



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales**

**Demografía del tiburón tolo *Carcharhinus falciformis* (Bibron, 1839) y  
del tiburón zorro *Alopias spp.* en aguas de Galápagos, Ecuador.**

**Antonella Carolina Almeida Saá**

**Judith Denkinger Ph.D., Directora de Tesis**

Tesis de grado presentada como requisito  
para la obtención del título de Licenciada en Biología.

Quito, marzo de 2015

**Universidad San Francisco de Quito**  
**Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales**

**HOJA DE APROBACION DE TESIS**

**Demografía del tiburón tollo *Carcharhinus falciformis* (Bibron, 1839) y  
del tiburón zorro *Alopias* spp. en aguas de Galápagos, Ecuador.**

**Antonella Carolina Almeida Saá**

Judith Denkinger, Ph.D.

Directora de Tesis

.....

Stella de la Torre, Ph.D.

Decana del Colegio del Colegio

de Ciencias Biológica y Ambientales

.....

Margarita Brandt, Ph.D.

Miembro del comité de Tesis

.....

Luis Vinueza, Ph.D.

Miembro del comité de Tesis

.....

Quito, marzo de 2015

## **DERECHOS DE AUTOR**

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma: \_\_\_\_\_

Nombre: Antonella Almeida Saá

C. I.: 0401338801

Lugar y fecha: Quito, marzo de 2015

**DEDICATORIA**

A la mar...

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo no habría tenido éxito sin la invaluable colaboración de mi tutora Judith Denkinger, la colaboración de los miembros de mi comité de tesis, Margarita Brandt y Luis Vinuesa; gracias por su tiempo, su paciencia y sus consejos .

A todos mis profesores; En especial a Carlos Valle, Stella de la Torre y Pablo Riera por el cúmulo de conocimientos que me entregaron durante mis años de estudio y por la gran amistad que me brindaron.

A los miembros del laboratorio de Biología de la USFQ, al laboratorio de patología de la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR y al I.T.S. "TULCAN".

A mis padres y amigos, por creer.

A madhu...

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio es aportar con datos demográficos para el tiburón *Alopias* spp. y el tiburón *Carcharhinus falciformis*, partiendo del análisis de edad estimado a través de las marcas de crecimiento depositadas en las vértebras de 100 individuos provenientes de un barco de pesca ilegal incautado en junio del 2011 en las Islas Galápagos. La embarcación Fer Mary I cargaba siete especies de tiburones, de las cuales el 79.95 % corresponden a *Alopias* spp. y 11.08 % a *Carcharhinus falciformis*. Predominando la proporción de hembras para toda la embarcación (1M:2H) y el mismo resultado para *Alopias* spp; para *C. Falciformis* fue (1.5M:1H) predominando los machos. Para estimar la edad de los individuos se utilizaron 4 métodos diferentes: nitrato de plata, rayos X, resina acrílica y placas histopatológicas. Se encontró que el mejor método para determinar la edad en *Alopias* spp. fue el de rayos X debido a la facilidad de lectura; para *Carcharhinus falciformis* los 4 métodos tuvieron resultados similares.

Los grupos de edad encontrados para *Alopias* spp. en hembras fue de 5 a 21 años con moda en 6. Para machos, entre 6 y 19 años, con moda en 18. Los grupos de edad para *Carcharhinus falciformis* en hembras fue de 7 a 15 años con moda en 10. Para machos, entre 5 y 19 años, con moda en 5. En *Alopias* spp. predominaron los adultos (63%); mientras que en *Carcharhinus falciformis* predominó el porcentaje de juveniles (59.26%). No existieron diferencias significativas entre el crecimiento de machos y hembras de las 2 especies.

Se usaron medidas de longitud dorsal (LD) y longitud de cabeza (LC) para determinar la relación con el radio de la vértebra ( $r$ ). *Carcharhinus falciformis* mostró una tendencia rectilínea ( $r^2= 0.78$ ) para LC y ( $r^2=0.70$ ) para LD. Existió un alto índice de correlación (Rho: LC:  $r^2=0.86$ ;  $p=0.534$ ) y (LD:  $r^2=0.85$ ;  $p=0.528$ ). En *Alopias* spp la relación entre ( $r$ ) y LC, LD, tuvo un índice bajo. LC: ( $r^2=0.198$ ) LD: ( $r^2=0.26$ ); (Rho LC:  $r^2= 0.24514$ ;  $p=0$ ; LD:  $r^2=0.20819$ ;  $p=0$ ) reportándose una relación no significativa en ambos casos pero se registrando una dependencia entre variables lo cual sugiere que las vértebras en este estudio no resultaron adecuadas para estimaciones de edad y crecimiento en este tiburón.

## ABSTRACT

The objective of this study is to provide demographics data for the Thresher Shark (*Alopias* spp.) and the Silky Shark (*Carcharhinus falciformis*) based on age analysis estimated through growth marks deposited in the vertebrae of 300 individuals. The sharks were obtained from an illegal fishing boat seized on July 2011 in the Galapagos Islands. The boat "Fer Mary I" contained seven species of sharks, of which 79.95% were *Alopias* spp. and 11.08% *Carcharhinus falciformis*. Females were predominant in both species (1M: 2H). We found a relationship within male and female of 1.5M: 1F in silky sharks and 1M: 2F in thresher sharks. To estimate the age, we used four methods: silver nitrate, X-rays, acrylic resin and histopathological plates. The best method to determine the age for *Alopias* spp. was through X-rays due to the ease of reading. For *Carcharhinus falciformis* the four methods had similar results.

The age groups found in the *Alopias* spp. Samples were: for females from 5 to 21 years (mode in 6). For males: between 6 to 19 years, mode in 18. For *Carcharhinus falciformis*: the groups to age for females were from 7 to 15 with mode in 10. For males: between 5 to 19 years, mode 5.

For *Alopias* spp. the age ranged from 5 - 21 years with a mode of 6 for females and 6 - 19 with a mode of 18 for males. For *Carcharhinus falciformis* the age ranged from 7 - 15 with a mode of 10 for females and 5 - 19 with a mode of 5 for males.

In *Alopias* spp. there were more adults (63%) than young, whereas in *Carcharhinus falciformis* there was a higher percentage of juveniles (59.26%). No significant difference in size was found between males and females.

The relationship between the radius of the vertebrae and body length (LC & LD) in Silky shark (*Carcharhinus falciformis*) was straight ( $r^2 = 0.78$ ) for LC and ( $r^2=0.70$ ) for LD, indicating that both variables grow proportionally; whereas thresher sharks (*Alopias* spp.) appear to grow independently considering growth layers in vertebrae and body size: LC: ( $r^2=0.198$ ) LD: ( $r^2=0.26$ ).

The relationship between the radius of the vertebrae and body length (LC & LD) in Silky shark (*Carcharhinus falciformis*) was linear ( $r^2 = 0.78$ ) for LC and ( $r^2=0.70$ ) for LD, indicating that both variables grow proportionally; whereas thresher sharks (*Alopias* spp.) appear to grow independently considering growth layers in vertebrae and body size: LC: ( $r^2=0.198$ ) LD: ( $r^2=0.26$ ).



## TABLA DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>8</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE IMAGENES .....</b>	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. Especies en estudio .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>2.1. Objetivo General.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>3.1. Área de estudio .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>3.2. Métodos de campo.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>3.3. Métodos de laboratorio.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>3.4. Determinación de edad .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Método de rayos X (Cailliet, 1983): .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Método de conteo normal: .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tinción con nitrato de plata (Stevens, 1975): .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Método de placas histopatológicas (Ridewood, 1921): .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Lectura de bandas.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>3.5. Análisis Estadísticos .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Determinación de edad .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Estructura de edades .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tamaño entre machos y hembras.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Relación entre tamaño de vértebras y cuerpo del tiburón .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Abundancia relativa de los tiburones en el barco .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Proporción de sexos.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
<b>Determinación de edad .....</b>	<b>27</b>
<b>Estructura de edades .....</b>	<b>28</b>
<b>Tamaño entre machos y hembras .....</b>	<b>29</b>
<b>Abundancia relativa en el barco .....</b>	<b>30</b>
<b>Proporción de sexos .....</b>	<b>31</b>
<b>5. DISCUSIÓN .....</b>	<b>31</b>
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>7. REFERENCIAS .....</b>	<b>42</b>
<b>8. ANEXOS:.....</b>	<b>48</b>
<b>a. FIGURAS.....</b>	<b>48</b>
<b>b. TABLAS .....</b>	<b>64</b>

## ÍNDICE DE IMAGENES

<b>Figura 1.</b> Tiburon tollo <i>Carcharhinus falciformis</i> . Extraída de: Food and Agriculture Organization of the United Nations. _____	48
<b>Figura 2.</b> Distribución del tiburón tollo <i>Carcharhinus falciformis</i> . Extraída de: Food and Agriculture Organization of the United Nations. _____	48
<b>Figura 3.</b> Tiburón zorro <i>Alopias spp.</i> Extraída de: Food and Agriculture Organization of the United Nations. _____	49
<b>Figura 4.</b> Distribución del tiburón zorro <i>Alopias spp.</i> Extraída de: Food and Agriculture Organization of the United Nations. _____	49
<b>Figura 5.</b> Ubicación de Islas Galápagos-Ecuador. Imagen adaptada de: www.codeso.com _____	50
<b>Figura 7.</b> Morfometría y zona de extracción de las vértebras. LE (Longitud Estándar). LP (Longitud Precaudal). LC (Longitud de Cabeza). LD (Longitud Dorsal). _____	51
<b>Figura 8.</b> Partes de la vértebra de tiburón. _____	51
<b>Figura 9.</b> Calibrador en centímetros usado para medir D (diámetro) y r (radio) de la vértebra. _____	52
<b>Figura 10.</b> Corte de la vértebra de 5 mm. _____	52
<b>Figura 11.</b> Cortes sagitales y vértebras colocadas transversalmente sobre películas radiográficas. _____	53
<b>Figura 12.</b> Distancia del cono del equipo radiológico hasta la vértebra. _____	53
<b>Figura 13.</b> Determinación de edad mediante conteo de anillos en Rayos X. _____	54
<b>Figura 14.</b> Exposición de las vértebras frente a luz ultravioleta. _____	54
<b>Figura 15.</b> Determinación de edad por tinción con Nitrato de plata al 1%. _____	55
<b>Figura 16.</b> Corte de lámina de 0.5 mm de grosor. _____	55
<b>Figura 17.</b> Bloque de parafina. _____	56
<b>Figura 18.</b> Placa histopatológica. _____	56
<b>Figura 19.</b> Vértebra en corte sagital con sus estructuras; F(foco), CC(corpus calcareum), MN (marca de nacimiento), BH(banda hialina) BO (banda opaca) R (radio). _____	56
<b>Figura 20.</b> Porcentaje en diferencias de métodos de determinación de edad para tiburón <i>Alopias spp.</i> y <i>Carcharhinus falciformis</i> . _____	57
<b>Figura 21.</b> Frecuencia de edades para machos y hembras del tiburón <i>Alopias spp.</i> Y <i>Carcharhinus falciformis</i> _____	58
<b>Figura 22.</b> Diferencias de tamaños entre sexos para cada especie. _____	58
<b>Figura 23.</b> Relación entre LC y radio de la vértebra (arriba) y LD y radio de la vértebra (abajo) para <i>Carcharhinus falciformis</i> . _____	59
<b>Figura 24.</b> Relación entre LC y radio de la vértebra (arriba) y LD y radio de la vértebra (abajo) para <i>Alopias spp.</i> _____	60
<b>Figura 25.</b> Porcentaje de especies en relación al número total de individuos en el barco. _____	61
<b>Figura 26.</b> Porcentaje de machos y hembras de <i>Carcharhinus falciformis</i> , <i>Alopias spp.</i> y <i>Prionace glauca</i> . capturados en el barco Fer Mary I. _____	62
<b>Figura 27.</b> Porcentaje de adultos y juveniles para <i>Alopias spp.</i> y <i>Carcharhinus falciformis</i> . _____	62

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Distancia entre anillos de las vértebras de <i>Carcharhinus falciformis</i> . _____	64
<b>Tabla 2.</b> Distancia entre anillos de las vértebras de <i>Alopias spp.</i> _____	65

## 1. INTRODUCCION

Los tiburones son depredadores tope dentro de la cadena trófica (Ferretti *et al.*, 2008). Su papel en el ecosistema no solo afecta la abundancia y el comportamiento de sus presas (Stevens *et al.*, 2000), sino que su impacto se propaga a lo largo de las tramas tróficas (Shahid *et al.*, 1999). De tal manera, que la disminución o eliminación de los tiburones puede contribuir a la desaparición de otras especies de animales que comparten su hábitat (Cavanagh & Gibson, 2007), ya que su papel fundamental es regular poblaciones, siendo responsables en gran medida de la estructura y equilibrio de los ecosistemas marinos (Baum & Worm, 2009).

Los tiburones son un grupo taxonómico sumamente exitoso, sin embargo, su historia natural los hace particularmente vulnerables a los impactos humanos como la pesca dirigida y la pesca incidental. Por ejemplo, tienen bajas tasas de fecundidades, de crecimiento y maduración sexual tardía (Holden, 1977). Estos rasgos identifican a los tiburones como organismos con estrategia de vida “k” (Compagno, 1990) los cuales invierten gran cantidad de recursos en pocos descendientes, que tienen una alta probabilidad de supervivencia (Anderson, 1990).

Sus períodos de recuperación frente a la sobrepesca son largos, haciéndolos un grupo muy susceptible a la sobreexplotación (Anderson, 1990). Sin embargo, los tiburones están amenazados por la pesca ilegal y la captura incidental. Gran parte de la pesca incidental no se reporta (Schleussel, 2005). En los casos en que se registra la captura incidental, los números son importantes, a veces incluso mayores que la captura objetivo (Amorim, 1998). En el Ecuador, el aleteo, el cual es una práctica en donde se aprovecha únicamente las aletas del tiburón, está prohibido. Por lo general las aletas representan únicamente del 1 al 5% del peso total del cuerpo (UICN, 2009).

Para mantener un control sobre la pesquería de tiburones en Ecuador, se ha creado el “Plan de Acción Nacional para la Conservación y Manejo de Tiburones de Ecuador” (PAT-Ec) con el fin de regular la pesca incidental y tener datos verídicos sobre el manejo de los tiburones capturados y datos sobre demografía de los mismos (Martínez *et al.*, 2011). El objetivo de este plan es garantizar la conservación y el manejo sostenible de los tiburones, rayas y quimeras que se encuentran en las aguas del Ecuador. De igual manera se encarga de garantizar la conservación de tiburones presentes en al Reserva Marina Galápagos (RMG) y garantizar que las capturas de la pesca en aguas fuera de la reserva sean sostenibles (MICIP, 2006).

En las Islas Galápagos se ha reportado la presencia de 29 especies de tiburones (Zarate, 2002), los más comunes son: el tiburón gato (*Heterodontus quoyi*), tiburón ballena (*Rhincodon typus*), tiburón Galápagos (*Carcharhinus galapagensis*), tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*), tintorera punta aleta blanca (*Triaenodon obesus*) y tiburón punta negra (*Carcharhinus limbatus*); también se han observado los tiburones: mako dientuso (*Isurus oxyrinchus*), tiburón zorro pelágico (*Alopias pelagicus*), tiburón zorro ojón (*Alopias superciliosus*), pejegato trompudo (*Apristurus kampae*), pejegato panameño (*Apristurus stenseni*), tiburón puntas blancas (*Carcharhinus albimarginatus*), tiburón tolo (*Carcharhinus falciformis*), tiburón azul (*Prionace glauca*), tiburón tigre (*Galeocerdo cuvier*), tiburón punta negra (*Carcharhinus melanopterus*), tiburón toro (*Carcharhinus leucas*), y otras especies que según Compagno *et al.*, (1995) no son registradas en la región, sin embargo, se las ha observado y se encuentran en la lista como lo son: tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*), tiburón mako carite (*Isurus paucus*), tiburón zorro común (*Alopias vulpinus*) tiburón baboso, (*Carcharhinus altimus*) entre otros.

