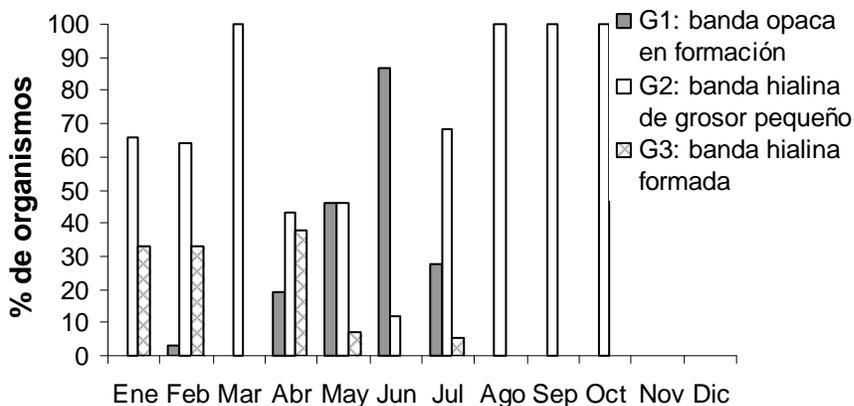


Fig. 13.- Grados de formación del borde hialino y opaco del tiburón aleta de cartón, *C. falciformis*.

Se observó claramente la transición de un grado a otro, en el que el G3 que es el borde hialino bien formado es el que predomina en los meses de enero a abril, encontrándose otros bordes similares pero en menor porcentaje en mayo y julio. El G1 que es el borde opaco empieza a observarse desde abril, hasta julio, y el G2 que sería la banda hialina de grosor pequeño se presenta después de julio, hasta los meses siguientes. Por lo que la especie de tiburón aleta de cartón *C. falciformis* tiene formación de marcas de crecimiento (banda hialina y opaca) anual.

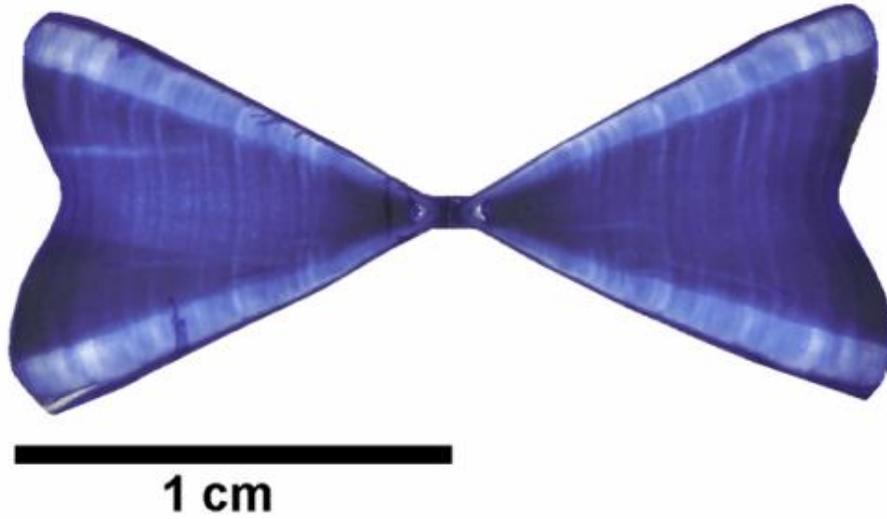
6.4. Estructura de edad de la población.

La estructura de edades de la población se determinó estimando la edad de los organismos con las lecturas de las bandas de crecimiento, excluyendo la primera banda opaca que es considerada como la banda o marca de nacimiento, por ello la edad cero corresponden a organismos neonatos que únicamente presentaban la marca de nacimiento y no tenían bandas de crecimiento en la estructura de la vértebra.

En la validación de la formación de bandas de crecimiento se encontró que este es un evento anual para esta especie, se determinó la edad de cada organismo con el número de bandas opacas presentes en la estructura vertebral, excluyendo siempre la primera banda que es considerada como la marca de nacimiento, que también esta acompañada de un cambio de ángulo en el crecimiento de la estructura vertebral (Fig. 14).

La presencia de un borde opaco (G1) en la estructura no se consideró como un año de edad, ya que en teoría no ha concluido el ciclo completo por que esta banda opaca estaba en proceso de formación.

a)



b)

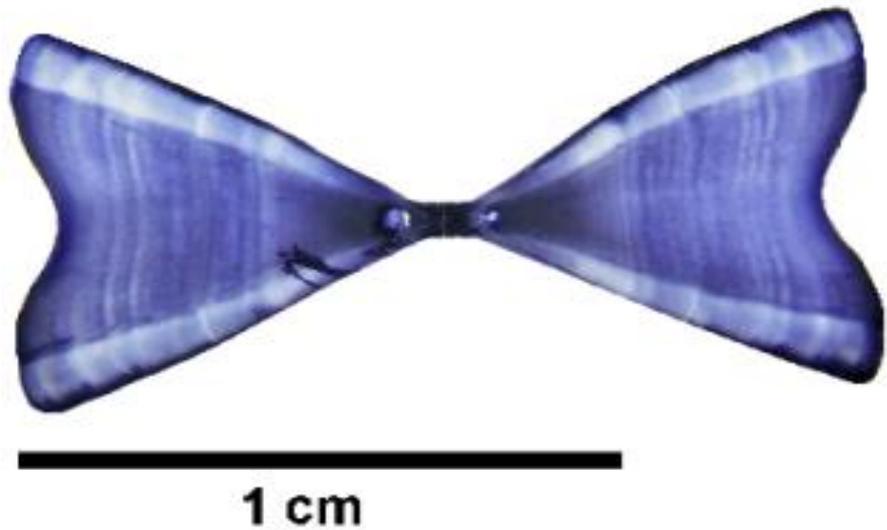


Fig. 14.- Cortes de vértebras del tiburón aleta de cartón, *C. falciformis*, adulto (a) juvenil (b), teñido con cristal violeta.

