



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**Escuela de Biología Aplicada**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE BIÓLOGA MARINA**

TEMA:

**EDAD Y CRECIMIENTO DEL TIBURÓN MARTILLO (*Sphyrna zygaena*) EN LAS  
COSTAS DE PUERTO LÓPEZ – ECUADOR, DURANTE EL AÑO 2013.**

AUTOR:

**Mariela Falconí**

DIRECTOR DE TESIS:

**Blogo. Rubén Vinueza, M. Sc.**

Quito, Ecuador.

2015

## **CERTIFICACIÓN**

Quito, 15 de Noviembre del 2015.

Yo, Mariela Falconí, con cédula de identidad N° 1719923771, declaro que soy el autor exclusivo de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal mía. Todos los efectos académicos y legales que se desprenden de la presente investigación serán de mi sola y exclusiva responsabilidad. Además, cedo los derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador para que sea publicado y divulgado en internet.

Mariela Falconí

Yo, Rubén Vinueza, declaro que, en lo que yo personalmente conozco, la srta. Mariela Falconí autor exclusivo de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal.

Blogo. Rubén Vinueza, M. Sc.

## **DEDICATORIA**

A mi madre, por su apoyo y amor incondicional.

A mi padre, por enseñarme a soñar y darme el impulso para cumplir mis metas.

A mis hermanos, mis compañeros de vida.

A Luis, mi gran amor.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres por todo el amor y apoyo que me han brindado durante toda mi carrera. A Luis, por toda la ayuda en el campo y el apoyo incondicional durante estos años, por la protección y el amor. A toda la familia Mera por la compañía y el apoyo cuando estuve lejos de mi casa, gracias por ser mi familia adoptiva.

A Rubén Vinuesa, por el tiempo y todas las valiosas contribuciones que me ayudaron a sacar adelante este trabajo.

A la fundación Equilibrio Azul por el apoyo logístico y financiero, a todo su staff y a los voluntarios, por su invaluable ayuda en el proceso de muestreo y digitalización de los datos. A Carolina, Ricardo, Sofía y Luis por la amistad, los conocimientos, los buenos momentos y la pasión por proteger al mar.

A Marcos Calle, David Chicaiza y Jesús Briones por brindarme sus conocimientos desinteresadamente y ser un gran aporte en el desarrollo de esta investigación.

A los pescadores artesanales por su ayuda y por todo su conocimiento empírico que me brindaron. A los comerciantes de pescado de Puerto López, en especial al Sr. Parrales, por su colaboración y por permitirme tener acceso a las muestras.

A todos los profesores de la universidad que me formaron, no solo como profesional, sino también como persona. A mis compañeros por tantos momentos compartidos.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	3
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Planteamiento del problema .....	10
1.3. Justificación .....	12
1.4. Hipótesis.....	15
□ Hipótesis de Investigación .....	15
□ Hipótesis nula.....	15
1.5. Objetivo General.....	15
1.6. Objetivos Específicos .....	15
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	16
2.1. Taxonomía .....	16
2.2. Biología.....	17
2.2.1. Descripción de la especie .....	17
2.2.2. Distribución .....	18
2.2.3. Migración.....	18
2.2.4. Alimentación .....	20
2.2.5. Reproducción .....	21
2.2.6. Edad y crecimiento .....	22
2.3. Pesquería.....	25
2.3.1. Sector pesquero en el Ecuador .....	25
2.3.2. Pesquería de <i>Sphyrna zygaena</i> .....	28
2.3.3. Conservación y manejo .....	29
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	37
3.1. Área de estudio .....	37
3.2. Fase de campo.....	39
3.3. Fase de laboratorio.....	42
3.3.1. Precisión y sesgo.....	46
3.3.2. Estructura de tallas.....	46
3.3.3. Estructura de edades .....	47
3.3.4. Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del organismo ..	47
3.3.5. Curvas de crecimiento .....	47

3.3.6. Verificación de la formación de las bandas de crecimiento .....	48
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
4.1. Precisión y sesgo.....	49
4.2. Estructura de tallas .....	49
4.3. Estructura de edades .....	51
4.4. Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del organismo ..	53
4.5. Curvas de crecimiento .....	55
<b>CAPÍTULO V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>61</b>
5.1. Estructura de tallas .....	61
5.2. Precisión y sesgo.....	63
5.3. Estructura de edades .....	64
5.4. Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del organismo ..	65
5.5. Curvas de crecimiento .....	66
5.6. Validación y verificación .....	67
5.7. Conservación y manejo.....	68
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>72</b>
6.1. Conclusiones.....	72
6.2. Recomendaciones .....	73
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>75</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>88</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ganancias anuales por actividades relacionadas al buceo con tiburones en diferentes partes del mundo (WildAid, 2015). .....	34
<b>Tabla 2.</b> Número de organismos registrados de tiburón martillo ( <i>Sphyrna zygaena</i> ) en el Pacífico Oeste descargado en Puerto López (periodo diciembre-enero 2013). En paréntesis el número de individuos de los que se obtuvo una muestra de vértebras. ....	49
<b>Tabla 3.</b> Tasa de crecimiento absoluta anual por edad del tiburón martillo capturado en Puerto López, Ecuador durante el año 2013. ....	56

<b>Tabla 4.</b> Resumen de los parámetros de crecimiento para el tiburón martillo reportados por diferentes autores.....	58
--	----