### 1.1. Especies en estudio

*Carcharhinus falciformis* es conocido como tiburón tolo o tiburón sedoso. Es un tiburón de gran tamaño, color oscuro (Fig. 1). Su tamaño máximo registrado es 330 cm; los machos miden entre 187 a 217 cm y su madurez la alcanzan a los 270-300 cm; mientras que las hembras maduran a 213-230 cm y su tamaño llega a 305 cm. El tamaño registrado al nacer es de 70 a 87 cm (Johnosn & Nelson, 1973). Estos tiburones son oceánicos y costeros, nadan cerca del borde de las plataformas continentales e insulares; se encuentran en las zonas tropicales de todos los océanos del mundo (FAO, 1984; Fig. 2). Se estima que tienen de 2 a 14 crías por camada; en el Ecuador se han registrado entre 1 y 11 crías (FAO, 1984).

Existen dos especies de tiburón zorro en aguas ecuatorianas: *Alopias superciliosus* y *Alopias pelagicus*, siendo el más común en la costa el Ecuador *Alopias superciliosus* y el más común en las islas Galápagos *Alopias pelagicus* (Polo, 2008). El tiburón zorro es un tiburón delgado (FAO, 1984; Fig. 3). Su longitud total máxima reportada es de 365 cm, se registra el inicio de la madurez alrededor de 267 cm y su tamaño al nacer puede ser de hasta 190 cm (Espinoza, *et al.*, 2004). Son tiburones oceánicos, epi-pelágicos<sup>1</sup> tropicales (Compagno *et al.*, 2005). Se los encuentra en el Océano Índico y Océano Pacífico (FAO, 1984; Fig. 4). Las hembras no tienen una temporada de reproducción definida, tienen de 4 a 15 crías por camada. Suponiendo nacimiento de 2 crías cada año una hembra puede producir alrededor de 40 jóvenes durante su vida (FAO, 1984).

---

<sup>1</sup> Epi- pelágico: dicho de animal marino que vive en zonas alejadas de la costa.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo General

El objetivo general de este estudio fue el de aportar con datos demográficos que pueden apoyar al manejo de *Alopias* spp. y *Carcharhinus falciformis* a partir de 100 tiburones de estas dos especies que fueron incautados por el Ministerio de Ambiente en el año 2011. Conocer la historia de vida de estos tiburones, es un aspecto fundamental para la correcta toma de decisiones con respecto al manejo de recursos pesqueros (Hoenig, 1990), ya que con estos datos se puede proveer información para la realización de modelos demográficos y ecosistémicos (Cortés, 1998), evaluar riesgos ecológicos (Walker, 1992; Aires-Da Silva & Gallucci, 2007) y poder determinar si las poblaciones se encuentran sobreexplotadas (Hoff & Musick, 1990).

### 2.2 Objetivos Específicos

- Determinar la edad de los tiburones *Alopias* spp. y *Carcharhinus falciformis*. Una herramienta útil en la historia de vida de las especies susceptibles a la explotación son los estudios de edad y crecimiento (Campana, 2001; Skomal, 2002) ya que a partir de esta información se puede obtener datos de maduración, mortalidad, longevidad, entre otros (Goldman, 2005).
- Identificar marcas de crecimiento con diferentes métodos. Conocer la mejor técnica para determinar la edad es importante para estudios futuros sobre edad y crecimiento (Holden *et al.*, 1975; Ehrhardt, 1981; Pike, 1991; Geraghty, 2012), a partir de estos datos es posible evaluar procesos como madurez sexual, mortalidad, longevidad, producción de stock y rendimiento por recluta (Goldman, 2005).
- Determinar la estructura de edades.
- Calcular el porcentaje de organismos maduros y juveniles.

- Estimar la diferencia de tamaños entre cada sexo.
- Determinar la relación existente entre la longitud del cuerpo y el tamaño de la vértebra.
- Calcular la abundancia y determinar la proporción de sexos para todas las especies del barco.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Área de estudio**

Las islas Galápagos están ubicadas en el Océano Pacífico Tropical Este, sobre la línea ecuatorial, aproximadamente a 972 Km al oeste de la costa continental ecuatoriana (INOCAR, 2011; Fig. 5).

Las islas galápagos se ven influenciadas por corrientes frías que vienen del norte (corriente de Panamá) y corrientes de agua cálida que vienen del sur (corriente de Humboldt) (Fig. 6). De la interacción de estas corrientes depende la redistribución de los nutrientes. El mar que rodea el archipiélago presenta una alta productividad marina con mucha biodiversidad, haciendo de éste un hábitat propicio para la presencia de tiburones (Jara, 2012).

Los tiburones en las islas Galápagos se ven amenazados por la pesca ilegal, en particular la pesca de palangre. Este arte de pesca es usada frecuentemente en la frontera de la Reserva Marina de los Galápagos con líneas de pesca de hasta 100 millas de largo. Miles de anzuelos con cebo pueden colgar desde un sólo palangre, atrayendo a los tiburones y peces grandes de caza (Martínez, 2007).

El manejo de la pesquería de Ecuador es deficiente, y tiene graves falencias respecto al apoyo hacia la investigación por parte del Estado. El desinterés sobre la implementación

de medidas de ordenamiento pesquero y sobre todo el poco control que existe para hacer respetar las regulaciones emitidas para la conservación de los recursos hidrobiológicos, ha causado que en algunas ocasiones, sean infructuosas las recomendaciones realizadas por el Instituto Nacional de Pesca y el esfuerzo desplegado por los técnicos de esta institución no sea aprovechado (Martínez, 2007).

### **3.2. Métodos de campo**

Las muestras fueron obtenidas del barco pesquero Fer Mary I, incautado por realizar actividades de pesca ilegal al sureste de la isla Genovesa en el mes de junio del 2011. Se incautaron un total de 379 tiburones de 7 diferentes especies (Carr *et al.*, 2013). La mayoría de los tiburones se encontraron enteros, lo que facilitó la identificación a nivel de especie. Para determinar la relación que existe entre el tamaño de los tiburones y su edad, se tomaron las siguientes medidas mediante la ayuda de una cinta métrica: Longitud Estándar (LE= medida desde la punta del hocico hasta la furca caudal), Longitud Precaudal (LP= longitud tomada desde la punta del hocico hasta la muesca precaudal), Longitud de la Cabeza (LC= longitud tomada desde el hocico hasta la aleta dorsal) y Longitud Dorsal (LD= medida tomada desde la primera aleta dorsal hasta la furca caudal) (Fig. 7).

Se determinó la especie y el sexo tomando en cuenta la presencia (machos) o ausencia (hembras) de mixopterigios. Con un cuchillo se extrajeron las vértebras cervicales (Officer, 1996; Fig. 7).

Para este estudio se utilizaron un total de 300 vértebras pertenecientes a 100 tiburones (3 vértebras cervicales por cada tiburón); 204 de éstas (68 individuos) pertenecían al tiburón zorro (*Alopias* spp.) y 96 vértebras (32 individuos) al tiburón tollo (*Carcharhinus falciformis*). Las muestras fueron etiquetadas y guardadas en fundas



plásticas conservadas en congelación a 0° C. hasta ser procesadas en el laboratorio de la Universidad San Francisco de Quito.

Se realizaron análisis genéticos de los 2 tipos de tiburones para confirmar la identidad de las especies. Hidalgo (2014) revalidó la identidad de todos los individuos de *Carcharhinus falciformis*. Para el género *Alopias*, sólo 32 de 69 individuos fueron analizados genéticamente siendo identificados como *Alopias pelagicus*, anteriormente Carr *et al.* (2013) identificó a todos los individuos de *Alopias* en forma visual identificándolos como *Alopias superciliosus*. Dada la ambigüedad de la identificación con diferentes metodologías, en este estudio solo se reporta el género *Alopias* spp., ya que es imposible saber exactamente a cuál especie pertenecieron las muestras de las vértebras.

. Se encontró la abundancia de especies en el barco para conocer el porcentaje de cada especie capturada en relación a toda la pesca; al poseer datos de sexo para todas las especies capturadas el objetivo de proporción de sexos, fue realizado con todas las especies del barco.

### **3.3. Métodos de laboratorio**

Las muestras se descongelaron y limpiaron. Posteriormente con el empleo de pinzas, bisturí y cuchillo se removió el arco neural, las apófisis y el resto de tejido conjuntivo que rodeaba la vértebra (Fig. 8). Las muestras se mantuvieron por 24 horas en alcohol etílico al 70%, luego se lavaron en hipoclorito de sodio al 5% para remover el tejido restante. El tiempo de lavado dependió del tamaño de las vértebras y varió entre 10 minutos y 1 hora (Goldman, 2005). El radio y el diámetro de cada vértebra fueron medidos con un calibrador (Fig. 9).

### 3.4. Determinación de edad

Para este estudio se utilizaron cuatro técnicas:

#### **Método de rayos X (Cailliet, 1983):**

Para este método se utilizaron dos vértebras de cada tiburón. Una de las vértebras fue cortada sagitalmente con un motor de odontología Foredom K. 1070 conservando el centro y el punto de origen de las vértebras. Posteriormente se realizó un corte central obteniendo una lámina de 5 mm (Fig. 10). Se tuvo coherencia en cuanto a la posición de la vértebra (marcas de apófisis) durante el corte con el fin de reducir el error en la medición de anillos (Officer, 1996). Finalmente se pulió la vértebra con una lija número 1000 para tener una superficie plana y evitar confusiones con la lectura.

Se tomaron dos radiografías con un equipo de rayos X frontales marca Siemens modelo R 825 de 50 KB serie. En la primera se usó la lámina obtenida del corte y en la segunda se tomó la radiografía de una vértebra entera posicionada transversalmente (Fig. 11). El cono fue ubicado a 15 cm de distancia de las vértebras grandes y a 10 cm de las vértebras pequeñas (Fig. 12). Esta distancia fue considerada con el fin de captar la imagen completa para la facilidad de la lectura.

Para revelar las radiografías se removió la película dentro de un cuarto de revelado, las radiografías se depositaron dentro de una bandeja plástica con 250 ml de líquido de revelado (Ultraclean Chemblend®), a continuación se los insertó en otra bandeja con 250 ml de líquido de fijación (Ultraclean Chemblend®) por el mismo tiempo que en el anterior proceso. Considerando que la especie *Carcharhinus falciformis* tiene las vértebras de menor tamaño en comparación a las vértebras de *Alopias* spp., para los primeros cada etapa de revelado y fijación tomó 90 segundos, mientras que para el tiburón *Alopias* spp. fueron 120 segundos. Se debe tomar en cuenta que los líquidos de revelado y fijación

deben usarse para máximo 50 películas por día, de lo contrario los líquidos se oxidan y no darán resultados favorables.

Se escanearon las radiografías con un escáner HP Scanjet G3010 de fotografías. Para realizar el conteo digitalmente se utilizó el programa Adobe Photoshop v. 8.0.1 para amplificar las imágenes. Con el editor se contaron los anillos de crecimiento, tomando en cuenta que la primera marca es la marca de nacimiento (Stevens, 1975). A partir de esto se contaron los anillos enumerando cada anillo como si fuese un año (Fig. 13). Las vértebras fueron etiquetadas y almacenadas en recipientes con alcohol etílico al 70% para su conservación.

#### **Método de conteo normal:**

Para este método se utilizó el corte sagital obtenido en la técnica anterior. Los cortes se montaron en un porta objetos de vidrio y se cubrieron con resina acrílica suspendida en tolueno al 65% con antioxidantes (Cailliet, 1983). Observados luego bajo un estéreo-microscopio Ura technic 200 a 4x aumentos, para el conteo de anillos.

#### **Tinción con nitrato de plata (Stevens, 1975):**

Para llevar a cabo este método se utilizó la vértebra entera usada en la técnica de rayos x transversal, esta vértebra se sumergió durante 5 min en nitrato de plata al 1% con el fin de sustituir las sales de calcio de las vértebras por plata y que los anillos sean visibles (Stevens, 1975). Más tarde, se expusieron las vértebras a luz ultravioleta durante 3 min usando el equipo de odontología SUNLITE 1275, el cual se utilizó para secar las vértebras y permitió la adhesión del nitrato de plata en las marcas de crecimiento (Fig.14). Posteriormente las mismas se enjuagaron en agua destilada durante 2 min para fijar la tinción y se eliminó el exceso de plata. Finalmente, se observó bajo un estero-microscopio

las marcas de crecimiento las cuales se tornaron oscuras después de la exposición a luz ultravioleta (Ribot, 2003; Fig.15).

### **Método de placas histopatológicas (Ridewood, 1921):**

Se utilizó una nueva vertebra para este método, para realizar los cortes y la tinción con hematoxilina se siguieron los siguientes pasos:

- **Descalcificación:** se mantuvieron las vértebras en líquido descalcificante durante 7 días, con el fin de suavizar el tejido y poder realizar un corte sagital de 0.5 mm de grosor (Fig.16).
- **Inclusión en parafina:** la muestra fue enjuagada por 3 baños de parafina líquida cada 2 horas, luego se sumergió la muestra en bloques perforados que contenían parafina líquida con temperatura de 55° C.
- **Infiltración:** Se colocó parafina líquida encima del bloque hasta llenarlo, se dejó reposar por 2 horas hasta que se solidifique (Fig.17), luego se desmontó el material y fue llevado al micrótopo Slee cut 4062 para realizar los cortes con cuchillas convencionales de 110 mm.
- **Corte:** Antes de cortar el bloque se puso las cuchillas a 90° paralela a la vértebra, se removió el exceso de parafina de los lados y se colocó en el porta bloque. El corte fue recogido con el porta objetos y se lo colocó en gradillas para colocarlo en la estufa a 37° C. por 24 horas.
- **Desparafinaje:** Para tinturar se introdujo el bloque en una incubadora a 60° C. por 3 min, seguidamente de tres baños de xilol, cada baño en un recipiente distinto.
- **Coloración:** se tinturaron los tejidos para poder contrastar y diferenciar estructuras con hematoxilina. Para esto se hicieron 3 baños de alcohol isopropílico al 95% por 5 min luego se le dió a la muestra un baño con agua corriente por 3 min, se agitó

suavemente y se sumergió la muestra en hematoxilina por 5 min. Se dio un baño rápido de agua corriente por 5 min, luego se dio a la lámina 3 baños de alcohol isopropílico al 95% y un baño rápido en solución de xilol y alcohol, finalmente se sometió a la muestra a 2 baños de xilol.

- Montaje: al porta objetos se le dio un tercer y último baño de xilol en el cual se añadió una gota de bálsamo sobre un extremo del corte y se dejó caer suavemente la laminilla del cubre-objetos, se limpió el exceso de la placa y finalmente se dejó endurecer para poder observar bajo el microscopio (Fig.18) y proceder al conteo de anillos de crecimiento.

Para este estudio se consideraron cinco métodos ya que el método de rayos X fue tomado como dos diferentes métodos al realizar dos tipos de radiografías: sagital y transversal, en la figura 11 se puede observar la posición usada para la toma de radiografías.

La media de edades resultante entre los cinco métodos será usada para realizar todo tipo de cálculos dentro del estudio.

### **Lectura de bandas**

Ridewood (1921) fue el primero en observar y describir las marcas de crecimiento depositadas en las vértebras de tiburones y rayas. De ahí en adelante se han hecho varios estudios utilizando estas marcas como patrones de crecimiento registrados en el tejido calcificado, en el cual se refleja la variación estacional del crecimiento somático (Ribot, 2003).