Se encontró que la mayor cantidad de organismos maduros muestreados corresponden a organismos de 8 años que representan el 19.8% del total de organismos analizados. Mientras que los organismos juveniles de mayor frecuencia

fueron de 4 y 5 años que corresponden al 27% (14.5% y 12.5% respectivamente) del total de los organismos.

El macho de más edad registrado fue de 10 años, mientras que la hembra de mayor edad fue de 13 años (Fig. 15). No se registraron organismos entre 10-12 años para las hembras mientras que en los machos no se observaron edades después de los 10 años.

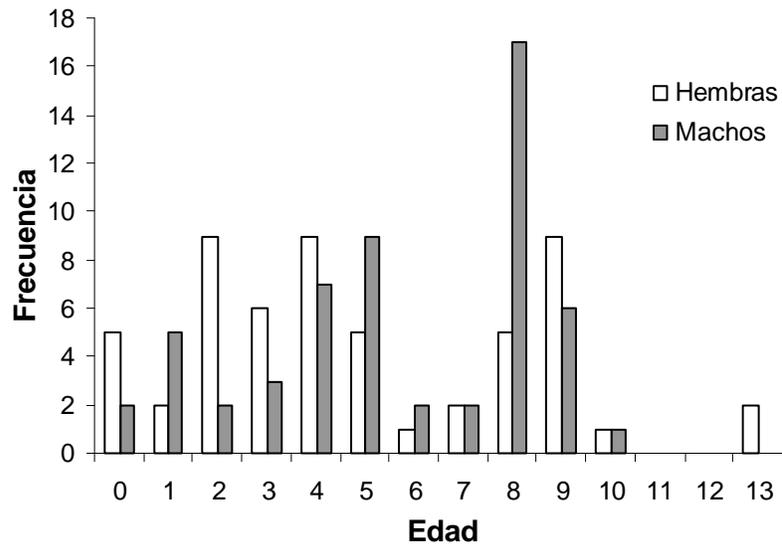


Fig. 15.- Estructura de edades para hembras y machos del tiburón aleta de cartón *C. falciformis*, registrado en el Golfo de Tehuantepec.

6.5. Relación entre la edad y la talla del organismo.

Se observó una diferencia importante en el número de marcas de crecimiento presentes en las estructuras vertebrales para las diferentes longitudes del tiburón aleta de cartón *C. falciformis*, y al transformar el número de marcas a edades y correlacionarla con la longitud de los organismos se puede observar el crecimiento de esta especie (Fig. 16).

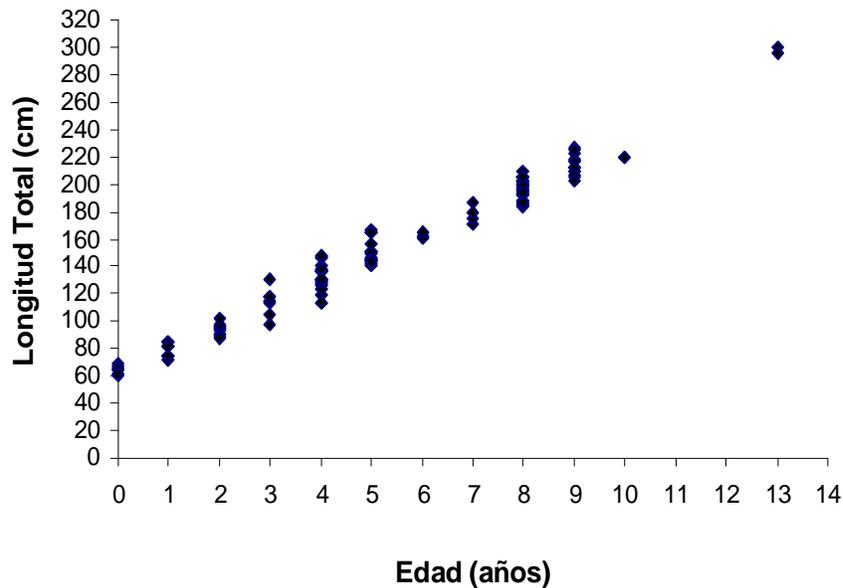


Fig. 16.- Relación entre la edad y la longitud total de hembras y machos del tiburón aleta de cartón *C. falciformis*.

6.6. Parámetros de crecimiento en longitud.

Los parámetros de crecimiento de la ecuación de Von Bertalanffy, estimados para el tiburón aleta de cartón, *C. falciformis*, para hembras, machos y ambos sexos se muestran en la tabla IV. La tasa de crecimiento (K) fue mayor para las hembras (0.106) que para los machos (0.102), al igual que con los valores de t_0 y L_∞ fue mayor para las hembras que para los machos.

Tabla IV.- Parámetros de crecimiento en longitud estimados para el tiburón aleta de cartón *C. falciformis*, por sexos separados y combinados.

Parámetro	Hembras	Machos	Ambos sexos
n	55	55	110
L_∞	315	310	315
K	0.106	0.102	0.104
t_0	-1.632	-1.86	-1.69

Las ecuaciones de Von Bertalanffy obtenidas para describir el crecimiento en longitud del tiburón aleta de cartón *C. falciformis* fueron las siguientes:

$$\text{Para hembras: } L_T = 315 (1 - e^{-0.106(t+1.632)})$$

$$\text{Para machos: } L_T = 310 (1 - e^{-0.102(t+1.86)})$$

$$\text{Para ambos sexos: } L_T = 315 (1 - e^{-0.104(t+1.69)})$$

Las curvas de crecimiento obtenidas a través de la ecuación de Von Bertalanffy se presentan en la figura 17, no presentan una diferencia significativa en el crecimiento entre hembras y machos del tiburón aleta de cartón *C. falciformis* ($F=0.0085$, $P<0.05$, g.l.1,22). Se observa que las curvas tanto para hembras y machos están ligeramente cercanas, esto se debe a los valores estimados de la longitud asintótica (L_∞) y la tasa de crecimiento (K) de hembras y machos, ya que estos parámetros determinan la variabilidad de las curvas del modelo de crecimiento, y se

deduce que las hembras nacen más pequeñas. Sin embargo después de los 3-4 años de edad sobrepasan las longitudes de los machos y alcanzan mayores tallas.