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Sphyrna zygaena</i> . Esquema de vista lateral y vista ventral del margen anterior de la cabeza trilobulada y dientes triangulares. ....	17
<b>Figura 2.</b> Área de estudio, Puerto López, Manabí, Ecuador (Castro y Rosero, 2010). .	37
<b>Figura 3.</b> Sistema general de corrientes superficiales del Océano Pacífico sur (Schneider <i>et al.</i> 2004).....	38
<b>Figura 4.</b> Medidas tomadas en los individuos muestreados. A (Longitud furcal), B (Longitud total), C (Longitud precaudal), D (Longitud interdorsal), E (Apertura de la cloaca), F (Longitud del mixopterigio).....	40
<b>Figura 5.</b> Toma de medidas de los individuos en la playa de Puerto López, Ecuador. .	41
<b>Figura 6.</b> <i>Sphyrna zygaena</i> , región anterior de la aleta caudal, A. zona de extracción de la muestra, B. Fosa precaudal. ....	41
<b>Figura 7.</b> Segmento tomado de la región caudal del tiburón martillo ( <i>Sphyrna zygaena</i> ) y las vértebras obtenidas. ....	42
<b>Figura 8.</b> Diagrama de los planos de corte que se pueden realizar en una vértebra de tiburón (Cailliet y Goldman, 2004). ....	43
<b>Figura 9.</b> Corte transversal realizado por Dremel 400 XPR de doble cuchilla. ....	43
<b>Figura 10.</b> Corbatín sin tinción obtenido del corte sagital de la vértebra. ....	44
<b>Figura 11.</b> Diagrama del corte sagital de una vértebra y sus partes (Garza, 2004). ....	45
<b>Figura 12.</b> Corbatín de 5 $\mu$ teñido con cristal violeta. La medidas tomadas donde: R = radio de la vértebra, U = última banda formada, P = penúltima banda formada, BB = banda de nacimiento. ....	45

<b>Figura 13.</b> Distribución de frecuencias totales de tallas (a), y distribución de frecuencias para machos y hembras (b) distribución de frecuencias de individuos analizados (c) de la captura de tiburón martillo en Puerto López, Ecuador. ....	51
<b>Figura 14.</b> Distribución de frecuencias totales de edad (a), y distribución de frecuencias para machos y hembras (b) de la captura de tiburón martillo en Puerto López, Ecuador. ....	52
<b>Figura 15.</b> Relación total entre el radio de la vértebra y la longitud total del individuo (a), y relación entre el radio de la vértebra y longitud total para machos y hembras del tiburón martillo en Puerto López, Ecuador durante el 2013.....	54
<b>Figura 16.</b> Promedio de la talla observada (marcadores oscuros), retrocalculada (marcadores claros) por edad y curvas del modelo de von Bertalanffy para machos y hembras del tiburón martillo, capturados en Puerto López, Ecuador durante el año 2013. ....	57
<b>Figura 17.</b> Variación mensual del porcentaje de vértebras con borde oscuro, tasa de incremento marginal (barras) y temperatura superficial del mar (TSM) promedio por mes (línea). ....	60

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Tiburones martillo ( <i>Sphyrna zygaena</i> ) en la playa de Puerto López, Ecuador, provenientes de la pesca artesanal. ....	88
<b>Anexo 2.</b> Anzuelo chino tiburonero observado en una embarcación de pesca. ....	88
<b>Anexo 3.</b> Determinación del estado de madurez sexual en los tiburones martillo ( <i>Sphyrna zygaena</i> ) que fueron muestreados. A. Cláspers de un macho inmaduro. B. Aparato reproductor de una hembra madura. ....	89

<b>Anexo 4.</b> Proceso de tinción de las vértebras con cristal violeta.....	<b>89</b>
<b>Anexo 5.</b> Toma de medidas de los corbatines obtenidos mediante los cortes transversales de las vértebras cervicales.....	<b>90</b>
<b>Anexo 6.</b> Toma de medidas de los corbatines.....	<b>90</b>

## RESUMEN

El tiburón martillo *Sphyrna zygaena*, es una de las especies de tiburón más capturadas en los puertos del Ecuador. En el presente estudio se describe la edad y el crecimiento del tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*) en las costas de Puerto López, Ecuador, de especímenes provenientes de la pesca artesanal. La toma de muestras se llevó a cabo desde enero del 2013 hasta diciembre del mismo año. Se colectaron un total de 201 muestras, de las cuales se procesaron 102 individuos (48 machos y 54 hembras) con intervalos de tallas desde los 52 cm hasta los 283 cm de longitud total. Las diferencias de tallas por sexo fueron significativas ( $p < 0.05$ ), como resultado de la migración de organismos adultos ( $LT > 170$  cm) y mayor abundancia de neonatos, juveniles y hembras maduras en la zona de pesca. La relación entre el radio de la vértebra (RV) y la longitud total (LT) fue de tipo lineal ( $R^2 = 0.68$ ).

El porcentaje de error promedio (1.89%) y el coeficiente de variación (1.71%), indicaron una alta precisión en el conteo de marcas de crecimiento entre ambos lectores. El análisis mensual de la tasa de crecimiento marginal y el porcentaje de vértebras con borde opaco señalaron que la formación de las bandas es anual, alternando una opaca y una clara.

Se identificó una edad máxima de 17 años en hembras con una talla de 161 cm LT, y de 11 años en machos con una talla de 194 cm de LT. En el periodo de estudio dominaron las hembras y machos de edades de 6 a 9 años.

Los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy se estimaron para sexos separados, usando las tallas obtenidas mediante el retrocálculo a la edad, obteniendo así:  $L_{\infty} = 225.49$  cm LT,  $k = 0.09$  y  $r^2 = 0.9964$  para machos y para las hembras:  $L_{\infty} = 356$  cm LT,  $k = 0.053$  y  $r^2 = 0.9848$ .