Las marcas de crecimiento son producto de dos tipos de marcas concéntricas:

- Las **bandas angostas** representan un crecimiento lento durante los meses fríos de invierno (Allen & Wintner, 2002), son conocidas como anillos, hialinas o bandas translúcidas, las cuales separan a las bandas anchas (Hoenig, 1979).
- Las **bandas anchas** representan un crecimiento más rápido y se generan durante el verano, conocidas también como bandas opacas (Applegat, 1967); estas bandas están compuestas por grupos de anillos (Cailliet, 1990).

Anualmente se genera una banda ancha (más calcificada) y un anillo que es menos calcificado (Brasnstetter, 1987), es decir, una banda ancha junto a una banda angosta equivalen a un año del individuo (Natanson, 1990). Esta interpretación de la estructura comienza en el foco (F) u origen de la vértebra y continúa por toda la estructura conocida como *corpus calcareum* (CC) hasta el borde de la misma (Fig.19).

En el centro de la vértebra se encuentra la marca de nacimiento (MN), que sirve como indicador para reconocer el primer anillo (Fig. 19). Ser capaz de localizar sistemáticamente la marca de nacimiento (MN) es de fundamental importancia para la correcta determinación de edad. El primer anillo de crecimiento puede ser muy pequeño y de apariencia débil en comparación a los demás anillos, este se encuentra ubicado alrededor del foco (F) (Wintner & Dudley, 2000).

Uno de los problemas más comunes en la lectura de bandas se produce debido a las desviaciones en los patrones de crecimiento observados en la vértebra, que pueden conducir a conteos inexactos (Allen & Wintner 2002). Estas desviaciones pueden resultar de bandas divididas que ocurren dentro de la intermedialia (I), incluso esta (dependiendo de la especie) puede contener una gran cantidad de "ruido de fondo" que dificulta la lectura de las bandas (Goldman , 2005).

### 3.5. Análisis Estadísticos

#### Determinación de edad

Para identificar las estructuras de la vértebra: MN, CC, I, F y el primer anillo de crecimiento se usaron los cortes sagitales realizados para la lectura de anillos de las vértebras. Se usaron los cortes de placas histopatológicas y el corte sagital para rayos X.

Para conocer la edad de los tiburones se realizaron los métodos anteriormente descritos, se usó la prueba de ANOVA de varianzas para comparar los métodos usados y saber si existe diferencia significativa entre los resultados de edades que presentaron las técnicas descritas. Se calculó el porcentaje de error promedio (IAPE) (Beamish & Fournier, 1981), el Coeficiente de Variación (CV) (Chang, 1982) y el índice de precisión (D) para evaluar la precisión del número de marcas de crecimiento (edad) leídas entre cada método:

$$APE_j(\%) = 100 \times \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j}$$

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

$$D = \frac{CV}{\sqrt{R}}$$

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

APE, CV, D otorgan una medida directa de la consistencia en el conteo de bandas (edad). Entre más pequeño es el valor resultante, existe mayor precisión en las lecturas de anillos de crecimiento.

Al conocer el mejor método de estimación de edad se utilizó este para obtener datos demográficos.

### **Estructura de edades**

Para describir la estructura de edades, se realizó histogramas de las distribuciones de frecuencias del número de marcas de crecimiento presentes en las vértebras tanto de hembras como de machos, con el fin de conocer la cantidad de organismos juveniles y adultos capturados en el barco. La composición de edades de los organismos fueron analizados mediante histogramas de frecuencia para sexos combinados. Para determinar si existían diferencias significativas del número de marcas (edad) entre sexos, se aplicó la prueba *t-student* (Sokal & Rohlf, 1981) con 95% de nivel de confianza.

En *Alopias* spp. los individuos alcanzan una madurez sexual entre los 7 y 8 años en machos y las hembras maduran entre 8 y 9 años (Liu *et. al.*, 1999) por lo que se consideran juveniles o inmaduros antes de alcanzar esta edad; en *Carcharhinus falciformis* los machos maduran entre 6 y 7 mientras las hembras alcanzan la madurez entre los 7 y 9 años (Branstetter, 1987). Se realizó un gráfico de pastel para conocer cuál grupo (juveniles o maduros) es el más representativo en cada especie.

### **Tamaño entre machos y hembras**

Para comparar el tamaño entre machos y hembras de cada especie se utilizó la prueba *t-student* para dos muestras suponiendo varianzas desiguales. Se realizó un histograma de sexos combinados para ver el tamaño en cada especie.

### **Relación entre tamaño de vértebras y cuerpo del tiburón**

Cailliet *et al.* (1983) en su estudio expone los siguientes supuestos para considerar a las vértebras buenos indicadores de edad (1) El tamaño del cuerpo y las vértebras tienen



patrones de crecimiento asociados; (2) Los patrones de bandas visibles son el resultado de densidades distintas, las cuales se deben a diferencias en la mineralización que ocurre durante distintas fases del crecimiento; y (3) La incorporación de minerales forman las bandas, por lo que no debe existir marcas de remoción o reabsorción.

Todos estos enunciados se tomaron en cuenta antes de realizar el trabajo, sin embargo, es importante evaluar si existe una relación definida, generalmente lineal, entre el crecimiento de la vértebra y el crecimiento somático para justificar su uso en la determinación de la edad (Piercy *et al.*, 2006).

Se midió el diámetro de la vértebra con un calibrador, el diámetro fue dividido para dos, para registrar el radio (r). Esta medida fue comprobada con el programa UTSHCSA Imagetool versión 3 alpha por medio del cual se midió desde el foco (F) hasta el borde de la vertebra en línea recta pasando por el corpus calcareum (CC) (vea Bonfil *et al.*, 1993), donde se pudo coincidir en el valor tomado por el programa y el valor encontrado con el calibrador.

Se realizó una prueba t para conocer la diferencia entre machos y hembras, al no encontrar diferencias significativas, se graficó la relación entre las diferentes dimensiones del cuerpo del tiburón (LC y LD) y el tamaño de la vértebra (radio). Esto se realizó en cada especie estudiada. Al no tener el tamaño total de los individuos se realizó un análisis de regresión lineal simple para tener extrapolaciones confiables.

Para conocer el grado de correlación existente entre el tamaño del cuerpo y el tamaño de las vértebras se utilizó el Coeficiente de correlación de Spearman (Rho) (Zar, 2005):

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)}$$

**En donde:**

$D$  = es la diferencia entre los correspondientes estadísticos de orden de  $x - y$ .

$N$  = es el número de parejas.

El valor de  $p$  oscila entre  $-1$  y  $+1$ , indicando asociaciones negativas o positivas respectivamente, si  $p = 0$ , significa que no existe una correlación entre los datos pero si existe dependencia.

**Abundancia de tiburones capturados en el barco**

Se dividió el número de individuos de cada especie para el número total de individuos capturados. Luego se realizó un histograma de porcentaje para cada especie.

**Proporción de sexos**

La proporción de sexos fue estimada para cada especie, asumiéndose una relación 1:1, en la que las hipótesis estadísticas indican que  $H_o$  corresponde a una proporción 1:1 y  $H_a$  corresponde a una proporción diferente de 1:1; para lo cual se dividió el número total de hembras entre el número total de machos para cada estado de madurez (juveniles y adultos), repitiendo esto en cada especie; a continuación se llevó a cabo la prueba  $X^2$  (chi), (Zar ,1996) para determinar si es aceptaba o no la hipótesis  $H_a$ .

**La formula de  $X^2$  es:**

$$X^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

**en donde:**

*fo: frecuencia absoluta observada*

*fe: frecuencia absoluta esperada*

**para calcular *fe*:**

$$fe = (Tfof - Tfoc) / n$$

**en donde:**

*Tfof: total de las frecuencias absolutas en la fila*

*Tfoc: total de las frecuencias absolutas observadas en la columna.*

*n: tamaño muestral*

#### 4. RESULTADOS

##### **Determinación de edad**

Las estructuras de la vértebra se identificaron por 2 métodos de determinación de edad (Rayos X sagital y placa histopatológica), identificando la (I) intermedalia, (CC) *corpus calcareum*, (MN) marca de nacimiento, primer anillo y (F) foco en cada una de las vértebras.

Los anillos para el tiburón *Alopias* spp. no fueron fáciles de identificar, las bandas opacas y hialinas no fueron muy claras en el momento de la lectura; con el método de rayos X (corte transversal) se pudo observar con menor dificultad estas bandas. En cuanto a *Carcharhinus falciformis*, se pudo ver que las bandas fueron muy fáciles de leer en todos los métodos utilizados, las bandas hialinas y opacas eran claras e identificables.

En *Alopias* spp. se mostraron diferencias significativas entre los métodos utilizados para calcular el número de anillos, (ANOVA de una vía:  $F_{(2,39)}=2.75134$ ,  $p < 0.028$ ). El

índice de error promedio fue de 12%, el coeficiente de variación de 2.28 y el índice de precisión ( $D= 0.277$ ), lo que indica una alta precisión en las lecturas entre métodos. El 58% de las lecturas entre métodos coincidieron, mientras que un 24.5% tuvo una diferencia de  $\pm 1$  marca de crecimiento, un 12.8% con  $\pm 2$  marcas de crecimiento, 3.8% con  $\pm 3$  marcas de crecimiento y menos del 0.9% con diferencias de  $\pm 4$  marcas de crecimiento en adelante (Fig. 20).

En cuanto a *Carcharhinus falciformis*, se encontró que no existe una diferencia significativa entre los métodos utilizados; (ANOVA de una vía:  $F_{(2,4)}=0.52480$ ,  $p < 0.71$ ). El índice de error promedio fue de 2% y el coeficiente de variación de 0.464, y el índice de precisión ( $D= 0.207$ ), lo que indica una alta precisión en las lecturas entre métodos. El 44.82% de las lecturas entre métodos coincidieron, mientras que un 24.13% se tuvo una diferencia de  $\pm 1$  marca de crecimiento, un 6.89% con  $\pm 2$  marcas de crecimiento, 10.34% con  $\pm 3$  marcas de crecimiento y 13.82% con diferencias de  $\pm 4$  marcas de crecimiento en adelante (Fig. 20). Estos resultados indican que el éxito de cada técnica es a menudo específico para cada especie y que el uso de diferentes métodos puede mejorar los resultados (Goldman, 2005).

A partir de conocer cual fue el mejor método para determinar la edad, se realizaron histogramas de talla para determinar que grupos están siendo mayormente impactados por la pesca.

### **Estructura de edades**

En general se puede observar que en *Alopias* spp. la edad en machos varió entre 6 a 19 años, estos organismos llegan a su edad reproductiva entre los 7 y 8 años, indicando que hay pocos machos inmaduros, la moda se encontró en la edad de 18 (Fig. 21); en las

hembras se encontraron grupos de edad entre 5 a 21 años, las hembras maduran entre los 8 y 9 años, la moda fue en la edad de 6 años (Fig. 21).

En *Carcharhinus falciformis* la edad en machos varió entre 5 a 19 años, alcanzando su edad reproductiva entre los 7 y 8 años con moda en 5 años, mientras que en hembras registraban edades de 7 a 15 años, esta maduran entre los 7 y 9 años, y la moda fue en hembras adultas de 10 años (Fig. 21)

En *Carcharhinus falciformis* los organismos inmaduros representaron el 37% de la captura, mientras que en adultos fue 63% de la captura (Fig. 21). La estructura de edad por sexo fueron comparadas y las diferencias fueron significativas (Prueba K-S,  $p=0.016$ ;  $p<0.05$ ).

En *Alopias* los organismo inmaduros representaron el 60% de la captura, mientras que en adultos fue el 40% de la captura (Fig. 21). La estructura de edad por sexo fueron comparadas y las diferencias fueron significativas (Prueba K-S,  $p=0.02$ ;  $p<0.05$ ).

### **Tamaño entre machos y hembras**

No existe una diferencia significativa entre machos y hembras para las longitudes de cabeza (LC) y longitudes dorsales (LD) de *Alopias* spp. (Fig. 22): *T student* ( $t=-1.03$ ;  $p=0.30$ ;  $gl=0,92$ ); el mismo resultado se puede apreciar para los tiburones *Carcharhinus falciformis* (Fig. 23): *t- student* ( $t=1.2$ ;  $p=0.24$ ;  $gl=30$ ).

### **Relación entre tamaño de vértebra y cuerpo del tiburón**

Se encontró que el radio (r) obtenido con el calibrador tiene la misma medida que el radio calculado con el programa UTSHCSA ImageTool, esto se realizó en diez muestras al

azar por cada tiburón coincidiendo en el resultado, por lo que se puede utilizar el radio calculado con el calibrador para este estudio.

Existe una relación lineal significativa entre el tamaño de la cabeza (LC) del tiburón *Carcharhinus falciformis* y el radio de la vértebra ( $r^2 = 0.78$ ) (Fig. 23), al igual que se exhibe una relación significativa ( $r^2=0.70$ ) entre la medida del dorso (LD) y el radio de la misma vértebra (Fig. 23). Esto no ocurre en *Alopias* spp. No existe una relación directa ( $r^2=0.198$ ) entre la medida de la cabeza (LC) y el radio de la vértebra (Fig. 24), esta relación tampoco es significativa ( $r^2=0.26$ ) entre la medida del dorso (LD) y el radio de la vértebra (Fig. 24).

En los resultados de la prueba de Rho para *Carcharhinus falciformis* en Longitud de cabeza (LC) se obtuvo ( $R= 0.86807$ ;  $p=0.534$ ); en Longitud de Dorso (LD) se obtuvo ( $R=0.85094$ ;  $p=0.528$ ) reportándose una relación significativa positiva en ambos casos. Para *Alopias* spp. en Longitud de cabeza (LC) se obtuvo ( $R= 0.24514$ ;  $p=0$ ); en Longitud de Dorso (LD) se obtuvo ( $R=0.20819$ ;  $p=0$ ) reportándose una relación no significativa en ambos casos, pero siendo dependiente.

### **Abundancia relativa en el barco**

La composición de especies del Fer Mary I consiste en 7 especies de las cuales el tiburón zorro (*Alopias* spp.) fue la más abundante (79.95%), seguida por el tiburón tolo (*Carcharhinus falciformis*) con 11.08% y el tiburón azul (*Prionace glauca*) con un 6.33% de individuos capturados. Las otras especies están por debajo del 1.5% incluida una especie no identificada. La abundancia de especies capturadas en el barco Fer Mary I se muestran en la Figura 25.

### Proporción de sexos

De todos los organismos capturados, 249 fueron hembras, 129 machos y un tiburón no fue sexualmente identificado (n=378). La relación encontrada fue 1M:2H.

Existió una relación de 1.5 machos por cada hembra (1.5M:1H) para *Carcharhinus falciformis* (Fig. 26) y de 1 macho por cada 2 hembras (1M:2H) para el tiburón zorro (*Alopias* spp.) (Fig. 26), para el tiburón azul (*Prionace glauca*) se registró una proporción de 1 macho por cada hembra (1M:1H) (Fig. 26). Para las demás especies no se reportaron machos.

Para *Alopias* spp. se encontró en los juveniles una proporción de sexos de 1M:9H y en adultos de 1M:3H (Fig. 26). No se encontraron diferencias significativas ( $X^2= 7.053$ ;  $p=0.79$ ) entre adultos y juveniles para machos y hembras, lo que indica que los valores no son independientes y se acepta la hipótesis  $H_a$  corresponde a una proporción diferente de 1:1.