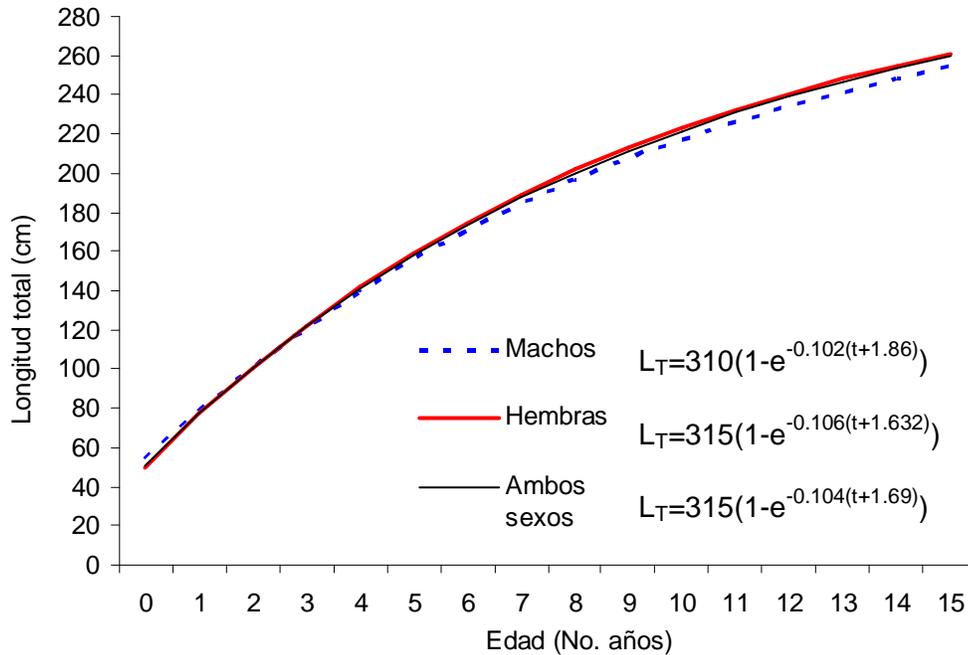


Fig. 17.- Curvas de crecimiento para hembras, machos y ambos sexos de *C. falciformis*, registrado en el Golfo de Tehuantepec

En las tallas de nacimiento de las hembras y los machos por medio de las ecuaciones de crecimiento obtenidas se ve una ligera diferencia, teóricamente con los modelos de crecimiento los machos nacen con una longitud de 53.3 cm LT, mientras que las hembras nacen a los 50 cm LT. La tasa de crecimiento (K) para las hembras es mayor que para los machos, aunque no hay una marcada diferencia, las hembras tienen una K de 1.06, mientras que los machos tienen una K de 1.02, esto significa que las hembras tienden a alcanzar mayor longitud que los machos.

Por medio de los modelos de crecimiento se asume que las edades máximas teóricas que puede alcanzar esta especie es aproximadamente de 24 años para las hembras y 23 años para los machos.

6.7. Parámetros de crecimiento en peso.

Para estimar los parámetros de crecimiento en peso del tiburón aleta de cartón *C. falciformis*, se obtuvieron los valores de la relación lineal existente entre la longitud total y el peso total de los organismos, para sexos combinados y por sexos separados (Fig. 18). En la tabla V se resumen los valores de las constantes (a, b) y de r^2 para hembras, machos y ambos sexos. El índice de correlación (r^2) entre las variables observado para, hembras y machos fue de 0.991 y 0.986 respectivamente y para ambos sexos fue de 0.988.

Tabla V.- Constantes del modelo de regresión que describe la relación entre la longitud total y el peso total de *C. falciformis*.

	Hembras	Machos	Ambos sexos
n	25	29	54
Antilog a	6.123×10^{-6}	2.56×10^{-6}	4.168×10^{-6}
b	2.95	3.11	3.02
r^2	0.991	0.986	0.988

La ecuación que describe la relación entre la longitud total y el peso del organismo, para hembras, machos y ambos sexos fue de tipo cercano a cúbico, con la prueba de t se encontró un crecimiento alométrico para esta especie. ($t= 3.9$, $P<0.05$, g.l.: 52).