Los machos de los 0 a 3 años presentan un promedio de crecimiento de 14.51 cm, de 4 a 7 años un promedio de 9.74 cm y de 8 a 11 años un promedio de 6.85 cm por año. En las hembras, de 0 a 3 años se calculó un promedio de crecimiento de 15.14 cm, de 4 a 7 años un promedio de 12.20 cm, 8 a 11 años un promedio de 9.83 y de 12 a 17 años un promedio de 7.22 cm por año.

**Palabras clave:** *Sphyrna zygaena*, edad, crecimiento, vértebras, pesca artesanal, Puerto López.

## ABSTRACT

The hammerhead shark (*Sphyrna zygaena*), is one of the most common species of sharks captured at the Ecuadorian coasts. This study describes the age and growth of hammerhead shark (*Sphyrna zygaena*) that comes from artisanal fisheries in the coast of Puerto López, Ecuador. Sampling was carried out from January 2013 to December 2013. A total of 201 samples were taken, from which 102 individuals were processed (48 males and 54 females) with size ranges from 52 cm to 283 cm total length. Size differences by sex were significant ( $p < 0.05$ ) as a result of the migration of adult organisms ( $LT > 170$  cm) and greater abundance of infants, juveniles and mature females in the fishing area. The relationship between the radius of the vertebra (RV) and the total length (LT) was a linear equation ( $R^2 = 0.68$ ).

The average percentage error (1.89%) and the variation coefficient (1.71%) showed high accuracy counting growth marks between readers.

The monthly analysis of the marginal growth rate and percentage of vertebrae with opaque edges, pointed out that the formation of the bands is annual, alternating an opaque and a clear one. A maximum age of 17 years was identified in females with a size of 161 cm TL and in males 11 years with a size of 194 cm TL. In this study females and males aged from 6 to 9 years dominated.

The growth parameters of von Bertalanffy growth model were estimated for separate sexes, using the sizes obtained by back calculation to age, obtaining:  $L_{\infty} = 225.49$  cm TL,  $k = 0.09$  and  $r^2 = 0.9964$  for males and for females:  $L_{\infty} = 356$  cm TL,  $k = 0.053$  and  $r^2 = 0.9848$ .

Males of 0-3 years show an average growth of 14.51 cm, 4-7 years an average of 9.74 cm and 8-11 years an average of 6.85 cm per year. In females of 0-3 years, an average growth of 15.14 cm was calculated, in 4-7 years an average of 12.20 cm, 8-11 years an average of 9.83 and 12 to 17 years an average of 7.22 cm per year.

**Key words:** *Sphyrna zygaena*, age, growth, vertebrae, artisanal fisheries, Puerto López.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Los tiburones son un grupo de vertebrados acuáticos que respiran a través de branquias, caracterizados por tener de 5 a 7 pares de aberturas branquiales, están provistos de aletas, tienen dentículos dérmicos, generalmente presentan cuerpos pisciformes y mandíbulas que muestran un reemplazo continuo de dientes (Compagno *et al.* 2005; Ebert y Stehmann, 2013; Álava, 2009). Dos caracteres principales que distinguen a este clado de otros son el desarrollo de mineralización del endoesqueleto y la presencia de órganos copuladores derivados de las aletas pélvicas en los machos adultos denominados pterigopodios (Álava, 2009).

De las casi 500 especies de tiburones conocidos, se han documentado 88 especies a nivel regional (Henderson y Hearn, 2010). Según Martínez y García (2013), en el Ecuador se encuentran presentes 20 familias, 34 géneros y 61 especies, de las cuales aproximadamente 21 especies se explotan de manera comercial principalmente.

Las diferentes flotas pesqueras se enfocan en lo que ellos llaman “pesca objetivo”, es decir que tienen como blancociertas especies, sin embargo, debido al funcionamiento de los artes de pesca poco selectivos, estas flotas también capturan millones de toneladas de otras especies marinas, conocidas generalmente como pesca incidental (Fernández, 2009). Actualmente, muchas especies de elasmobranquios se han convertido en especies de pesca dirigida para pesquerías comerciales y recreacionales alrededor de todo el mundo, y hay un incremento de la pesca incidental que tiene como objetivo otras especies comerciales.

La biología de los tiburones es la menos conocida y entendida de los grandes grupos de fauna marina y el manejo de las pesquerías de tiburón ha sido obstaculizado por una falta de información biológica y de pesquerías (Camhi *et al.* 1998). La única y escasa

información disponible acerca de la biología, reproducción e historia de vida son de aquellas especies que son importantes comercialmente.

Es de gran importancia entender la edad, características de crecimiento, procesos de maduración, y la longevidad en los peces para evaluar el estatus actual de una población y para predecir cómo ésta cambiará con el tiempo. Los proyectos de investigación que describan la biología de las diferentes especies de elasmobranquios, que se enfoquen en el estudio de aspectos como la reproducción, alimentación, edad y crecimiento, son necesarios, ya que es básico entender y conocer los elementos que afectan a las poblaciones y a su dinámica (Garza, 2004).

El tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*), es una especie costera, semi-pelágica bastante común en las costas del pacífico ecuatoriano, donde se encuentra dentro de las tres especies de tiburones más capturadas por la flota artesanal e industrial. Su dieta está compuesta principalmente por peces pelágicos grandes e incluye tiburones más pequeños, rayas y calamares. Esta especie presenta un periodo de gestación de 10 a 12 meses, con camadas de 15 a 35 crías, seguido con un año de descanso, y una larga vida de hasta 30 años (Álava, 2009).

Los tiburones tienden a formar grandes cardúmenes de individuos juveniles principalmente, cerca de montes submarinos y de islas oceánicas, haciendo que sean particularmente vulnerables a la pesca dirigida. Los altos niveles de segregación hacen que el restablecimiento de áreas donde el recurso se ha agotado sea característicamente difícil.