Para *Carcharhinus falciformis* se encontró para los juveniles una proporción de sexos de 1M:9H y para adultos de 1.7M:1H (Fig. 26). No existen diferencias significativas ( $X^2= 2.55$ ;  $p=0.110058$ ) entre adultos y juveniles para machos y hembras, lo que indica que los valores no son independientes y se acepta la hipótesis  $H_a$  corresponde a una proporción diferente de 1:1.

## 5. DISCUSIÓN

Para este estudio se utilizaron muestras incautadas de la pesca ilegal del barco Fer Mary I. El barco tuvo como punto de partida el puerto de Manta y no se conoce con exactitud el recorrido ni los puntos de pesca que tuvo la embarcación antes de llegar al

lugar en el que fue detenido (Isla Genovesa), por esto se puede especular que algunas de las especies que componían el barco fueron capturas en la costa ecuatoriana mas no en las islas Galápagos.

### **Determinación de edad:**

La identificación de estructuras (CC, I, MN, F) se realizaron en vértebras usadas para 2 métodos: Rayos X sagital y placas histopatológicas, en los cuales fue necesario el corte de la vértebra para poder realizar el procedimiento de cada técnica. La correcta identificación de estas estructuras resulta importante para determinar la edad precisa de los tiburones (Wintner & Dudley, 2000).

En cuanto a las técnicas usadas para lectura de anillos, en *Carcharhinus falciformis* se puede diferenciar con claridad los cuerpos opacos de las hialinas; por lo cual no hubo dificultad en la lectura. Por el resultado de ANOVA registrado se pudo ver que todos los métodos pueden ser utilizados para este tipo de estudio ya que no hubo una diferencia significativa entre las edades reportadas para cada método.

Según los resultados de ANOVA para *Alopias* spp. se reporta una diferencia significativa entre los métodos utilizados; esta diferencia puede atribuirse a la mala visualización de anillos debido a la presencia de bandas poco visibles, bandas incompletas (que pueden ser observadas en una sola parte de la estructura) o bandas divididas. Estas bandas son causa de un difuso patrón en su formación resultado de cambios ambientales, dieta o migraciones (Campana, 2001).

Ya que los 5 métodos no concordaron en el resultado, se comparó los diferentes métodos según la facilidad para realizar la lectura de bandas. Para el tiburón *Alopias* spp. se encontró que el método de Rayos X (los 2 cortes) permitió una lectura más clara de las



bandas en comparación a los demás métodos utilizados, el mismo resultado obtuvo *Alopias*; Liu *et al.* (1999) reportó éxito en el uso del método de rayos X para la lectura de las vértebras, de igual manera Cailliet & Bedford (1983) encontraron que rayos x para *Alopias* es un método fiable. El método de placas histopatológicas tuvo un resultado matemáticamente (media de edades) similar en el conteo de anillos de vértebras, aunque las bandas no fueron muy fáciles de identificar con este método, se podría recomendar como segunda opción, para este tipo de análisis.

El método de conteo es el menos fiable, ya que se tomó un tiempo considerable para lograr contar los anillos debido a que las bandas son muy difíciles de identificar; los resultados obtenidos en esta técnica pueden ser sobrevalorados, ya que es sumamente fácil caer en error en el momento de la lectura bajo el microscopio sin aplicar una sustancia o método que permita notar una diferencia entre bandas hialinas y opacas.

Posterior al conteo de anillos, se obtuvo el valor de precisión de las lecturas. Se define precisión como la reproducibilidad que existe al realizar el conteo en la misma estructura varias veces sin importar si el valor obtenido es o no acertado (Cortés-Reyes, 2010). No existe un valor predeterminado para estudios de edad, debido a que la precisión está fuertemente influenciada por la especie, la naturaleza de la estructura, el lector y el método utilizado. Las lecturas de anillos en las vértebras para *Carcharhinus falciformis* presentaron bajos índices de reproducibilidad de acuerdo a los valores del APE (2%); CV (< 2%) y D (0.207) indicando que existe una variación baja entre las lecturas realizadas en las vértebras. En cuanto al tiburón *Alopias* spp. se presentaron los siguientes índices de reproducibilidad: APE (12%); CV (< 3%) y D (0.277). Estos valores son menores a otras estimaciones consideradas como aceptables, donde los valores del APE se registraron entre

4 y 17% (Tovar *et al.*, 2009). Estos resultados indican que los métodos utilizados tienen una variación menor, aceptables para este tipo de trabajo.

### **Estructura de edades**

En el presente estudio se leyeron hasta 21 anillos en las vértebras del tiburón *Alopias* spp., 19 en machos y 21 en hembras. Las que corresponderían a 12 grupos de edad (5 a 21 años) en machos y en hembras a 9 grupos de edad (6 a 19 años). Los grupos de edad 12 y 18 para machos, y 6, 7, 8 y 12 para hembras fueron los más representativos en ese orden de importancia.

En el tiburón *Carcharhinus falciformis* se registró un máximo de 19 anillos en las vértebras del tiburón 19 en machos y 15 en hembras. Las que corresponderían a 8 grupos de edad (5 a 19 años) en machos y en hembras a 8 grupos de edad (7 a 15 años). Los grupos de edad 5, 8, 10, y 12 para machos, y 10 y 13 para hembras fueron los más representativos en ese orden de importancia.

La mayoría de *Carcharhinus falciformis* capturados por el Fer Mary I fueron adultos (63%). Esto concuerda con los estudios de Cabrera (2003) el cual reporta que los *C. falciformis* de mayor tamaño se encuentran al sur del Ecuador distribuyéndose en regiones pelágicas ya que las aguas son mas frías, mientras que los organismos de menor tamaño, y por ende edad, se distribuyen al norte del Ecuador en aguas mas cálidas, y prefieren estar cerca de las costas. De igual manera con este resultado se puede tener una aproximación sobre la actividad reproductiva de tiburones en aguas de la RMG, ya que estos tiburones tienen segregación sexual ontogenia, es decir, que tienen su desarrollo biológico en toda el área de distribución.

Para *Alopias* spp. el porcentaje de juveniles capturados fue de 60%. Lo cual indica que la cantidad de organismos juveniles fue mayor que el porcentaje de adultos. Liu *et al.* (1999), sugiere que los tiburones juveniles y de ambos sexos (7 y 8 años en machos y 8 y 9 en hembras) se desplazan hacia fuera de la costa (zonas más profundas), con fines de alimentación (Calle, 2006) hasta alcanzar la madurez y luego se reclutan en zonas de reproducción (cerca de la costa). Este comportamiento explicaría la alta representación de organismos *Alopias* juveniles en este estudio, asumiendo que los tiburones del barco Fer Mary I fueron capturados en aguas profundas y no cerca de la costa del Ecuador ni de las islas Galápagos.

### **Tamaño entre machos y hembras**

No se encontró diferencias significativas, según las pruebas T de student aplicadas, entre los tamaños calculados para machos y hembras tanto en *Alopias* spp. como en *Carcharhinus falciformis*, esto coincide con la literatura (Branstetter, 1987; Bonfil *et al.*, 1993; Oshitani, 2003) ya que sus estudios reportan que los diferentes sexos de las especies mencionadas tienen un crecimiento similar durante su vida.

### **Relación entre tamaño de vértebra y cuerpo del tiburón**

Los resultados indican que el foco (F) se encuentra en el centro de la vértebra ya que al medir el radio (r) de la vértebra con un calibrador y con el programa UTSHCSA se encontró el mismo resultado, por lo cual se puede utilizar el método descrito en este trabajo para análisis posteriores. En diferentes estudios como Branstetter (1987), Bonfil *et al.* (1993), Oshitani *et al.* (2003), las vértebras fueron obtenidas de la región cervical, teniendo resultados satisfactorios, por lo tanto, se asume que las muestras utilizadas son útiles para este estudio.

Al trabajar con la edad y el crecimiento de tiburones algunos autores miden los radios de las vértebras a través de la (I) intermedialia (Branstetter, 1987; Natanson, 1990; Bonfil *et al.*, 1993) sin embargo, en este estudio se tomó la medida sobre el *corpus calcareum* (CC) de los cortes sagitales, ya que en esta región de la vértebra las marcas de crecimiento son más notables; según Ashley & Chiasson (1988) esta región es la que presenta un mayor grado de calcificación. Por lo que este trabajo puede ser considerado útil para estudios de edad posteriores usando el radio de la vértebra y la distancia entre anillos presentada en la Tabla 1 *Carcharhinus falciformis* y tabla 2 *Alopias* spp.

El resultado de la prueba t, indicó que no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre machos y hembras, por lo que se agruparon los sexos, se calculó y graficó la curva de relación entre tamaños del cuerpo (LC y LD) y el radio de la vértebra. En *Carcharhinus falciformis*: considerando la proporcionalidad y el alto coeficiente de determinación entre el radio de la vértebra y la longitud de cabeza (LC) y la longitud dorsal (LD) obtenidos, se asume que las vértebras cervicales representan estructuras que reflejan adecuadamente el crecimiento de los organismos con el paso del tiempo, mismo resultado presentado por Sánchez (2004). De igual manera si se trabajaba con el diámetro de la vertebra los resultados serían exitosos según los estudios de Stevens (1975) quien afirma que el incremento del tamaño del cuerpo es proporcional el incremento del diámetro de la vértebra, ya que esta crece en forma radial con el fin de depositar nuevas bandas de crecimiento. En el presente trabajo se encontró que las vértebras crecen proporcionalmente a la longitud corporal de los organismos, esto se pudo comprobar por la relación obtenida entre estas variables fue rectilínea con un coeficiente de determinación considerable ( $r^2 = 0.78$ ) para LC y ( $r^2 = 0.70$ ) para LD. De igual manera los resultados de la prueba Rho para esta especie tuvo como resultado un alto índice de correlación (LC:  $r^2 = 0.86$ ;  $p = 0.534$ ) y

(LD:  $r^2=0.85$ ;  $p=0.528$ ), sabiendo que si  $p$  es diferente de 0 y esta entre -1 y 1 existe una relación.

Habiendo comprobado anteriormente que las estructuras cumplen con los requisitos necesarios, se puede considerar a las vertebras de *Carcharhinus falciformis* como buenos indicadores de la edad. En la mayoría de los estudios sobre edad y crecimiento de tiburones se ha reportado que la relación entre el tamaño de las vértebras y la longitud corporal es rectilínea (Gruber & Stout, 1983; Cailliet *et al.*, 1985; Brastetter, 1987; Sminkey & Musick., 1995; Oshitani *et al.*, 2003). Sin embargo, los resultados para *Alopias* spp. no coincidieron con la bibliografía citada (Salas, 2007) ni con los resultados esperados, ya que no existió una relación significativa entre el tamaño del radio de la vértebra y las longitudes (LC) y (LD) las cuales tuvieron un bajo coeficiente de determinación ( $r^2=0.19$  y  $r^2=0.26$  respectivamente), obteniendo un resultado similar con la prueba Rho, en la cual para LC registró un  $r^2=0.245$  y LD un  $r^2=0.208$  con  $p=0$  en los 2 casos reportando que no existe correlación entre las variables relacionadas, pero si existe una dependencia, que registra un crecimiento individual mas no proporcional entre el tamaño de la vértebra y el tamaño del cuerpo del tiburón. Esta dependencia se registra cuando todos los puntos del diagrama de dispersión están situados en la gráfica de una función (Zar, 1999).

### **Abundancia relativa de los tiburones en el barco**

En cuanto a la composición de especies del barco, los porcentajes de captura de cada tiburón indican que las especies de *Alopias* spp. y *Carcharhinus falciformis* fueron las más representativas, indicando que son susceptibles al arte de pesca de palangre utilizado en el barco.

Se presentó problema en el momento de la identificación de especies ya que la base de datos utilizada para este trabajo y el estudio realizado por Carr, *et. al.* (2013) indican que la especie de *Alopias* es *A. superciliosus* mientras los análisis genéticos realizados por Hidalgo (2014) demuestran que los tiburones son de la especie *A. pelagicus* en la mitad de las muestras analizadas; los resultados de Hidalgo coinciden con el análisis morfológicos de Martínez (2011). Polo (2008) en su estudio menciona que *A. pelagicus* es mas común en las costas del Ecuador mientras *A. superciliosus* se encuentra con más frecuencia en las aguas de Galápagos. Por lo tanto, se puede asumir que las especies de este estudio son *A. pelagicus*, y al no conocer el recorrido del barco, posiblemente los tiburones de esta especie fueron capturados en aguas pelágicas.

### **Proporción de sexos**

La proporción de sexos de todas las especies que conformaban el barco fue de 2 hembras por macho (1M:2H).

En los tiburones *Alopias* spp. se exhibe una fuerte segregación latitudinal por edad y sexo (Romero, 2007); ya que los machos rodean zonas subtropicales y tropicales (Sur) mas frecuentemente que las hembras, las hembras son pelágicas, buscando únicamente aguas cálidas de las plataformas continentales con fines de reproducción, mientras los machos prefieren aguas cálidas (Sánchez, 2004); por lo tanto, la alta proporción de hembras (1M : 2H) que se encuentran en el área de estudio podría ser un efecto de esta segregación y la selectividad de la pesquería en esta zona, lo mismo se puede concluir para las especies de las cuales no hubo registro de hembras en la captura: tiburón Galápagos (*Carcharhinus galapagensis*), tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*), tiburón tigre (*Galeocerdo cuvier*) y mako dientuso (*Isurus oxyrinchus*).

Para *Carcharhinus falciformis* el porcentaje de machos fue mayor que de hembras, esto se debe a la segregación sexual registrada por Alejo (2007), que reporta que los machos se encuentran en aguas pelágicas, mientras las hembras prefieren estar cerca de las plataformas continentales para buscar alimento, especialmente cuando están en periodo de gestación, buscando una temperatura conveniente.

El tiburón *Prionace glauca* tiene la misma proporción de machos y hembras en el barco (1M:1H) tal vez estos datos no son representativos por el bajo número de individuos de esta especie capturados (n=24), y la falta de información acerca de los puntos de captura durante el recorrido del barco, ya que las hembras son oceánicas y los machos tienen hábitos costeros (Hernández, 2008).

La alta incidencia de organismos juveniles y hembras en las capturas de la pesquería ilegal mostrada en este estudio indica que existe alta presión de pesca sobre la población de estas especies, los organismos juveniles aun no han alcanzado la madurez sexual, lo cual implica un problema ecológico al estar extrayendo una parte de la población de tiburones que aun no se reproduce, de igual manera el gran porcentaje de hembras capturadas refleja un problema ecológico ya que las hembras tienen periodos largos de gestación y pocas crías anuales, por lo cual resulta complicada la recuperación de la población trayendo como consecuencia disminución de la población de esta especie y un colapso pesquero.

Por lo tanto para entender las consecuencias ecológicas de la pesca de tiburones y tener mayor certeza en que medida afecta ésta, es necesario futuras investigaciones sobre edad, crecimiento y reproducción para la elaboración de modelos demográficos o pesqueros que permitan a la vez medidas de manejo y planes de conservación de estas especies que rodean las costas ecuatorianas y la Islas Galápagos siendo estas zonas sensibles a la explotación.