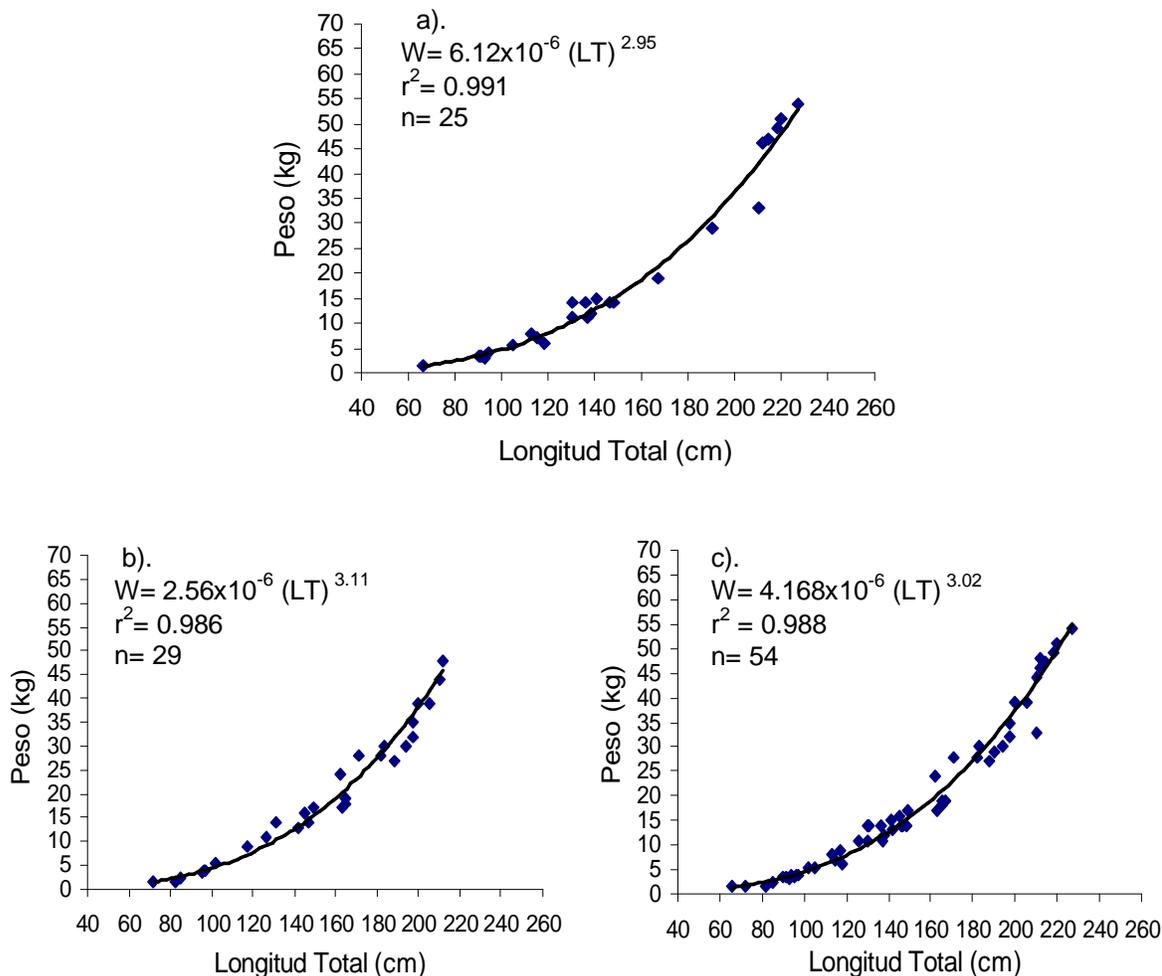


Fig. 18.- Relación entre la longitud total y el peso total de hembras (a), machos (b) y ambos sexos (c) del tiburón aleta de cartón *C. falciformis*.

Los parámetros de crecimiento en peso se muestran en la tabla VI, donde el peso asintótico (W_{∞}) obtenido para hembras fue de 143.5 Kg, para machos de 143.34 Kg, y para ambos sexos de 146.1 Kg. Estadísticamente no se encontró diferencia significativa entre el crecimiento en peso para hembras y machos ($F = 0.084$, $P < 0.05$, g.l. 1,22).

Tabla VI.- Parámetros de crecimiento en peso, estimados para el tiburón aleta de cartón *C. falciformis*, por sexos separados y combinados.

Parámetro	Hembras	Machos	Ambos sexos
n	25	29	54
W_{∞}	143.5	143.34	146.1
K	0.106	0.102	0.104
t_0	-1.632	-1.86	-1.69
b	2.95	3.11	3.02

Los modelos que describen el crecimiento en peso a partir de las ecuaciones de Von Bertalanffy para hembras, machos y ambos sexos fueron:

$$\text{Para hembras: } W_T = 143.5 (1 - e^{-0.106(t+1.63)})^{2.95}$$

$$\text{Para machos: } W_T = 143.34 (1 - e^{-0.102(t+1.86)})^{3.11}$$

$$\text{Para ambos sexos: } W_T = 146.1 (1 - e^{-0.104(t+1.69)})^{3.02}$$

Las curvas de crecimiento en peso resultantes de las ecuaciones de crecimiento en peso de Von Bertalanffy se muestran en la figura 19, donde se observa claramente que las hembras empiezan a incrementar su peso después de los 3 a 4 años y alcanzan mayor peso que los machos, aunque el W_{∞} es similar, las diferencias del crecimiento en peso se debe al valor de la tasa de crecimiento (K), donde las hembras tiene una tasa de crecimiento (K) más elevada que los machos.

De acuerdo a los parámetros de crecimiento en peso (Tabla VI) adaptados a las ecuaciones de Von Bertalanffy, teóricamente las hembras tendrían un peso aproximado de 620 gr al momento de nacer, mientras que los machos nacen con un peso de 600 gr.

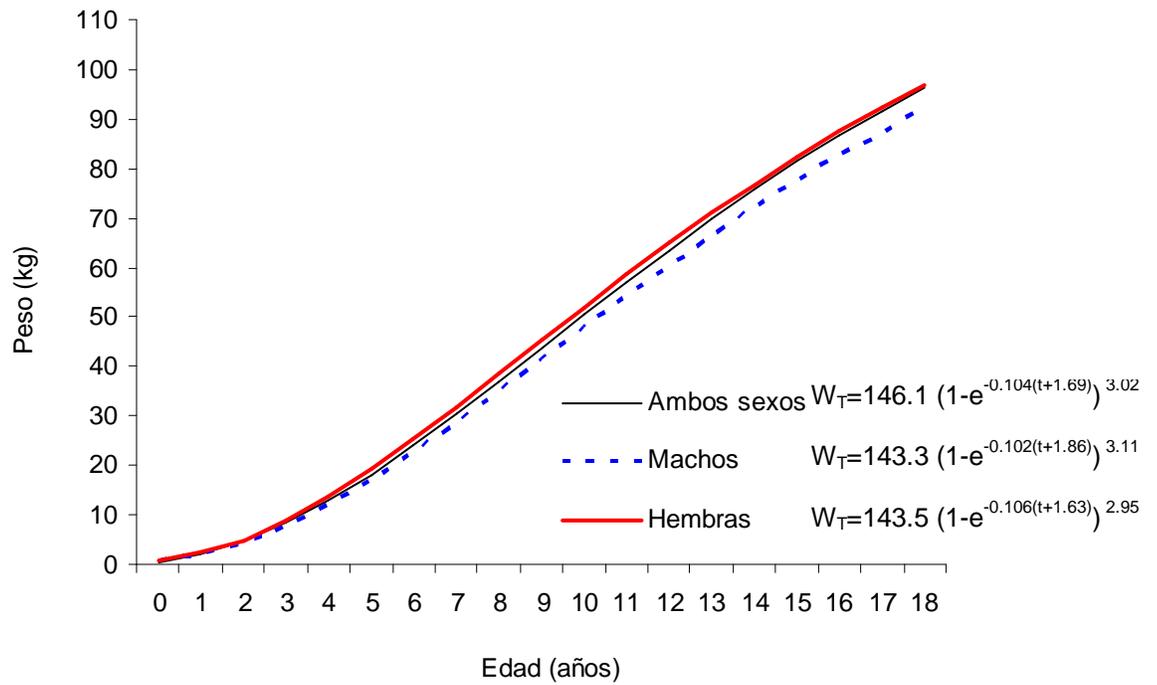


Fig. 19.- Curvas de crecimiento en peso para hembras, machos y ambos sexos de *C. falciformis*.