En el presente estudio se busca determinar la edad y crecimiento del tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*) proveniente de la pesca artesanal en Puerto López, Ecuador; con el objetivo de determinar la composición de edades y la variación del crecimiento en

diferentes tallas de la población capturada, y así entender los procesos de maduración y la longevidad de la especie, los cuales son esenciales para una gestión pesquera sostenible.

### **1.1. Antecedentes**

Los registros de la FAO (2000) indican que anualmente en todo el mundo se pescan alrededor de un millón de toneladas de tiburones y rayas, lo que se traduce en unos 100 millones de animales; estas estimaciones son un tanto inciertas, y probablemente conservadoras, debido a que los datos sobre utilización de productos derivados del tiburón y elasmobranquios en general son escasos pues muchas naciones no mantienen registros sobre desembarcos y consumo o utilización de estos productos a nivel local (Cortés, 2002).

Alrededor del mundo se han realizado diferentes estudios relacionados con *Sphyrna zygaena*. Smale y Cliff (1998) observaron que en Sud África esta especie es la más abundante de tiburones en las pesquerías, la mayoría de individuos observados se encontraron en un intervalo de tallas de 60 a 140 cm de longitud total (LT). En Nueva Gales del Sur, Australia, la captura de los tiburones martillo representa el 15% del total de la pesca, además se ha registrado que la talla de captura de *Sphyrna zygaena* es de a 100-240 cm LT en machos y 140-300 cm LT en hembras. En las costas del Golfo de California, esta especie representa hasta el 1,52% de la captura total de tiburones, con un intervalo de tallas de 70 a 120 cm de LT, tratándose de individuos inmaduros. En las islas de Nayarit, la captura de cachuda blanca puede llegar a representar hasta el 34,93% de total de capturas de elasmobranquios entre los meses de enero a marzo (Garza, 2004). La misma situación se puede observar con *Sphyrna lewini*, Torres (1999), indica que la pesquería del tiburón en el noroeste de México está compuesta

principalmente por juveniles de 67 a 121 cm de longitud total, mientras que las hembras y machos adultos se presentan en menor abundancia.

En Ecuador, se han registrado capturas de *Sphyrna zygaena* en varios puertos del país, donde según el INP (2007), esta especie representa el 3,4% del total de la pesquería de tiburones, situando a Puerto López como tercer puerto principal de desembarques para *Sphyrna zygaena* (SRP, 2011; Coello, 2005).

Sin embargo, publicaciones realizadas por varios técnicos pesqueros de la Subsecretaría de Recursos Pesqueros (SRP), indican que *Sphyrna zygaena* es una de las especies que presenta mayor explotación comercial en Ecuador, principalmente de individuos juveniles. Varios reportes de Martínez *et al.* (2007), informan que en el puerto de Manta, *Sphyrna zygaena* representó el 11% de individuos desembarcados durante los años 2003 a 2006. Bolaño (2007), afirma que en el puerto de Santa Rosa, el 76,65% del total de la pesca perteneció a esta especie durante el 2004. Mientras que según Álava (2009), en Puerto López el 61,73% del total de individuos desembarcados son tiburones martillo.

La investigación acerca de tiburones ha sido dirigida principalmente a la caracterización de pesquerías y hábitos alimenticios, sin embargo es escasa la información relacionada a los ciclos reproductivos y tasas de crecimiento (Anislado, 2000; Bejarano, 2009).

A nivel internacional, se han elaborado estudios sobre el tiburón martillo *Sphyrna zygaena*, empezando por Gilbert (1967), que realizó una investigación sobre la biología y los aspectos taxonómicos de todas las especies que pertenecen a la familia Sphyrnidae, abordando temas como filogenia, tallas máximas, historia de vida y biogeografía.

Smale y Cliff (1998) describieron la presencia de cefalópodos en la dieta de cuatro especies de tiburones *Galeocerdocuvier*, *Sphyrna lewini*, *Sphyrna zygaena* y *Sphyrnamokarran* de Kwazulu-Natal, Sudáfrica; mientras que en Ecuador se reporta el trabajo realizado por Castañeda y Sandoval (2007) y por Estupiñán *et al.* (2009), acerca de los hábitos alimenticios de *Sphyrna lewini*, donde indican una diferenciación en la dieta de individuos juveniles y adultos, así como diferencias entre sexos. En individuos juveniles se encontró una preferencia de más del 50% por la especie *Dosidiscus gigas*.

Los estudios realizados en el Golfo de California sobre hábitos alimenticios de esta especie, indican que los juveniles se alimentan principalmente de peces bentónicos y neríticos; mientras que los adultos consumen peces neríticos y epipelágicos, e incluyen en su dieta cefalópodos (Estupiñán *et al.* 2009).

En el 2006, Bolaño realizó un estudio de los hábitos alimenticios en los individuos juveniles de *Sphyrna zygaena* en Santa Rosa, Ecuador, donde se analizó el contenido estomacal de 206 individuos y se observó que los individuos son considerados depredadores especialistas, con una dieta compuesta principalmente por *D. gigas*, *L. diomedae* y *S. oualaniensis*. Para el 2009, Bolaño, realizó un estudio de la ecología trófica del *S. zygaena* en aguas ecuatorianas, donde confirma su estudio anterior sobre hábitos alimenticios en juveniles mediante isótopos estables y se observa igualmente que la presa más abundante en la dieta de los tiburones martillo es *D. gigas*.

Según los estudios realizados de la biología reproductiva de *Sphyrna lewini*, Torres (1999) determina que la madurez sexual en los machos se alcanza a los 173 cm de longitud total (LT) y de 232 cm LT para las hembras; lo que concuerda con Klimley (1987) que reporta la madurez sexual en machos a los 177 cm de LT; y Campuzano (2002) que reporta una talla de 176 cm LT.