## 6. CONCLUSIONES

- El método de rayos X fue el mejor según la facilidad de lectura para *Alopias* spp
- Para *Carcharhinus falciformis* los resultados de edad entre métodos fueron iguales, por lo que se puede utilizar cualquiera de ellos para este tipo de estudios.
- Los grupos de edad encontrados para las hembras de *Alopias* spp. fueron de 5 a 21 años con moda en 6. Para machos, los grupos de edad estuvieron entre 6 y 19 años, con la moda en 18 .
- Los grupos de edad encontrados para las hembras de *Carcharhinus falciformis* fueron de 7 a 15 años con moda en 10. Para machos, los grupos de edad estuvieron entre 5 y 19 años, con la moda en 5 .
- En *Alopias* spp. la mayoría fueron juveniles 60%.
- En *Carcharhinus falciformis* el porcentaje de adultos (63%) fue mayor que de juveniles.
- Machos y hembras tiene crecimientos similares en las dos especies.
- La relación entre el radio de la vértebra y las diferentes longitudes de *Carcharhinus falciformis* fue de tipo potencial y significativa, indicando una proporcionalidad positiva en el crecimiento entre ambas variables. Esta relación justificó el uso de las vértebras para estimar la edad.
- La relación entre el radio de la vértebra y las diferentes longitudes de *Alopias* spp. no mostró una tendencia rectilínea, registrando un coeficiente de determinación bajo, pero indicó una dependencia entre variables lo cual sugiere que las vértebras en este estudio no resultaron adecuadas para realizar estimaciones de edad y crecimiento en este tiburón.



- En el barco se encontraron 7 especies de las cuales *Alopias* spp. y *Carcharhinus falciformis* ocupaban el 91.03%. y un individuo adicional el cual no fue identificado.
- En la captura total del Fer mary I, se encontró una relación de (1M:2H) para *Alopias* spp. predominando las hembras, y en *Carcharhinus falciformis* (1.5M:1H) predominando los machos.

## 7. REFERENCIAS

- Aires-Da Silva & Gallucci VF. (2007). Demographic and risk analyses applied to management and conservation of the blue shark (*Prionace glauca*) in the North Atlantic Ocean. *Marine and Freshwater Research* 58(6): 570-580
- Alejo, C. (2007). Presencia de neonatos y juveniles del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) y del tiburón sedoso *Carcharhinus falciformis* (Müller & Henle, 1839) en la costa de Oaxaca, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 42(3): 403-413, diciembre de 2007.
- Allen, B.R. & Wintner, S.P. (2002). Age and growth of the spinner shark *Carcharhinus brevipinna* (Muller and Henle, 1839) off the KwaZulu-Natal coast. South Africa. *So. Afr. J. Mar. Sci.*, 24: 1-8
- Amorim, A. Arfeli-c & Fagundes (1998) Pelagic elasmobranchs caught by longliners off southern brazil during 1974-97 an overview marine y freshwater researh 49:621-32.
- Anderson, E. D. (1990). Fishery models as applied to elasmobranch fisheries. En: Pratt Jr., H. L., S. H. Gruber & T. Taniuchi (Eds.). p. p. 473-484. *Elasmobranch as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematic and the Status of the Fisheries*. NOAA Technical Report NMFS 90.
- Applegate, S. P. (1967). A survey of shark hard parts. En: Gilbert, P. W., R. F. Mathewson & D. P. Rall (Eds.). p. p. 37-67. *Sharks, Skates and Rays*. Johns Hopkins Press, Maryland.
- Ashley, L. M. & Chiasson R. B. (1988). *Laboratory Anatomy of the Shark*. Wm. C. Brown Publishers. 84 p. p.
- Banks, S. (2002). Ambiente físico. En: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad. Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, 484 pp.
- Beamish, R.J. & D.A. Fournier. (1981). A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 982 – 983.
- Bonfil, R. et al, (1993). Biological parameters of commercially exploited silky sharks, *Carcharhinus falciformis*, from the CampecheBank, Mexico. En: S Branstetter (ed.). *Conservation biology of elasmobranch*. NOAA Technical Report NMFS 115. Silver Spring, pp: 73-86.
- Bonfil, R. (2000). The problem of incidental catches of sharks and rays, its likely consequences and some possible solutions. *Sharks 2000*.

- Branstetter, S. (1987). Age and growth validation of newborn sharks held in laboratory aquaria, with comments on the life history of the Atlantic Sharpnose Shark, *Rhizoprionodon terraenovae*. *Copeia* (2): 291-300.
- Baum, J.K. & Worm, B. (2009). Cascading top-down effects of changing oceanic predator abundances. *J. Anim. Ecol.*, 78: 699-71.
- Cabrera, A. (2003). Hábitos alimenticios del tiburón sedoso *Carcharhinus falciformis* (Bibron 1839) en la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN, México.
- Cailliet, G.*et. al.* (1983). Techniques for enhancing vertebral bands in age estimation of California elasmobranchs. In E.D. Prince & L.M. Pulos (eds). Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes and sharks, pp. 157–165. NOAA Tech. Rep. NMFS 8.
- Cailliet, G. M & Bedford, D.W (1983). The biology of three pelagic sharks from California waters and their emerging fisheries a review. *CaCOFI. Ref.* 24,57-69.
- Cailliet, G. M. (1990). Elasmobranch age determination and verification: An updated review. En: Pratt Jr. H. L., S. H. Gruber & T. Taniuchi, (Eds.). p. p. 157-165. *Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematic, and the Status of the Fisheries*. NOAA Technical Report 90.
- Calle, M. M. (2006). Espectro Trófico De *Alopias Pelagicus Nakamura 1935* (Chondrichthyes: Alopiidae) En Santa Rosa De Salinas, Guayas, Durante Mayo - Diciembre Del 2004. Guayaquil, Ecuador.
- Campana, S. (2001) Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Canada* 59, 197-242.
- Carr. *et al.* (2013). Illegal shark fishing in the Galápagos Marine Reserve. *Marine Policy* 39 (2013) 317–321
- Casselman, J.M. (1983). Age and growth assessments of fish from their calcified structures - techniques and tools. In E.D. Prince & L.M. Pulos (eds). Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes and sharks, pp.1–17. NOAA Tech. Rep. NMFS 8
- Castro, J. Woodley, C. Brudek, R. (1999). A preliminary evaluation of the status of sharks species FAO. Fisheries Technical Paper 380, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Chang, W.Y.B. (1982). A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 1208 – 1210.
- Cavanagh, R.D. & Gibson, C. (2007) Overview of the conservation status of cartilaginous fishes (Chondrichthyan) in the Mediterranean Sea. IUCN, Gland, Switzerland and Málaga, Spain. 42p.
- Chavez, F.P & Brusca, R.C. (1991). The Galápagos Islands and their relation to oceanographic processes in the tropical Pacific, in: James, M.J. (1991). Galápagos marine

- invertebrates: taxonomy, biogeography, and evolution in Darwin's islands. *Topics in Geobiology*, 8: pp. 9-33.
- Compagno, L. J. V. (1990). Shark exploitation and conservation. En: Pratt Jr., H. L., S. H. Gruber & T. Taniuchi (Eds.). p.391-415. *Elasmobranch as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematics and the Status of the Fisheries*. NOAA Technical Report NMFS 90.
- Compagno LJV, Dando M & Fowler S. (2005). *A field guide to the Sharks of the World*. Save Our Seas Foundation. Harper Collins Publishers Ltd. 368 pp.
- Cortés E. (1998). Demographic analysis as an aid in shark stock assessment and management. *Fisheries Research* 39(2): 199-209.
- Cortés-Reyes, E. Rubio-Romero, J. Gaitán-Duarte, H. (2010). Métodos estadísticos de evaluación de la concordancia y la reproducibilidad de pruebas diagnósticas. Statistical methods for evaluating diagnostic test agreement and reproducibility. *Revista Colombiana O y G*. Vol. 61 No. 3. 247-255.
- Ehrhardt, N. M. (1981). Curso sobre métodos de evaluación de recursos y dinámica de poblaciones. Tercera parte: Parámetros poblacionales. FAO–CICIMAR. 134 p. p.
- Espinoza, H. *et al.* (2004). *Catálogo sistemático de tiburones*. UNAM. México.
- FAO. (1984). *FAO SPECIES CATALOGUE*, Vol.4. Sharks of the world.
- FAO. (2006). *Capture Production, 1950-2004 / Fisheries commodities production and trade 1976-2004*.
- Ferretti, F.; Myers, R.A.; Serena, F. and Lotze, H.K. (2008). Loss of large predatory sharks from the Mediterranean Sea. *Conservation Biology*. doi: 10.1111/j.1523-1739.2008.00938.x.
- Geraghty, P. *et al.* (2012). *Micro-computed tomography: an alternative method for shark ageing*. *Journal of fish biology* 80. 1292-1299. the university of Sidney Australia.
- Goldman, J. (2005). *Age and growth of elasmobranch fishes*. Cap.6. Department of biology, Jackson State University.
- Gruber S.H. & R.G. Stout. (1983). Biological materials for the study of age and growth in a tropical marine elasmobranch, the lemon shark, *Negaprion brevirostris* (Poez). In: Prince E.D. and L.M. Pulos (eds). *Proceedings of the International workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 8: 193-205
- Gruber S. H. & Compagno L. J. V. (1981). Taxonomic status and biology of the big eye thresher, *Alopias superciliosus* (Lowe, 1839). *Fishery Bulletin, National Marine Fisheries Service* 79, 617–640.
- Haskell, W. (1949). An investigation of the possibility of determining the age of the sharks through annuli as show in cross-section of vertebrae. *Ann. rep. Mar* 212-217.

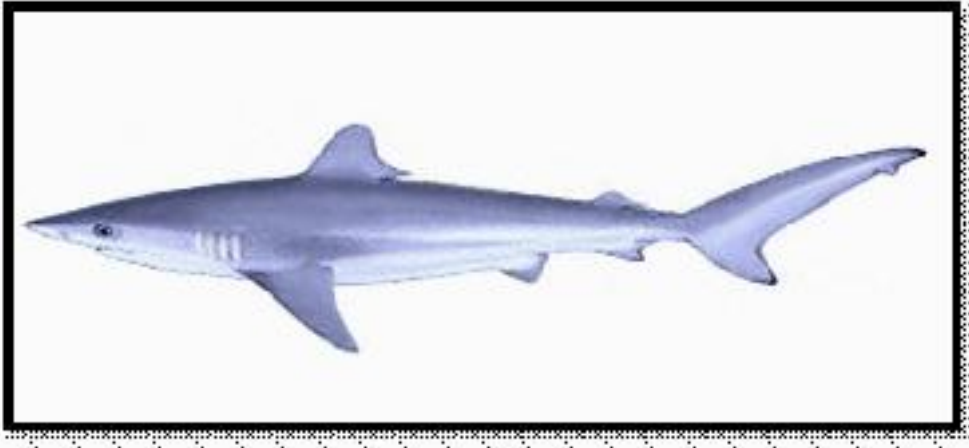
- Heupel MR & Simpfendorfer CA. (2010). Science or slaughter: need for lethal sampling of sharks. *Conservation Biology* 24(5): 1212-1218.
- Hernández, S. (2008). Espectro trófico del tiburón azul *Prionace glauca* (LINNAEUS, 1758) en la costa occidental de baja California sur, México. IPN-CENTRO inter-disciplinario de ciencias marinas.
- Hidalgo, C. (2014) Protocolo de Identificación Molecular de Especies de Tiburón Analizando Muestras de Galápagos y Puerto López. USFQ. Quito, Ecuador.
- Hoenig, J. M. (1979). The vertebral centra of sharks and their age determination. Master thesis, U. Rhode Island.
- Hoenig, J. M. & S. H. Gruber. (1990). Life-history patterns in the elasmobranch: implications for fisheries management. En: Pratt Jr., H. L., S. H. Gruber & T. Taniuchi (Eds.). p. 1-16. *Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematics, and the Status of the Fisheries*. U. S. Dep. Commer. NOAA Tech. Rep. NMSF 90.
- Hoff, T & Musick, J. (1990). Westernnorth atlantic shark-fishery management problems and informational requirements. *Elasmobranch as living resources: advances in the biology, ecology, systematics and the status of the fisheries*. NOAA 90: 455-472.
- Holden, M. J. & D. F. S. Raitt. (1975). Manual de Ciencia Pesquera, Parte 2: Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Documento técnico de la FAO. Roma. 211 p.
- Holden, M. J. (1977). Elasmobranchs. En: *Fish populations dynamics*. Gulland, J. A. (Ed). p. 187-215. J. Wiley & Sons, New York.
- INOCAR. (2011). Galápagos: Ubicación geográfica y aspectos generales. Disponible en: [http://www.inocar.mil.ec/docs/derrotero/derrotero\\_cap\\_VI.pdf](http://www.inocar.mil.ec/docs/derrotero/derrotero_cap_VI.pdf)
- Jara, V. (2012). Caracterización de la temperatura superficial del mar en los sitios de visita turística de la reserva marina de Galápagos. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. 17 (1).
- Johnosn, R.H & D.R. Nelson. (1973). Agonistic Display in the Grey Reef Shark, *Carcharhinus* and its relationship to attacks on man. *Copeia* (1) 76-84.
- Jones, B.C. & Green, G.H. (1977). Age determination of an elasmobranch (*Squalus acanthias*) by x-ray spectrometry. *J. Fish. Res. Board Can.*, 34: 44-48.
- Liu, K., Chen, C., Liao, T. and Joung, S. (1999) Age, growth, and reproduction of the pelagic thresher shark *Alopias pelagicus* in the northwestern Pacific. *Copeia* 1999(1), 68-74.
- Lucero, M. (2004) La subcorriente ecuatorial: características oceanográficas alrededor de las islas Galápagos. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. 12 (1).
- Martínez. et al. (2011). PAT-EC STUDIO DE CASO: ASPECTOS BIOLÓGICOS PESQUEROS DEL TIBURÓN MICO O TOLLO *Carcharhinus falciformis* (Müller y Henle, 1839) EN EL ECUADOR. Subsecretaria de Recursos Pesqueros (SRP), Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP)

- MICIP: Ministerio de Comercio Exterior, Industrialización, Pesca y Competitividad (2006). Plan de acción nacional para conservación y manejo de Tiburones de Ecuador. 44 pp.
- Natanson, L. (1990). Vertebral growth zone deposition in pacific angel sharks. *Copeia* :1133-1145.
- Officer, R. (1996). Sources of variation in counts of growth increments in vertebrae from gummy shark *Mustelus antarcticus*, and school shark, *Galeorhinus galeus*: implications for age determination. Department of Zoology, University of Melbourne, Victoria 3052. Australia *Can J Fish Aquat Sci.* 53:1765-1777.
- Oshitani, S. (2003) Age and growth of the silky shark *Carcharhinus falciformis* from the Pacific Ocean. *Fisheries Science* 69(3):456-464
- Piercy, A N., T. S. Ford, Levy, L. M. & F. F. Snelson. (2006). Analysis of variability in vertebral morphology and growth ring counts in two Carcharhinid sharks. *Environ Biol of Fish.* 77:401-406.
- Pike III, C. (1991). Uncovering the ages of sharks and its importance in fisheries management. En: Gruber, S. H. (Ed.). p. 109 – 111. *Discovering Sharks*. American Littoral Society. 121 p.
- Polo, C. (2008). ECOLOGÍA TRÓFICA DE LOS TIBURONES ZORRO *Alopias pelagicus* Nakamura, 1935 y *Alopias superciliosus* (Lowe, 1839) EN EL PACÍFICO ECUATORIANO. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
- Ribot, M. (2003). Edad y crecimiento del Tiburon Mako (*Isurus oxyrinchus*), capturado en la costa occidental de baja california sur, México. IPN-CENTRO inter-disciplinario de ciencias marinas.
- Ridewood, W. (1921). On the calcification of the vertebral centra in the sharks and rays. *Cal. Fish game. Fish bull* pag:75-88.
- Romero, A. (2007). Reproducción del tiburón zorro *Alopias pelagicus* (Nakamura 1935) en el Pacífico Ecuatoriano. IPN-CENTRO inter-disciplinario de ciencias marinas.
- Sánchez, J. (2004). Edad y crecimiento del tiburón piloto (*Carcharhinus falciformis* (BIBRON, 1839) en la costa occidental de baja california sur, Mexico. México. IPN-centro interdisciplinario de ciencias marinas.
- Schleussel, V. Barker, M. (2005). Managing global shark fisheries: suggestions for prioritizing management strategies. *Aquatic conservation: Marine and freshwater ecosystems* 15:325-347.
- Sokal R.R. & Rohlf F.J. (1995). *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 3rd ed. W.H. Freeman, New York, 887 p.
- Skomal, G. (2002). Age and growth of the blue shark, *Prionace glauca*, in the north atlantic ocean. *ICCAT*, 54(4)1212-1230.
- Shahid, N. *et al.* (1999) Biodiversity and Ecosystem Functioning: Maintaining Natural Life Support Processes *Sociedad norteamericana de ecología*. N°4 otoño.