VII. DISCUSION

7.1. Muestreos y obtención de muestras.

El tiburón aleta de cartón *C. falciformis* es la especie que sostiene la pesquería de Puerto Madero, Chiapas y se desarrolla durante los doce meses del año; sin embargo, existieron varios factores que limitaron la obtención de muestras de vértebras. En el año 2005 el paso de la tormenta Stán por el Golfo de Tehuantepec fue una de las causas que dificultó el muestreo y la colecta de material biológico, ya que este fenómeno afecto directamente la pesquería de tiburón. Otro factor que dificultó la colecta de vértebras fue en la zona de desembarco, debido a que la mayoría de los permisionarios que se dedican a esta pesquería no permiten la extracción de las vértebras por un posible maltrato de su producto (tiburón capturado), que puede ocasionar una disminución del precio en el mercado, de la misma manera, Tovar (2000) hace referencia a este tipo de dificultades para la obtención de muestras, y es una limitante para el desarrollo de la investigación. La mayor parte de las muestras de vértebras colectadas se obtuvo, gracias al consumo local, ya que los tiburones son fileteados y las vértebras son desechadas, lo cual facilitó la obtención de estas.

7.2. Relación longitud total Æ radio vertebral.

Se encontró una relación lineal entre el radio de la vértebra y la longitud total para machos y hembras, lo cual indica un crecimiento proporcional entre ambas variables, por lo cual se asume que las vértebras son estructuras apropiadas para la determinación de edad en los elasmobranquios. Oshitani y cols. (2003) en su

estudio sobre la misma especie en el Océano Pacífico, frente a las costas de Japón reportaron el mismo tipo de relación entre esta estructura y la longitud furcal.

7.3. Validación de las marcas de crecimiento.

Según las observaciones por el método de tipo de borde en el tiempo, la formación de las marcas de crecimiento en las vértebras del tiburón aleta de cartón *C. falciformis* es un evento periódico y anual, formándose una banda hialina y una opaca por año, la periodicidad en la formación de las bandas de crecimiento es similar con los reportes de Oshitani y cols. (2003) donde mencionaron que son formadas anualmente y varían de acuerdo a las estaciones anuales.

La aparición de bordes opacos durante los meses de primavera-verano (mayo-julio) posiblemente se debe a los aumentos de temperatura en el océano, por lo tanto hay mayor disponibilidad de alimento, esto ocasiona un aumento en la incorporación de minerales como calcio y fósforo, dando como resultado la formación de las bandas opacas en esa estación. Por el contrario las bajas temperaturas y otros factores ambientales durante los meses de invierno disminuyen la incorporación de minerales en el borde de la vértebra, provocando la aparición de bordes hialinos. Yudin y Cailliet (1990), mencionaron que durante el invierno en el Pacífico de México las temperaturas del mar disminuyen, provocando que los tiburones migren junto con las corrientes, este cambio provoca el retraso en la tasa de crecimiento y en la incorporación de minerales, ya que incrementa su gasto energético para la alimentación y regulación de temperatura.

La separación por grados del tipo de borde hialino en G_2 y G_3 , banda hialina de grosor pequeño y banda hialina de grosor grande respectivamente muestran

claramente la acumulación y depositación de minerales en el borde de la vértebra, y la fácil observación de la transición del tipo de borde hialino-opaco durante el ciclo anual.

7.4. Estructura de edad.

Para la estimación de edad, se observó las bandas opacas en las vértebras, y también se identificó la marca de nacimiento por el cambio de ángulo en la estructura, esta marca fue excluida para el conteo de edad. Oshitani y cols. (2003) reportaron de igual forma la presencia de esta marca, la cual es formada justamente después del nacimiento y principalmente por los cambios de temperatura y su adaptación al medio marino. Las tallas de nacimiento obtenidas por la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy (50 cm LT y 53.3 cm LT para hembras y machos respectivamente) se encuentran dentro de los valores (50-77 cm LT) reportados por Soriano y cols. (2003), para esta especie en el Golfo de Tehuantepec.

Soriano y cols. (2003), determinaron las tallas de madurez sexual de *C. falciformis* en esta misma zona y reportaron 177 cm LT para hembras y 168 cm LT para machos, por lo cual, con la estimación de edad obtenida con la lectura de marcas de crecimiento se deduce que las hembras maduran a los 6-7 años con 177 cm LT y los machos maduran aproximadamente a los 6 años con 168 cm LT. Estas estimaciones de edad de madurez sexual se relacionan con las reportadas por Oshitani y cols. (2003), donde estimaron que las hembras maduran a los 6-7 años con 193-200 cm LT y los machos son maduros sexualmente a los 5-6 años con 186 cm LT. Sin embargo las estimaciones de tallas y edad de madurez sexual de

hembras y machos son más pequeñas que las reportadas por Branstetter (1987) y Bonfil (1993).

Las edades encontradas para el tiburón aleta de cartón *C. falciformis*, en el Golfo de Tehuantepec van desde los 0-10 años para machos y 0-13 años en hembras. Oshitani y cols. (2003), reportaron edades de 0-8 y 0-13 años para machos y hembras respectivamente.