Bejarano (2007) realizó un estudio completo de la biología reproductiva del tiburón *Sphyrna lewini* en México, donde durante los dos años de muestreo pudo observar hembras grávidas durante los meses de mayo a julio, con un promedio de 14 a 30 embriones, con un máximo de 40 embriones. La talla al nacer registrada fue de 41 a 51 cmLT.

Los trabajos de edad y crecimiento han sido realizados para varias especies de tiburones con el fin de estudiar la variación del crecimiento en diferentes poblaciones; sin embargo, ninguno ha sido realizado en *Sphyrna zygaena* en Ecuador.

Se conocen estudios para *Sphyrna lewini* realizados por Schwartz (1983), en Carolina del Norte quien trabajó principalmente con organismos inmaduros y realizó una comparación entre métodos de tinción. Garza (2004) indica que Chen *et al.* (1990), en el noroeste de Taiwán, trabajaron con la edad y el crecimiento de *S. lewini* aplicando el método de incremento marginal para validar la formación anual de un par de anillos. Anislado-Tolentino y Robinson (2001), en el Pacífico mexicano también estudiaron la edad y crecimiento de *S. lewini* (Garza 2004).

Específicamente si se trata de estudios de edad y crecimiento en *Sphyrna zygaena*, está el estudio de Garza (2004) realizado en las costas de Baja California, sur de México. Con un total de 39 individuos analizados (19 machos y 20 hembras) concluyó que no existe una diferencia significativa entre machos y hembras, la edad de los individuos estudiados va desde el año hasta los 18 años, en un intervalo de tallas desde los 110 hasta los 283 cm de longitud total. Los parámetros del modelo de VBGF para el total de la muestra es de  $L_{\infty} = 301,62$  y una  $t_0 = -2,45$ . La relación entre el radio de la vértebra y la longitud total presentó un coeficiente de determinación de 0,948.

En el 2011, Coelho *et al.* realizaron un estudio de edad y crecimiento en *Sphyrna zygaena* en el este del Océano Atlántico Ecuatorial, donde se recolectó un total de 139 individuos distribuidos en un rango de tallas de 136 a 233 cm de longitud estándar. Se determinó la mejor técnica de tinción de bandas para esta especie, donde los mejores resultados fueron observados al realizar cortes sagitales de 500  $\mu\text{m}$  y teñirlos con cristal violeta. El modelo de crecimiento de von Bertalanffy (VBGF) resultó ser el más adecuado para describir el crecimiento de esta especie, con  $L_{\infty} = 272$  cm para machos y  $L_{\infty} = 285$  para hembras. Un crecimiento anual de 25 cm (longitud precaudal) durante los primeros años de vida. Existe una relación lineal entre el tamaño de los individuos y el radio de sus vértebras. Sin embargo, no lograron verificar la suposición de la formación de bandas.

Otros autores han estudiado especies pertenecientes al mismo género (*Sphyrna*), con diferentes supuestos de formación de bandas; para *Sphyrna lewini* en Taiwán, Chen *et al.* (1990) asumieron que se forman dos pares de bandas por cada año. Piercy *et al.* (2007) en su estudio de *Sphyrna lewini* en el Atlántico nor-este asumen que el patrón de formación de bandas se da anualmente, es decir un par de bandas por año.

También se realizó un estudio del tiburón cabeza de pala, *Sphyrna tiburo*, comparando dos poblaciones distintas de la Bahía de Tampa y de la Bahía de Florida. Su estudio también validó la periodicidad de formación de bandas para la especie *Sphyrna tiburo* en el Golfo de México, donde concluyó que la formación de cada par de bandas (una opaca y una hialina) se da anualmente empleando el método de marcaje con oxytetraciclina (Garza, 2004; Coelho *et al.* 2011).

Para el gran tiburón martillo (*Sphyrna mokarran*), Passerottiet *al.* (2010) validaron el patrón de deposición anual de las bandas de crecimiento mediante la técnica de datación por radiocarbono, concluyendo que se da la formación de un par de bandas por año.

Sin embargo, este tipo de estudios no se han llevado a cabo para *Sphyrna zygaena* en el país o en la región, que además presenta una tasa de crecimiento menor a las especies similares, lo que nos indica que esta especie puede ser particularmente vulnerable a la sobreexplotación (Coelho *et al.* 2011).

## **1.2. Planteamiento del problema**

Generalmente, los Chondrichthyes tienen historias de vida caracterizadas por: baja fecundidad, periodos juveniles largos, crecimiento lento, madurez tardía, vidas largas y alta supervivencia a todas las edades; este conjunto de caracteres hacen que el potencial reproductivo sea bajo y les da a las poblaciones una baja capacidad de adaptación (Álava, 2009). Estas condiciones se presentan debido a que los tiburones se encuentran en el tope de la cadena alimenticia, por lo que tienen pocos enemigos naturales, sus necesidades son producir pocas crías capaces de llegar a la madurez para poder mantener los niveles en las poblaciones en la capacidad de carga del ecosistema. Las especies que presentan este tipo de historia de vida se conocen como “K- estrategias”. Debido a la gran inversión de energía que representa producir prole, muchos tiburones paren a sus crías en costas protegidas o en aguas estuarinas que pasan a ser grandes guarderías. Esta tendencia a agregarse por edad, sexo y estado reproductivo, los vuelve aún más vulnerables a la explotación pesquera (Coelho *et al.* 2011; Aguilar *et al.* 2005; Martínez, 1999).