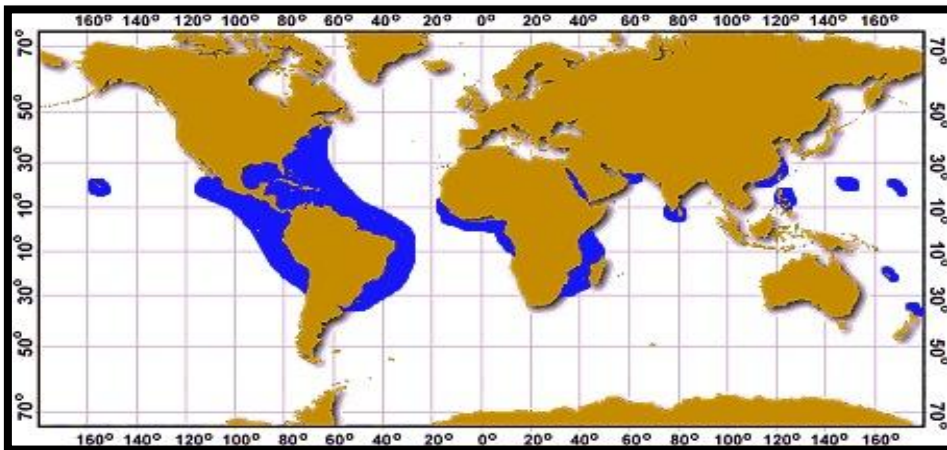
- Silva, C. (2007). Hábitos alimentarios del tiburón zorro *Alopias superciliosus* (Lowe, 1839), en el Pacífico ecuatoriano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 42(1): 59-69.
- Sminkey, T.R. and J.A. Musick. 1995. Age and growth of the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*, before and after population depletion. *Copeia* (4): 871-883
- Stevens, J. (1975). Vertebral rings as a means of age determination in the blue shark (*Prionace glauca* L.)
- Stevens JD, R Bonfil, NK Dulvy & PA Wlaker. (2000). The effects of fishing on sharks, rays and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. *ICES Journal of Marine Science* 57:476-494.
- Tovar-Ávila, J. (2000). Edad y crecimiento del tiburón puntas negras *Carcharhinus limbatus* (Valenciennes 1839) en el Golfo de México. Tesis de Maestría. UNAM. 67 p. p.
- UICN (2009) Un tercio de los tiburones oceánicos están amenazados de extinción. International news release. Disponible en la web: <http://www.flmnh.ufl.edu/fish/organizations/ssg/ssgfinstatementfinal2june.pdf>
- Walker T I. (1992). Fishery simulation model for sharks applied to the Gummy Shark, *Mustelus antarcticus* Günther, from Southern Australian waters. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 43(1): 195-212.
- Whaterley (1987). The biology of the fish growth. Academic Press .USA440 p.
- Wintner, S.B. & Dudley, S.F.J. (2000). Age and growth estimates for the tiger shark, *Galeocerdo cuvier*, from the east coast of South Africa. *Mar. Freshwater Res.*, 51: 43–53
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall.
- Zar, J.H. (2005) *Encyclopedia of Biostatistics: 8-Volume Set, 2nd Edition*.
- Zarate, P. (2002). Tiburones en: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad. Fundación Charles Darwin/Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador.

## 8. ANEXOS:

### a. FIGURAS

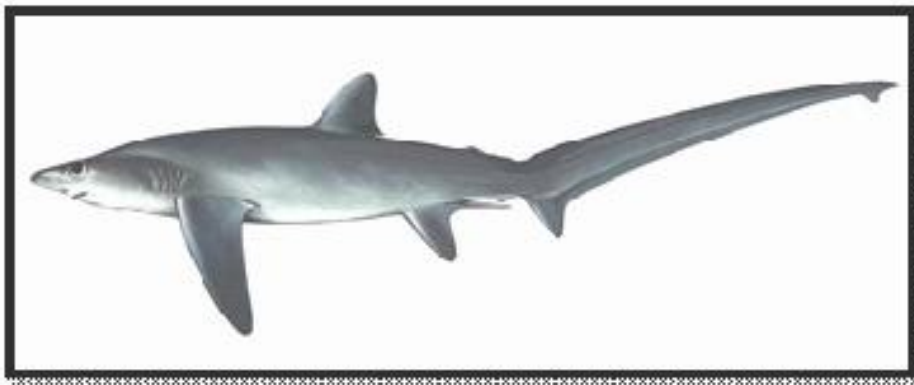


**Figura 1.** Tiburón tollo *Carcharhinus falciformis*. Extraída de: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

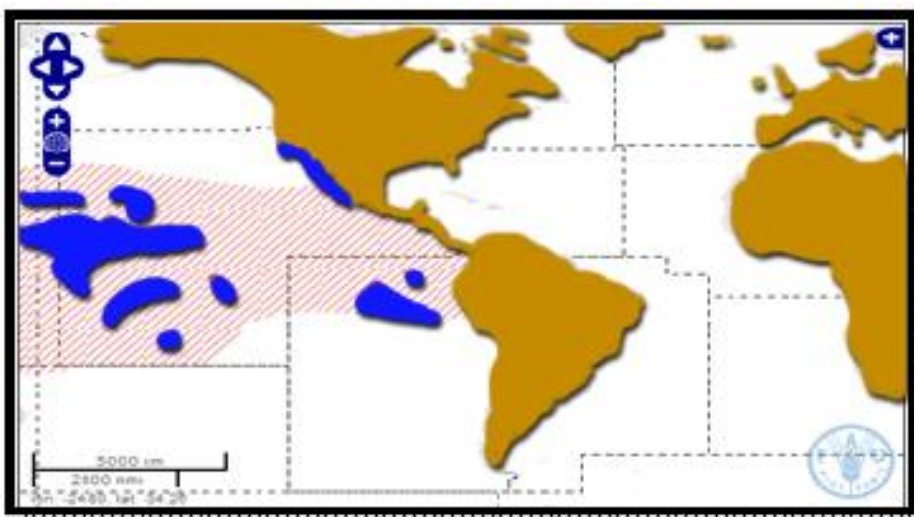


**Figura 2.** Distribución del tiburón tollo *Carcharhinus falciformis*. Extraída de: Food and Agriculture Organization of the United Nations.





**Figura 3.** Tiburón zorro *Alopias* spp. Extraída de: Food and Agriculture Organization of the United Nations.



**Figura 4.** Distribución del tiburón zorro *Alopias* spp. Extraída de: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

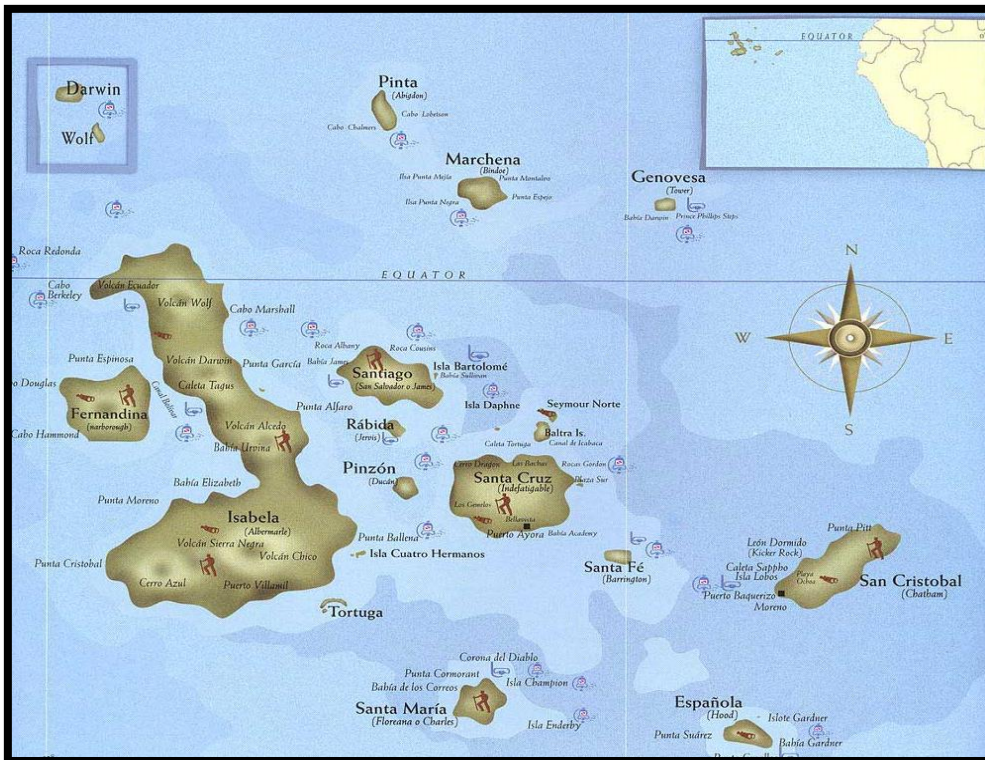
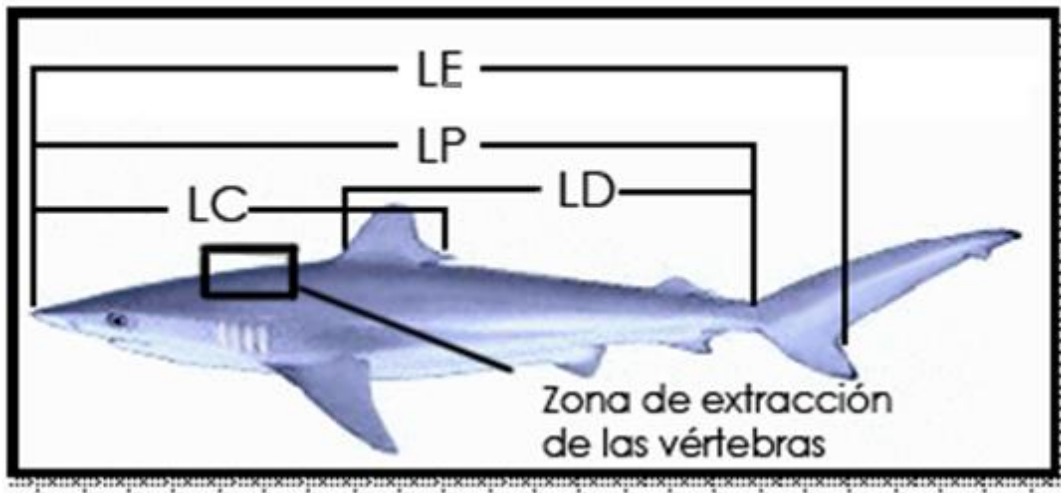


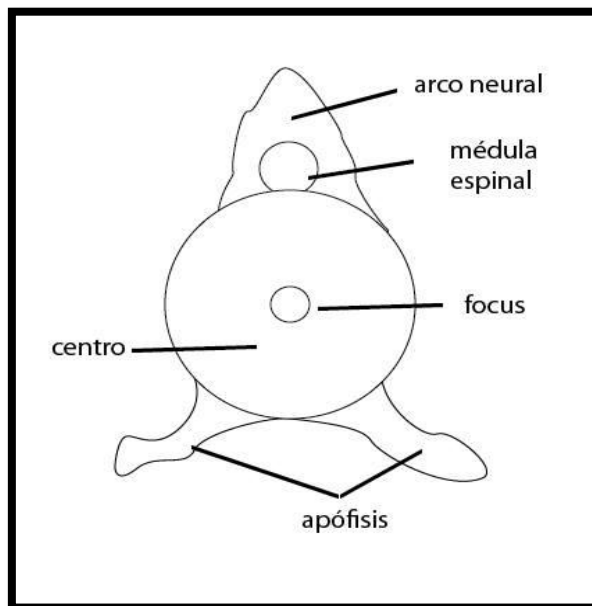
Figura 5. Ubicación de Islas Galápagos-Ecuador. Imagen adaptada de: www.codeso.com



Figura 6. Corrientes y contracorrientes que circulan en Galápagos. Extraída de: FAO



**Figura 7.** Morfometría y zona de extracción de las vértebras. LE (Longitud Estándar). LP (Longitud Precaudal). LC (Longitud de Cabeza). LD (Longitud Dorsal).



**Figura 8.** Partes de la vértebra de tiburón.



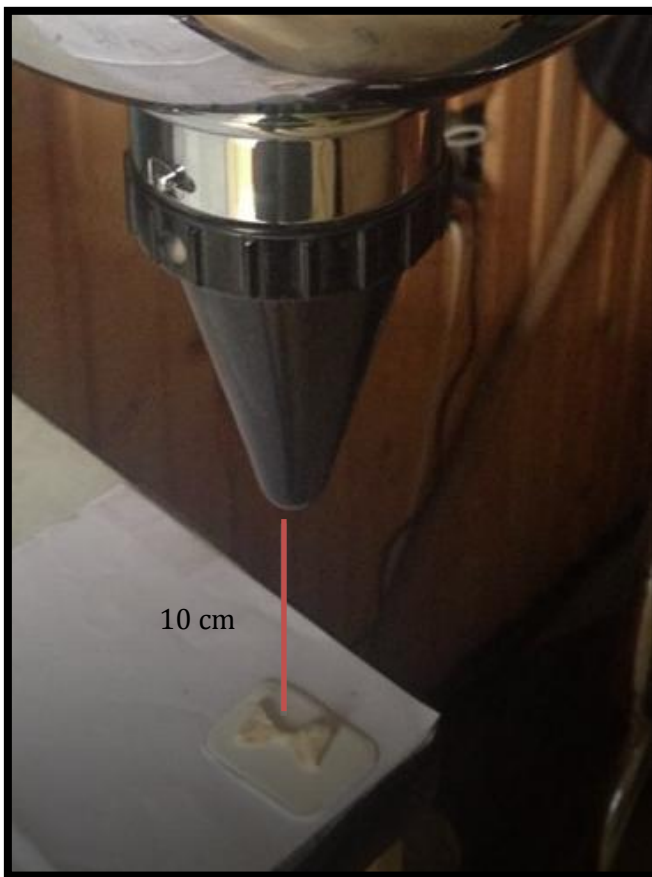
**Figura 9.** Calibrador en centímetros usado para medir  $D$  (diámetro) y  $r$  (radio) de la vértebra.