7.5. Crecimiento en longitud.

Branstetter (1990), menciona que la constante de crecimiento (K) de la ecuación de Von Bertalanffy puede resultar en los siguientes valores; 0.05 . 0.1 en especies con crecimiento lento, de 0.1 . 0.2 en especies con crecimiento moderado, y de 0.2 . 0.5 en especies con crecimiento rápido, por lo cual, de acuerdo a la tasa de crecimiento estimada para el tiburón aleta de cartón *C. falciformis* en el Golfo de Tehuantepec, (K= 0.106 para las hembras y K= 0.102 para los machos) se asume que esta especie tiene un crecimiento relativamente lento (Tabla VII).

Tabla VII.- Comparación de parámetros de crecimiento para el tiburón aleta de cartón *C. falciformis*, en diversas zonas de estudio.

Parámetro	Bonfil (1993)		Oshitani <i>et al.</i> (2003)		Presente trabajo (2005)	
	Península de Yucatán		Océano Pacífico (costas de Japón)		Golfo de Tehuantepec	
	Hembra	Macho	Hembra	Macho	Hembra	Macho
K	0.101		0.148		0.106	0.102
L _∞	311 cm		287.7 cm		315 cm	310 cm
t ₀	-2.718		-1.76		-1.63	-1.86
Talla de nacimiento	76 cm LT		65-81 cm LT		50	53

La K estimada en este trabajo es similar a la reportada por Bonfil (1993), quien reportó una K de 0.101 para sexos combinados, en comparación con lo reportado por Oshitani y cols. (2003), donde la tasa de crecimiento ($K= 0.148$) se refiere a organismos con un crecimiento moderado. La L_{∞} estimada es mayor a la reportada por Oshitani y cols. (2003), pero muy similar a la encontrada por Bonfil (1993). Estas diferencias en los valores de los parámetros de crecimiento posiblemente se deban a las temperaturas de las diversas zonas de estudio, ya que la temperatura es un factor que afecta directamente el crecimiento de los organismos por su influencia en el metabolismo.

7.6. Crecimiento en peso.

La relación encontrada entre el peso total y la longitud total del tiburón aleta de cartón es casi cúbica, encontrándose valores de b de 3.02 para ambos sexos, 3.11 para machos y 2.95 para hembras, la prueba de t de student indica que esta especie tiene un crecimiento alométrico. El peso de las hembras preñadas no fue incluido ya que el peso de los embriones puede influir en las variaciones de los resultados, los valores encontrados son semejantes a los reportados por Oshitani y cols. (2003), quien reporta un valor de b de 2.86 para sexos combinados.

El peso asintótico (W_{∞}) para machos (143.3 Kg) y hembras (143.5 kg) no presentaron diferencias significativas.

VIII. CONCLUSIONES

En la determinación de edad y crecimiento, se encontró que las vértebras son estructuras apropiadas debido a su constante depositación de sales minerales en sus bordes y por lo tanto una periódica formación de marcas de crecimiento. La formación de estas marcas de crecimiento es un evento anual, formándose las bandas hialinas en primavera-verano y las opacas en otoño-invierno.

Las tallas de nacimiento encontradas con la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy fueron de 50 cm LT y 53.3 cm LT para hembras y machos respectivamente. La edad de madurez sexual para las hembras es estimada entre los 6 y 7 años con 177 cm LT y los machos maduran aproximadamente a los 6 años con 168 cm LT. La edad máxima teórica que puede alcanzar esta especie es para las hembras de 24 años y para los machos de 23 años.

No se encontró diferencia significativa entre el crecimiento en longitud y peso para hembras y machos, la tasa de crecimiento para las hembras ($K= 0.116$) y machos ($K= 0.103$), indican que *C. falciformis* es una especie con crecimiento lento. Los modelos resultantes de crecimiento en longitud y peso indican que las hembras alcanzan mayores tallas y peso que los machos, aunque estas nacen más pequeñas que estos, pero incrementan su crecimiento después de los 3-4 años de edad.

IX. RECOMENDACIONES

La pesca del tiburón aleta de cartón *C. falciformis*, en la zona del Golfo de Tehuantepec, se basa principalmente en organismos que no han alcanzado la madurez sexual (mas del 85%), estas características de la pesquería y de la biología de esta especie (crecimiento lento, madurez sexual tardía y largo periodo de gestación), pueden ocasionar problemas en las poblaciones de tiburones y en los ecosistemas marinos, por lo cual se recomienda un estudio enfocado a establecer las zonas y temporadas de crianza y de reproducción, para la protección de hembras grávidas y neonatos, ya que estos son la base para la recuperación de las poblaciones de tiburones, también establecer medidas de manejo para una pesca responsable y sustentable del recurso para evitar el colapso de las pesquerías y la afectación de las economías de las comunidades costeras, para ello se tiene que mejorar la selectividad de las artes de pesca utilizados, al igual que mantener un monitoreo permanente y muestreos sistemáticos de la pesquería de tiburón para analizar los efectos de esta pesquería en la zona, así también proponer la pesquería de otros recursos pesqueros como alternativas viables, de esta manera asegurar la recuperación de las poblaciones de tiburones.

X. BIBLIOGRAFIA

- Acal, E. D., S. R. Soriano, y J. L. Castillo. 2003. Variaciones estacionales de la diversidad y captura de tiburones en la pesquería artesanal del litoral de Chiapas, México. Dirección General de Investigación y Desarrollo Tecnológico Pesquero. INP. Informe de Investigación. México, D.F.
- Anderson. E. D. 1990. Fishery models applied to elasmobranch fisheries. *In* Pratt, Jr., S.H- Gruber & T. Taniuchi, (Eds) Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematic, and the status of the fisheries. U.S. Dep: Commer. NOAA Tech. Rep. NMFS 90: 427-443.
- Andrade, G. Z. 1996. Determinación de edad y crecimiento en el tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1883) (familia Sphyrnidae) del Pacífico Mexicano mediante la lectura de anillos vertebrales. Tesis de Biología, Fac. de Ciencias Biol. Univ. de Guadalajara, México. 70 pp.
- Anislado, T. V. y C. Robinson M. 2001. Edad y crecimiento en el tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834), en el Pacífico Central de México. *Ciencias Marinas* (2001), 27(4): 501-520.
- Applegate, S. P. 1967. A survey of shark hard parts. *In* P.W. Gilbert, R. F. and D. P. Rall (Eds). *Sharks, skates, and rays*. The Johns Hopkins Press, Baltimore. Md. 37-67
- Applegate, S. P.; L. Espinoza-Arrubarrena y F. Sotelo-Macias. 1994. An overview of Mexican Shark Fisheries, with suggestions for shark conservation in México. *In*: Branstetter, S. (Eds) *Conservation Biology of Sharks*. U.S. Dept. Commerce. NOAA Technical Report NMFS 115: 31-37.