Desafortunadamente, la pesquería de tiburones se ha expandido en número y tamaño alrededor del mundo desde mediados de 1980, debido al rápido incremento en la

demanda de aletas de tiburón, su carne y cartílago, lo que impide a las poblaciones de tiburones aumentar lo suficientemente rápido para reemplazar a los individuos que han sido pescados (Camhiet *al.*1998; Compagnoet *al.* 2005).

El implemento y mejoramiento de varias artes de pesca (palangre, redes agalleras, cimbras, trasmallos), sumado al aumento en el número de embarcaciones y zonas de pesca, han convertido a la pesca en multiespecífica e incluye una gran variedad de tallas y estadíos de desarrollo. Es decir que los pescadores no discriminan ni a neonatos, juveniles, ni a hembras preñadas (Márquez, 2001).

Se cree que muchas especies de elasmobranquios pueden estar a salvo dado que tienen una amplia distribución geográfica y mecanismos de dispersión de larga distancia. Sin embargo, la vastedad geográfica de los ecosistemas marinos representa una limitación para la habilidad de monitorear las poblaciones de tiburones, por lo que los efectos de la explotación de los tiburones como un recurso pesquero en la mayoría de poblaciones siguen siendo desconocidos (Álava, 2009).

El tiburón martillo o cachuda blanca, *Sphyrna zygaena*, es una especie amenazada a nivel mundial que ha sido sobreexplotada seriamente durante las últimas décadas (FAO, 2011). Debido al gran número de radios, las aletas de los tiburones martillo son altamente apetecidas. El kilo puede llegar a costar desde 88 a 140 dólares en los mercados de Hong Kong y China. Cada año alrededor de 1.3 a 2.7 millones de tiburones martillo mueren como resultado de la pesca dirigida e incidental. Estadísticas indican que aproximadamente el 6% del total de las aletas que se comercializan en Asia pertenecen a las especies *Sphyrna zygaena* y *Sphyrna mokarran*. Por estas razones, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) clasifica a la cachuda blanca dentro de la lista roja como especie vulnerable (VU) (FAO, 2011).

A pesar de que la razón principal de la captura de tiburones martillo sea la demanda de sus aletas, en Ecuador, su carne se consume dentro del mercado nacional y se exporta regionalmente. Como en muchas otras especies de tiburones, las capturas de tiburón martillo están subestimadas por los reportes oficiales. Existen grandes discrepancias entre las estadísticas de captura y comercialización (FAO, 2011).

El incremento en las tasas de capturas de tiburones requiere la implementación de un plan de manejo para el uso sostenible del recurso, sin embargo el desarrollo de un plan de manejo de pesquería se dificulta por la falta de información biológica de las especies (Jounget *al.* 2008).

### **1.3. Justificación**

Los tiburones son depredadores marinos grandes que se han mantenido como un importante elemento de los ecosistemas marinos, ya que como grupo se encuentran, en su mayoría, involucrados en la transferencia de energía en los niveles superiores de la pirámide trófica. Además, regulan las poblaciones de sus presas e incluso la estructura de la comunidad por relaciones dependientes de la densidad (Álava, 2009).

La preocupación por la conservación de los tiburones con respecto al aumento en el porcentaje de capturas de individuos se da debido a que a pesar de que se conoce la vulnerabilidad de los elasmobranquios a la sobrepesca, varios estudios sugieren que dentro de las últimas décadas la explotación del recurso tiburón ha incrementado y se ha evidenciado una marcada declinación de varias poblaciones, algunas de las cuales han sido explotadas hasta decaer en un 90% como resultado de la pesca directa y de la pesca incidental, mientras que generalmente muchas especies presentan un declive del 70% en los últimos 20-30 años (Compagnoet *al.* 2005). De las 591 especies de condriictios que

han sido estudiados y evaluados a nivel mundial, 126 especies se consideran amenazadas y 107 como casi amenazadas (Álava, 2009).

En Marzo del 2013, en la XVI Reunión de la Conferencia de las Partes Bangkok, realizada por la Convención Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES), los países miembros aceptaron la propuesta de incluir los tiburones martillo de las especies *Sphyrna zygaena*, *Sphyrna mokarrany* *Sphyrna lewini* en el apéndice II del CITES (MAGAP, 2013; WWF, 2013).

Con la inclusión de esta especie en el apéndice II del CITES se busca mejorar el monitoreo de las capturas, por medio de la documentación de los flujos comerciales y la evaluación de la sostenibilidad de la explotación. También se quiere establecer límites y restricciones de exportación basados en estudios científicos, para ayudar a complementar los esfuerzos nacionales y regionales con el fin de recuperar las poblaciones (FAO, 2009).

En Ecuador, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y pesca (MAGAP), por medio de la Subsecretaría de Recursos Pesqueros (SRP), emitió el acuerdo ministerial N° 116 como una medida para el manejo y ordenamiento para las capturas incidentales de los tiburones martillo (*Sphyrna zygaena* y *Sphyrna lewini*). El acuerdo prohíbe por completo el transporte y la comercialización de tiburones martillo en los barcos industriales, y a su vez indica que la flota artesanal tiene permitido la captura incidental de un máximo de cinco individuos de una longitud total de 150 cm, por viaje. En ningún caso la pesca debe incluir ejemplares mayores a esta talla ni hembras grávidas. Sin embargo, es importante recalcar que en el país, del total de individuos de los desembarques artesanales, más del 90% está compuesto por neonatos y juveniles

(inmaduros), lo que influye negativamente en el stock reclutante, al no permitir que esta parte de la población llegue a ser capaz de reproducirse (MAGAP, 2013; WWF, 2013).

A pesar de la importancia de realizar estudios acerca de la vida y biología de los elasmobranquios para un buen manejo y conservación de la pesquería de este recurso, en Ecuador existe escasa información con respecto a los ciclos biológicos de las diferentes especies de elasmobranquios explotados comercialmente (Briones y Armijos, 2012).