**Figura 10.** Corte de la vértebra de 5 mm.

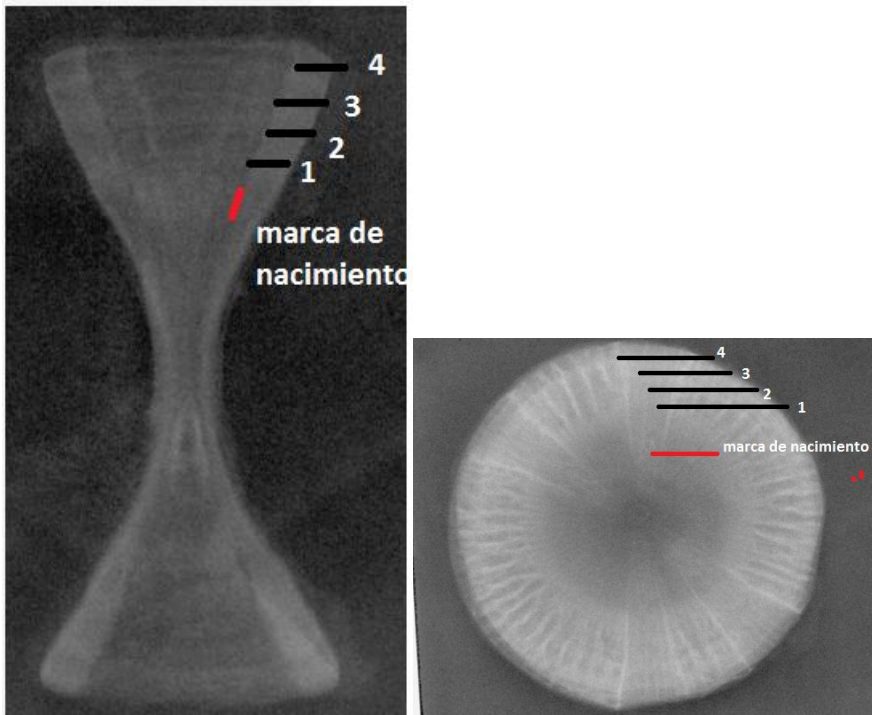


**Figura 11.** Cortes sagitales y vértebras colocadas transversalmente sobre películas radiográficas.



**Figura 12.** Distancia del cono del equipo radiológico hasta la vértebra.





**Figura 13.** Determinación de edad mediante conteo de anillos en Rayos X.



**Figura 14.** Exposición de las vértebras frente a luz ultravioleta.



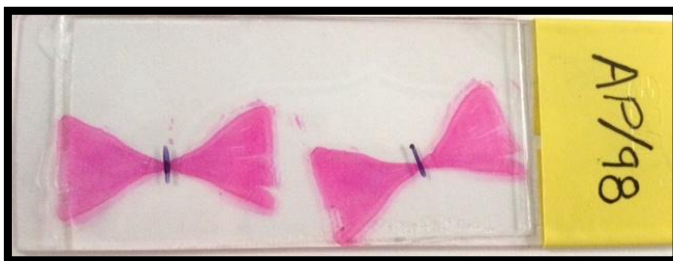
**Figura 15.** Determinación de edad por tinción con Nitrato de plata al 1%.



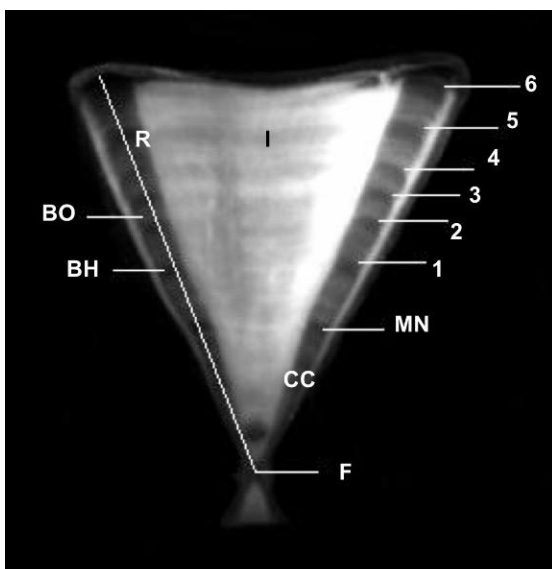
**Figura 16.** Corte de lámina de 0.5 mm de grosor.



**Figura 17.** Bloque de parafina.

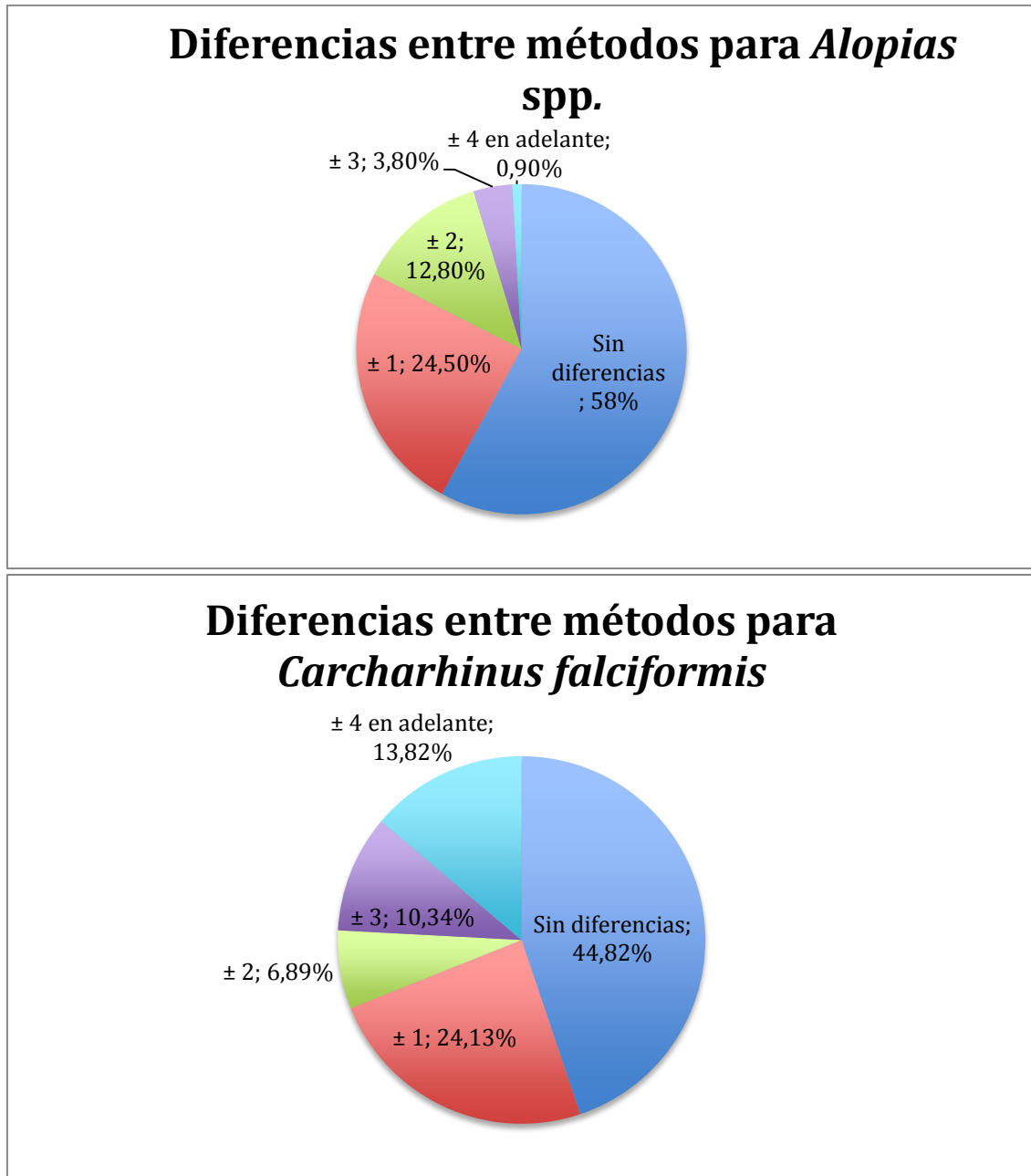


**Figura 18.** Placa histopatológica.

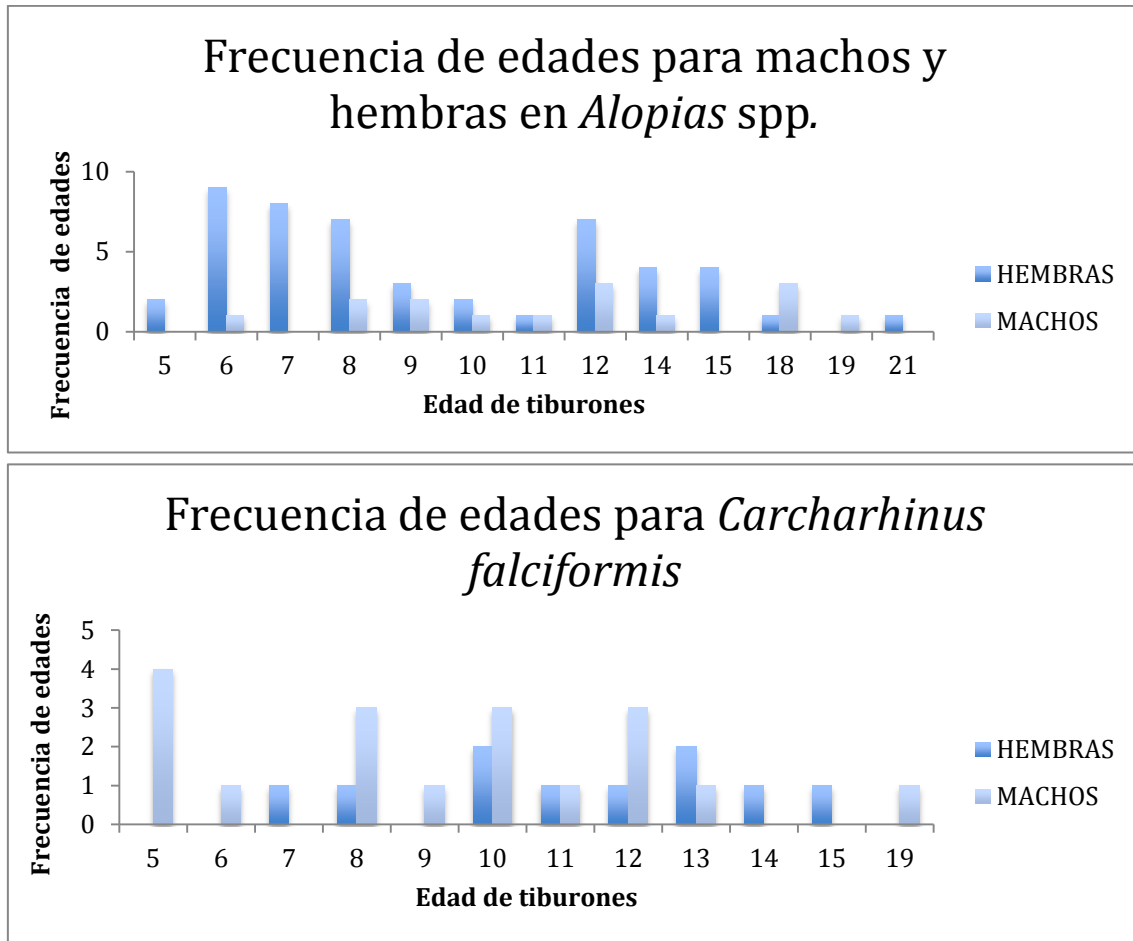


**Figura 19.** Vértebra en corte sagital con sus estructuras; F(foco), CC(corpus calcareum), MN (marca de nacimiento), BH(banda hialina) BO (banda opaca) R (radio).

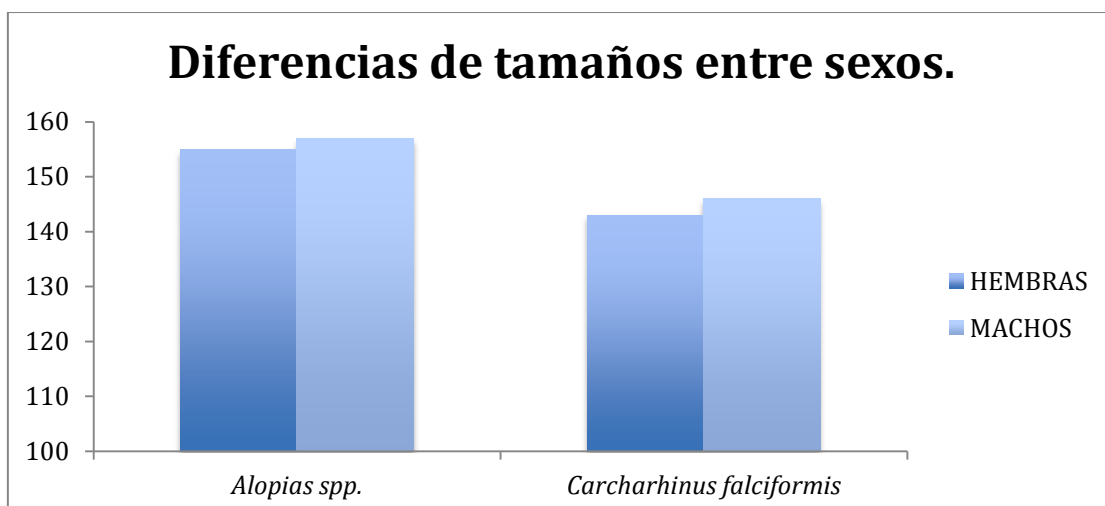




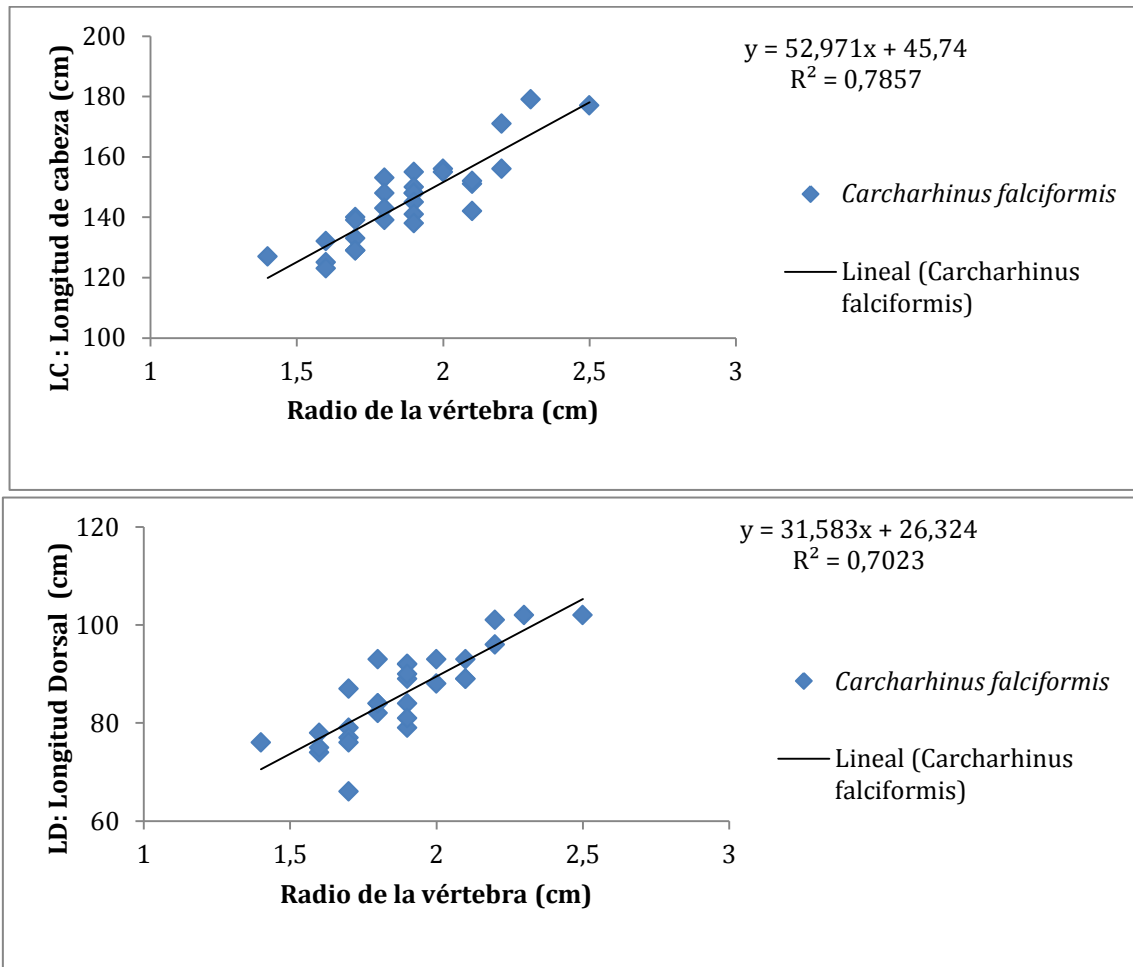
**Figura 20.** Porcentaje en diferencias de métodos de determinación de edad para tiburón *Alopias* spp. y *Carcharhinus falciformis*.