- Beamish, R. J. y G. A. Mcfarlane. 1983. The forgotten requirement for age validation in fisheries biology. *Transaction of the American Fisheries Society* (112): 735-743.
- Bonfil, R., R. Mena y de D. de Anda. 1993. Biological parameters of commercially exploited silky sharks, *Carcharhinus falciformis*, from the Campeche bank, México: 73. 85. In: Branstetter (Eds). Conservation biology of elasmobranchs. S. Dep. Commer. NOAA. Tech. Report. NMFS. 115 pp.
- Bonfil, R. 1994. Overview of world Elasmobranch Fisheries. FAO. Technical Paper 341, FAO, Rome. 119 pp.
- Branstetter, S. D. y R. Stiles, 1987. Age and growth estimates of the bull shark, *Carcharhinus leucas*, from the northern Gulf of Mexico. *Env. Biol. Fish.*, 20(3): 169-181.
- Branstetter, S. D. 1990. Early life-history implications of selected carcharhinoid and lamnoid sharks of the Northwest Atlantic. 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.
- Cadena C. L. y C. Villavicencio G. C. 2000. Reproducción de *C. falciformis* (Bibron, 1839) en el Golfo de California. Laboratorio de Elasmobranquios, Depto. De Biología Marina, Tesis Profesional. U.A.B.C.S. La Paz, B.C.S. México.
- Cailliet, G. M., L. K. Martin, J. T. Harvey, D. Kusher y B. A. Welden, 1983. 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 E.D. Prince and L.M. Pulos (Eds). Proceedings of the International

Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes, and Sharks. NOAA Tech. Rep. NMFS 8: 179-188.

Cailliet, G. M., L. K. Martin, D. Kusher, P. Wolf y B. A. Welden. 1983. Techniques for enhancing vertebral bands in age estimation of California elasmobranchs. In: Prince and L.M. Pulos (*Eds*). Proceedings of the International Workshop on age determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes and Sharks. Miami, Florida, U.S. 157-166.

Cailliet, G. M., L. J. Natanson, B. A. Welden y D. A. Ebert. 1985. Preliminary studies on the age and growth of the white shark, *Carcharodon carcharias*, using vertebral bands. Southern California Academy of Sciences. Memoirs, 49-60.

Castillo-Géniz, J. L. 1992. Diagnostico de la pesca de Tiburón en México. INP, Secretaria de Pesca. 76 pp.

Castillo-Géniz, J. L, A. Cid del Prado V., S. R. Soriano V., C. Ramírez S., A. Solís N. y F. Sancho V. 1997. Descripción, evaluación y manejo de la pesquería artesanal del tiburón en Puerto Madero, Chiapas (Junio 1996 a Junio 1998). Dirección General de Investigación en Evaluación y Manejo de Recursos Pesqueros. INP. SAGARPA. Segundo Informe de Investigación.

Castillo-Géniz, J. L.; J. F. Márquez-Farias, M. C. Rodríguez de la Cruz, E. Cortés y A. Cid del Prado. 1998. The mexican artisanal shark fishery in the Gulf of Mexico: towards a regulated fishery. Mar. Freshwater Res. 49: 611-620.

Castillo-Géniz, J. L., A. Cid del Prado V., S. Soriano V., F. Sancho y. & C. Ramírez S. 1999. Descripción, evaluación y manejo de la pesquería artesanal de tiburón de Puerto Madero, Chiapas. Informe Técnico del Instituto Nacional de la Pesca. México D.F.

- Castro, J. I. 1983. The Shark of North American Waters. Texas A. and M. University Press, College Station, Texas. 179 pp.
- Compagno, L. J. V. 1984. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2 Carcharhiniformes. FAO Fish, Synop. Rome. (125) 4: 251-655.
- Daiber, R. C. 1960. A technique for age determination in the skate, *Raja eglanteria*. Copeia 1960:258-260.
- Francis, M. P. 1981. Von Bertalanffy growth rates in species of *Mustelus* (Elasmobranchii; Triakidae). Copeia 1981: 189-192.
- Galván, T. C. 2002. Descripción biológica pesquera de la captura comercial de tiburón en Puerto Madero, Chiapas. UNAM. Div. Ciencias Biológicas. Tesis profesional. México D.F. 67pp.
- Gayanilo, F. C., P. Sparre & D. Pauly. 2002. The FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (*FiSAT II*) User's Guide. FAO, Rome.
- Gruber. S. H. y R. G. Stout. 1983. Biological materials for the study of age and growth in a tropical marine elasmobranch, the lemon shark, *Negrapion brevirostris*. In: D. Prince and L. M. Pulos (Eds). Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas Billfishes and shark. Miami, Florida, U. S. 193-206.
- Gulland, J. A. y S. H. Holt. 1959. Estimation of growth parameters for data at unequal time intervals. J. Cons. Int. Explor. Mer. 25(1): 47. 49.
- Kusher, D. I., S. E. Smith & 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.