El patrón de crecimiento es un componente significativo para la historia de vida de un organismo; dentro de este componente encontramos elementos clave que definen a este patrón, como la edad de madurez sexual, la tasa de crecimiento, longitud total y talla de nacimiento (Briones y Armijos, 2012). Es importante realizar estudios de edad y crecimiento en organismos como los elasmobranquios, ya que esto ayuda a determinar la edad en la que el individuo comienza a reproducirse, la fertilidad y fecundidad de las diferentes especies de tiburones. De esta manera, junto con los parámetros reproductivos, estos componentes son modeladores de la estrategia reproductiva de un organismo. Por otra parte, dentro del manejo de pesquerías, es importante conocer la edad, las características de crecimiento, los procesos de maduración y la longevidad de la especie, las cuales son esenciales para una gestión pesquera sostenible (Garza, 2004; Briones y Armijos, 2012).

## **1.4. Hipótesis**

- **Hipótesis de Investigación**

Mediante el conteo de bandas de crecimiento en las vértebras de los tiburones se puede determinar la edad aproximada de la especie estudiada (*Sphyrna zygaena*), y relacionarla con la longitud total del individuo.

- **Hipótesis nula**

El conteo de bandas de crecimiento en las vértebras de los tiburones no determina la edad aproximada de la especie estudiada, y por lo tanto éstas no se relacionan con la longitud total.

## **1.5. Objetivo General**

Determinar la composición de las edades y los parámetros de crecimiento de *Sphyrna zygaena*, proveniente de la pesca artesanal en Puerto López, Manabí, (Pacífico ecuatoriano) durante el año 2013, mediante el conteo de bandas de crecimiento, para contribuir con información importante acerca de su ciclo de vida.

## **1.6. Objetivos Específicos**

- Describir la estructura de tallas de los individuos capturados.
- Determinar la edad de los individuos desembarcados.
- Caracterizar los parámetros de crecimiento.
- Describir los aspectos pesqueros y la composición de la pesca del tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*) en Puerto López, Ecuador.
- Contribuir en el mejoramiento de las políticas pesqueras y vedas relacionadas con la especie capturada, mediante el levantamiento de información biológica.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Taxonomía

La clase Chondrichthyes está dividida en dos grandes grupos, el más grande es la subclase Neoselachii, dentro de la cual se encuentran las rayas y los tiburones, y la subclase Holocephali a la que pertenecen las quimeras. A su vez, la subclase Neoselachii se encuentra dividida en dos superordenes, Squalomorphii y Galeomorphii. El superorden Squalomorphii incluye los órdenes Hexanchiformes, Squaliformes, Squatiniformes y Pristiophoriformes; mientras que el superorden Gealeomorphii incluye a los Heterodontiformes, Orectolobiformes, Lamniformes y Carcharhiniformes (Ebert y Stehmann, 2013).

Los tiburones martillo pertenecen al orden de los Carcharhiniformes, a la familia Sphyrnidae (Gill, 1872) la cual está constituida por dos géneros, *Sphyrna* (Rafinesque, 1810) y *Eusphyrna* (Gill, 1862), de los cuales solo el género *Sphyrna* se encuentra presente en el Pacífico suroriental; representado por seis especies: la cachuda blanca *Sphyrna zygaena* (Linnaeus 1758), cachuda roja *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith 1834), el tiburón martillo gigante *Sphyrna mokarran* (Rüppel, 1837), la cornuda cabeza de pala *Sphyrna tiburo* (Linnaeus, 1758), la cachuda coronada *Sphyrna corona* (Springer, 1940), y la cachuda cuchara *Sphyrna media* (Springer, 1940) (Brito, 2004).

**Reino** Animalia

**Filo** Chordata

**Subfilo** Vertebrata

**Clase** Chondrichthyes

**Subclase** Elasmobranchii

**Orden** Carcharhiniformes

**Familia** Sphyrnidae

**Género** *Sphyrna*

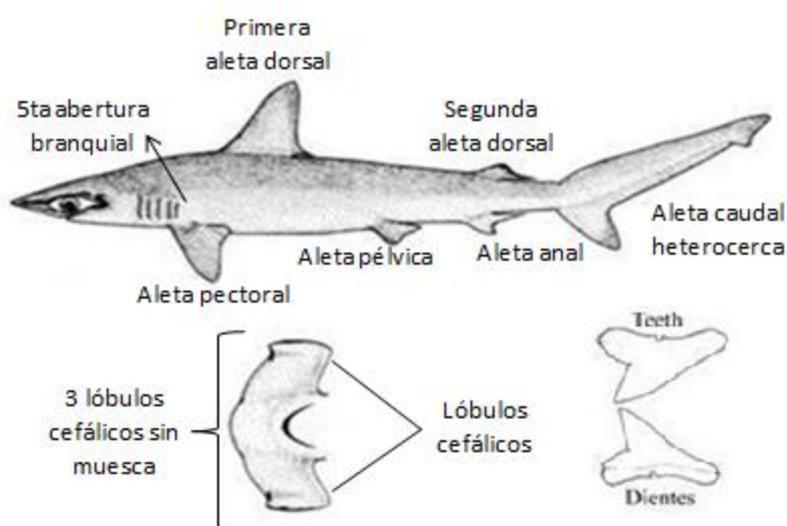
**Especie** *zygaena*

## 2.2. Biología

### 2.2.1. Descripción de la especie

La característica más representativa que distingue a los tiburones martillo de otros tiburones es la región anterior de la cabeza, que es fuertemente achatada y expandida lateralmente dando la forma de martillo, ubicando a los ojos en los bordes externos (Gilbert, 1967).