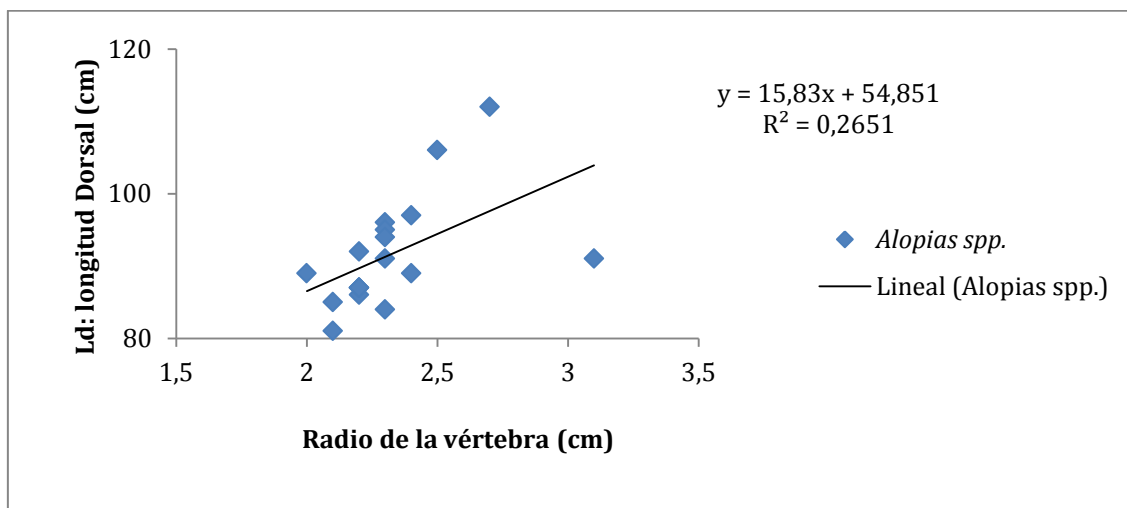
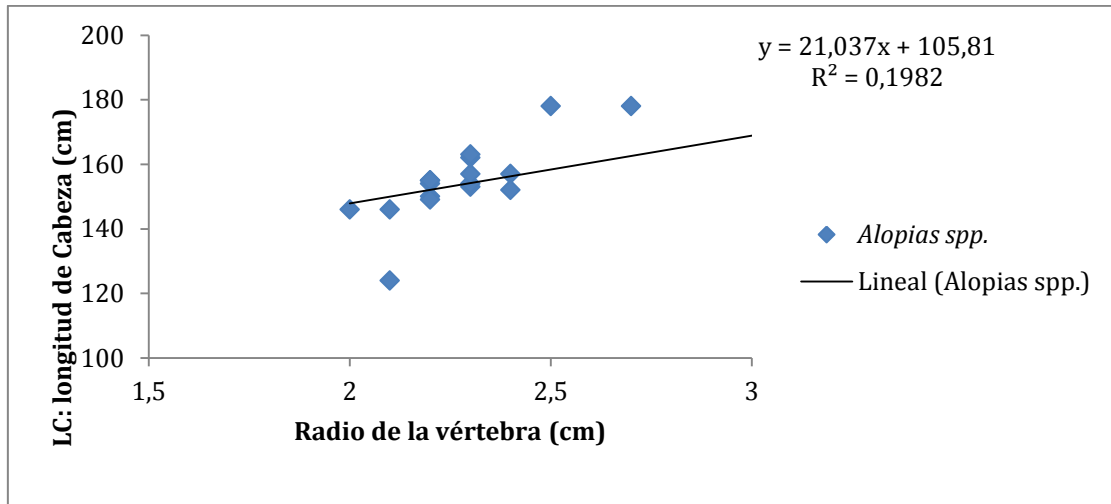
**Figura 21.** Frecuencia de edades para machos y hembras del tiburón *Alopias* spp. Y *Carcharhinus falciformis*



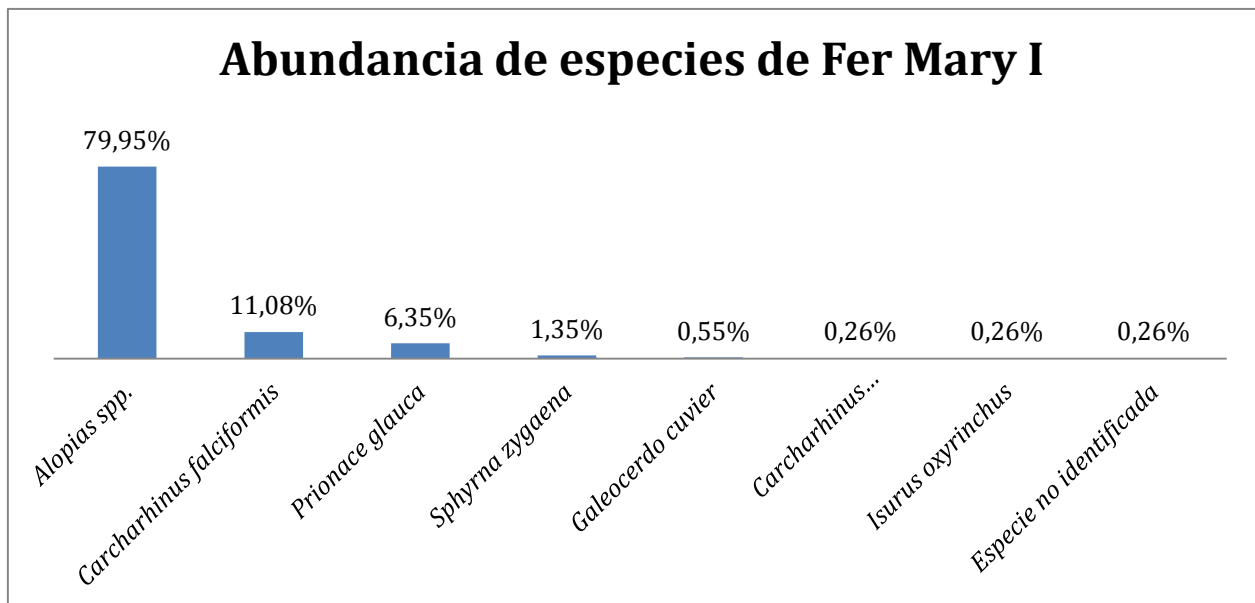
**Figura 22.** Diferencias de tamaños entre sexos para cada especie.



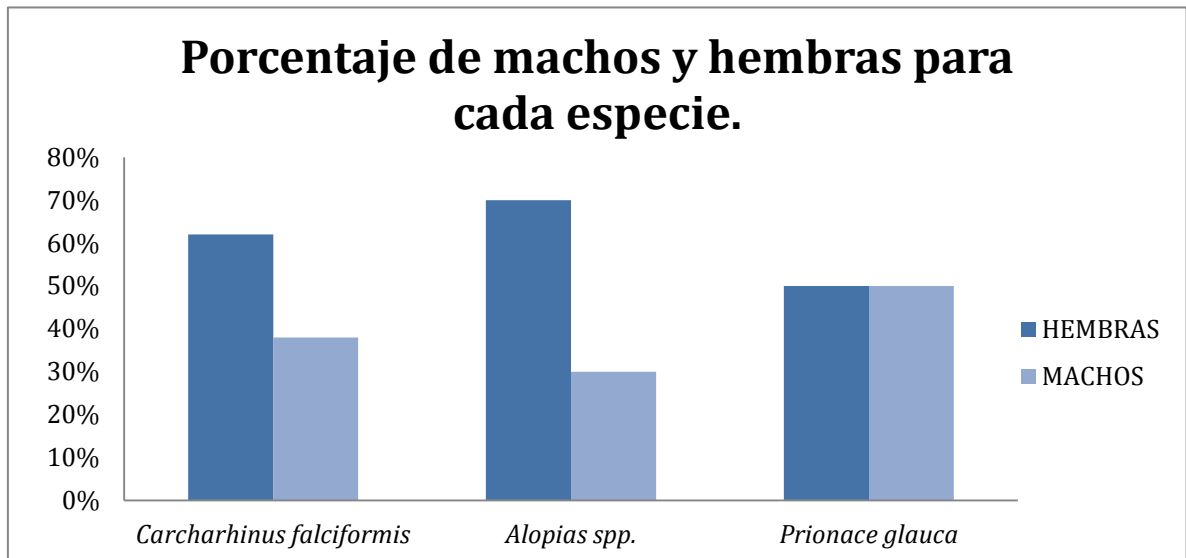
**Figura 23.** Relación entre LC y radio de la vértebra (arriba) y LD y radio de la vértebra (abajo) para *Carcharhinus falciformis*.



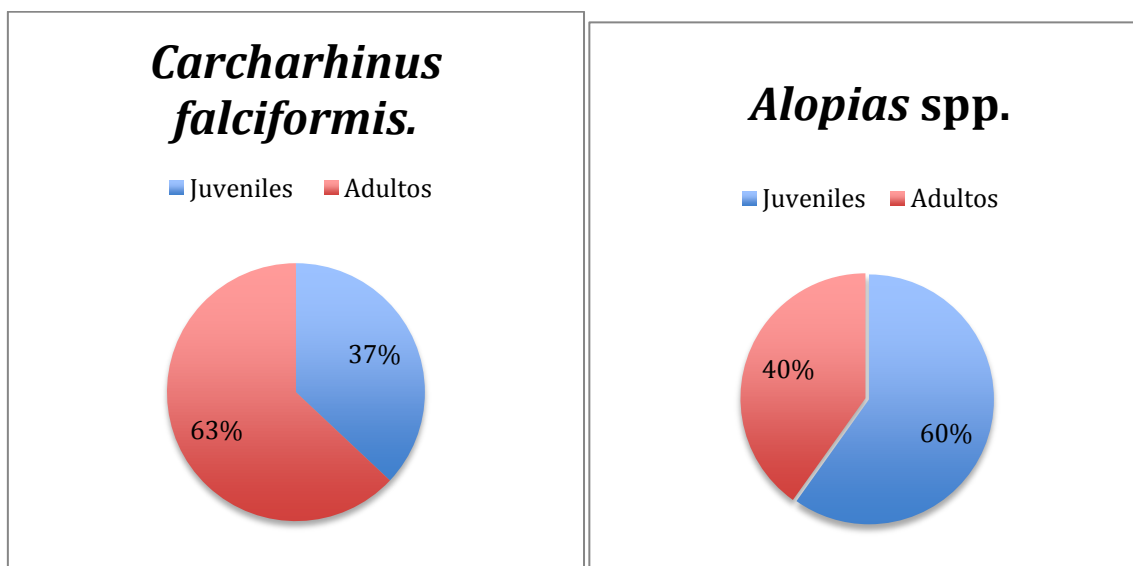
**Figura 24.** Relación entre LC y radio de la vértebra (arriba) y LD y radio de la vértebra (abajo) para *Alopias spp.*



**Figura 25.** Porcentaje de especies en relación al número total de individuos en el barco.



**Figura 26.** Porcentaje de machos y hembras de *Carcharhinus falciformis*, *Alopias spp.* y *Prionace glauca*. capturados en el barco Fer Mary I.



**Figura 27.** Porcentaje de adultos y juveniles para *Alopias spp.* y *Carcharhinus falciformis*.



**b. TABLAS**

**Tabla 1. Distancia entre anillos de las vértebras de *Carcharhinus falciformis*.**

La primera edad (0-1Años) fue medida desde la marca de nacimiento (MN) hasta el primer anillo.

Distancia entre anillos para <i>Carcharhinus falciformis</i>																					
ID	EDAD	MODA	18-19 años	17-18 años	16-17 años	15-16 años	14-15 años	13-14 años	12-13 años	11-12 años	10-11 años	9-10 años	8-9 años	7-8 años	6-7 años	5-6 años	4-5 años	3-4 años	2-3 años	1-2 años	0-1 año
23	8													0,084	0,065	0,051	0,106	0,097	0,082	0,059	0,038
41	9												0,079	0,038	0,022	0,066	0,095	0,128	0,039	0,065	0,138
49	12									0,12	0,069	0,057	0,084	0,063	0,094	0,051	0,08	0,062	0,101	0,065	0,156
64	13								0,24	0,199	0,168	0,136	0,096	0,33	0,387	0,098	0,08	0,079	0,079	0,071	0,086
74	8													0,047	0,088	0,037	0,106	0,101	0,089	0,119	0,11
93	14							0,074	0,056	0,022	0,078	0,039	0,049	0,08	0,057	0,027	0,058	0,097	0,055	0,077	0,073
102	6															0,087	0,076	0,176	0,101	0,121	0,089
116	8													0,048	0,096	0,038	0,04	0,051	0,067	0,057	0,08
119	5																0,269	0,227	0,159	0,163	0,09
122	10											0,126	0,098	0,069	0,08	0,081	0,055	0,061	0,07	0,068	0,056
126	15					0,095	0,089	0,078	0,052	0,042	0,07	0,054	0,056	0,05	0,062	0,036	0,038	0,06	0,053	0,081	0,081
127	10											0,086	0,061	0,058	0,041	0,06	0,076	0,066	0,103	0,059	0,043
128	7														0,075	0,066	0,077	0,1	0,082	0,065	0,079
129	11									0,064	0,045	0,056	0,064	0,058	0,063	0,083	0,062	0,034	0,085	0,07	0,099
142	8												0,07	0,058	0,064	0,066	0,083	0,079	0,123	0,099	0,087
149	11									0,078	0,077	0,058	0,107	0,077	0,065	0,064	0,047	0,05	0,078	0,087	0,087
152	13							0,386	0,363	0,327	0,264	0,229	0,121	0,099	0,064	0,04	0,092	0,091	0,059	0,12	0,12
153	10											0,232	0,198	0,11	0,104	0,097	0,084	0,071	0,05	0,066	0,039
155	5																0,022	0,028	0,025	0,026	0,034
156	12								0,101	0,062	0,034	0,095	0,071	0,048	0,108	0,069	0,065	0,079	0,047	0,037	0,037
160	13							0,291	0,285	0,273	0,257	0,243	0,11	0,053	0,095	0,067	0,079	0,047	0,033	0,033	0,033
185	10										0,798	0,765	0,066	0,058	0,1	0,065	0,095	0,114	0,082	0,072	0,072
210	12								0,025	0,037	0,028	0,041	0,038	0,025	0,035	0,207	0,192	0,185	0,14	0,122	0,122
217	5																0,07	0,07	0,08	0,125	0,091
226	10											0,068	0,071	0,088	0,075	0,066	0,075	0,063	0,071	0,053	0,064
243	12								0,096	0,076	0,063	0,031	0,052	0,04	0,041	0,125	0,103	0,079	0,044	0,172	0,172
254	19	0,188	0,162	0,15	0,14	0,111	0,103	0,093	0,088	0,075	0,062	0,059	0,056	0,042	0,036	0,037	0,034	0,028	0,025	0,02	0,02
259	5																0,132	0,181	0,098	0,098	0,032