- La Marca, M. J. 1966. A simple technique for demonstrating calcified annuli en the vertebrae of large elasmobranches. *Copeia* 1966; 351-352.
- Medellin O. A. 2004. Determinación de edad del tiburón dormilón búfalo (*Heterodontus mexicanus*) en la parte Norte del Golfo de California por medio de vértebras y espinas dorsales. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Marinas. U. A. B. C. México. 49 pp.
- Mendizábal O. D., R. Vélez y F. Valdez. 1990. Relación de la captura con la temperatura y profundidad de la termoclina durante la pesca comercial de picudos, tiburones y dorados en la zona oceánica del Pacífico Central Mexicano. In: Dailey, M. & H. Bertsh. (Eds.). Mem. VIII Simp. Biol. Mar. 127-144.
- Mendizábal O. D. 1995. Biología reproductiva, crecimiento, mortalidad y diagnóstico de *Alopias vulpinus* (tiburón zorro) y *Carcharhinus limbatus* (tiburón volador) de la boca del Golfo de California al Golfo de Tehuantepec (período 1986-1987). Tesis de Maestría. Fac. de Ciencias, UNAM, México.
- Officer, R. A. 1995. Vertebral mineralization patterns in gummy and school shark, *Galeorhinus galeus*: circunstancial evidence for endoskeletal resorption. *Journal of Fish Biology* 46:85-98.
- Oshitani, S., H. Nakano y S. Tanaka. 2003. Age and growth of the silky shark *Carcharhinus falciformis* from the Pacific Ocean. *Fisheries Science* 2003; 69: 456-464.
- Powers, J. E. 1983. Some statistical characteristics of ageing data and their ramifications in population analysis of oceanic pelagic fishes. In: D. Prince and L. M. Pulos (Eds). *Proceedings of the International Workshop on Age*

- Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes and sharks. Miami, Florida, U.S. 19-24.
- Radtke, R. L. y G. M. Cailliet. 1984. Age estimation and growth of the gray reef shark, *Carcharhinus amblyrhynchos*, from the northwestern Hawaiian Islands. *In*: Grigg, R. W. and K. Y. Tanoue (Eds). Proceedings of the second symposium on resource investigations of the northwestern Hawaiian Islands. University of Hawaii, Sea Grant College Program, Honolulu, Hawaii. 121-127.
- Ribot, C. M. C. 2002. Determinación de la edad del tiburón mako *Isurus oxyrinchus*, capturado en las costas de Baja California Sur, México. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. UNAM. 44 pp.
- Richards, S. W., D. Merriman, y L. H. Calhoun. 1963. Studies on the marine resources of southern New England. The biology of the little skates, *Raja erinacea*. Mitchill. Bull. Bingham Oceanogr. Collect., Yale University 18(3): 5-67.
- 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. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 167-174.
- Soriano-Velásquez, S. R., A. Solís-Nava, C. Ramírez-Santiago, A. Cid del Prado-Vera y J. L. Castillo-Géniz. 2000. Tiburones del Golfo de Tehuantepec. En: Díaz de León-Corral, A. y M. A. Cisneros-Mata (Eds). Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo. INP/SAGARPA. 212-236.
- Soriano-Velásquez, S. R., A. Solís-Nava, C. Ramírez-Santiago, A. Cid del Prado-Vera y J. L. Castillo-Géniz. 2000. Análisis demográfico de dos especies de tiburones, Aleta de Cartón o sedoso, *Carcharhinus falciformis* (Bibron, 1839) y tiburón Martillo, *Sphyrna lewini* (Griffit and Smith, 1843) en el Golfo de

Tehuantepec. Dirección General de Investigación en Evaluación y Manejo de Recursos Pesqueros. INP. México, D.F.

Soriano-Velásquez, S. R., D. E. Acal., C. Ramírez-Santiago, y J. L. Castillo-Géniz. 2003. Aspectos Reproductivos de tres especies de la familia *Carcharhinidae* y una especie de la familia *Sphyrnidae* del Golfo de Tehuantepec. Dirección General de Investigación y Desarrollo Tecnológico Pesquero. INP. Informe de Investigación. México, D.F.

Soriano-Velásquez, S. R; D. E. Acal, C. Galván, J. L. Castillo-Géniz y N. Vázquez. 2003. Estadios de Madurez de *Carcharhinus falciformis* y *Sphyrna lewini* en relación a las artes de pesca utilizadas en el Golfo de Tehuantepec. Dirección General de Investigación y Desarrollo Tecnológico Pesquero. INP: Informe de Investigación México, D.F.

Sparre, P. y S. C. Venema. 1992. Introducción a la evaluación de los recursos pesqueros tropicales. Parte I. Valparaíso, Chile. 250 pp.

Stevens, J. D. 1975. Vertebral rings as a means of age determination in the blue shark (*Prionace glauca*, L.). J. Mar. Biol. Ass. 55:657-665.

Stevens, J. D., R. Bonfil, N. K. Dulvy y P.A. Walker. 2000. The effects of fishing on shark, rays and chimeras (Chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. Journal of Marine Science. 476-494.

Tanaka, S. y K. Mizue. 1979. Studies on sharks. XV. Age and growth of Japanese dogfish, *Mustelus manazo* Bleeker, in the East China Sea. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 45(1):43-50.

- Tovar, A. J. 2000. Edad y crecimiento del tiburón puntas negras *Carcharhinus limbatus* (Valenciennes 1839) en el Golfo de México. Tesis de maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. México. D.F. 67 pp.
- Urist, M. R. 1961. Calcium and phosphorus in the blood and skeleton of the elasmobranchii. *Endocrinology* 69:778-801.
- Velez, M. R; O. Mendizábal, F. Valdez y A. Venegas. 1989. Prospección y pesca exploratoria de recursos pesqueros en la Zona Económica Exclusiva del Océano Pacífico. CRIP Manzanillo. Informe Técnico del Instituto Nacional de la Pesca.
- Von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II) *Hum. Biol.* 10: 181-213.
- Walford, L. A. 1946. A new graphic method of describing the growth of animals. *Bio. Bull. (Woods Hole)* 90: 141-147.
- Wintner, S. P. y G. Cliff. 1996. Age and growth determination of the blacktip shark *Carcharhinus limbatus*, from the east coast of South Africa. *Fishery Bulletin* 94(1): 135-144.
- Yudin, K. G. y G. M. Cailliet. 1990. Age and growth of the gray smoothhound, *Mustelus californicus*, and the brown smoothhound, *M. henlei*, sharks from Central California. In: *Copeia (Eds)*. Proceedings of the American Elasmobranch Society Symposium Papers. 191-204.