*Sphyrna zygaena* es también conocido como tiburón martillo o cachuda blanca, estos se caracterizan por presentar los lóbulos cefálicos largos y estrechos, el contorno del margen anterior de la cabeza ondulado, dividido en tres lóbulos y no presenta muesca (Fig.1). La boca se encuentra en posición inferior, tiene dientes pequeños y triangulares, la mandíbula tiene tres hileras de dientes visibles con un total de 26 dientes en la parte inferior (Fig. 1). La quinta abertura branquial más corta que la primera, cuerpo alargado, presenta dos aletas dorsales, la primera es alta con el margen posterior ligeramente falciforme y sin espina, las aletas pectorales son cortas no falcadas y la anal presenta una muesca prominente. Su coloración dorsal es café grisácea y la ventral es de un color más claro o blanca (Brito, 2004).



**Figura 1.** *Sphyrna zygaena*. Esquema de vista lateral y vista ventral del margen anterior de la cabeza trilobulada y dientes triangulares.

Dentro de la familia Sphyrnidae, *Sphyrna zygaena* es una de las especies que alcanza mayor tamaño, llegando a pasar los 3 m de longitud total. Son grandes depredadores que se alimentan principalmente de peces pequeños y de invertebrados marinos.

### **2.2.2. Distribución**

*Sphyrna zygaena* (cachuda blanca) tiene una distribución a nivel mundial en zonas tropicales y templadas. Habitan en el Pacífico Occidental desde Japón hasta Vietnam y en la costa sur de Australia y Nueva Zelanda. Se encuentra también en el Mar Mediterráneo, el sur de Inglaterra hasta Costa de Marfil y en el Océano Atlántico Occidental habita desde las costas de Nueva Escocia hasta el Mar Caribe, y en el sur en las costas de Uruguay y Argentina. En el Océano Pacífico Oriental se encuentra distribuida desde las costas de California pasando por Panamá hasta Chile; en Ecuador se encuentra en las aguas territoriales incluyendo las islas Galápagos (Garza, 2004).

Esta es una especie pelágica cosmopolita que muestra una preferencia por las aguas templadas por lo que realizan migraciones latitudinales dependiendo de la estacionalidad. También se aproximan a la costa para alimentarse y reproducirse. Se distribuye verticalmente desde la superficie hasta los 50 m de profundidad (Brito, 2004; Coehlobet *al.* 2011; Garza, 2004).

### **2.2.3. Migración**

Existe escasa información a nivel mundial acerca de los patrones migratorios de *Sphyrna zygaena*, sin embargo, en Ecuador se han realizado estudios en una especie del mismo género. En el 2006, la Fundación Charles Darwin, El Parque Nacional Galápagos y la Universidad de Davis de California iniciaron el proyecto de marcaje de tiburones en la Reserva Marina de Galápagos. Sin embargo, este estudio se enfoca en *Sphyrna lewini*, una especie cercana a *Sphyrna zygaena*.

Este estudio es un indicador importante de los patrones de comportamiento espacial y temporal, la abundancia y distribución buscando encontrar las rutas migratorias de esta especie. Se han marcado un total de 130 tiburones martillo en la zona norte de Galápagos, en las islas Wolf y Darwin. Este estudio, en conjunto con la red de investigadores del Pacífico este (Migramar), ha evidenciado que estos peces navegan a baja velocidad durante las horas de la mañana, manteniéndose en zonas cercanas a los arrecifes rocosos de la isla Wolf. Se observó que los tiburones martillo (*Sphyrna lewini*) muestran una preferencia por los llamados “hotspots”, que son puntos geográficos que poseen una alta reserva de biodiversidad. Estos pasan la mayor parte del día en estos lugares donde encuentran abundancia de alimento y corrientes leves. Al medio día se movilizan hacia aguas abiertas y de regreso a la isla. La movilización más larga registrada fue de un promedio de 40 kmy no presentan un patrón migratorio definido en las diferentes estaciones. Durante las noches muestran movimientos erráticos, principalmente lejos de las costas, donde se presume se alimentan. Estos movimientos nocturnos no se dan todas las noches ni son siempre hacia las mismas localidades (Hearn et al. 2013).

También es importante mencionar que no se marcaron ni se encontraron individuos juveniles o neonatos en el archipiélago, por lo que se sugiere que las zonas de crianza se encuentran en zonas cercanas a las costas del Ecuador continental, donde migran los tiburones que se ausentan en Galápagos durante los meses de marzo a abril, meses en los cuales existe un elevado número de *Sphyrna*, en los puertos pesqueros del país, al igual que ocurre en Costa Rica y Panamá.

Se han determinado tres tipos de movimientos para *Sphyrna lewini*:

1. Alrededor de una isla o hotspot
2. Entre islas de la misma región
3. Largas travesías en aguas abiertas

El resultado más importante evidenciado en la mencionada investigación es la conectividad que las poblaciones de las tres reservas marinas (Malpelo, Galápagos y Cocos) han demostrado, a pesar de que solo unos cuantos individuos marcados han realizado dichas migraciones; por lo que no se puede establecer un patrón migratorio. Holly Nance (2010), de la Universidad de Clemson USA, demostró que existe una alta diversidad genética entre las poblaciones de *S. lewini*, donde indicó que el ritmo de migración entre las poblaciones probablemente es suficiente para mantener una homogenización a lo largo del tiempo evolutivo pero a nivel demográfico es limitado (Henderson y Hearn, 2010).

En cuanto a las migraciones verticales, se ha observado en estudios de telemetría satelital realizados en Malpelo, Colombia, que los tiburones realizan inmersiones de hasta 1000 metros por periodos cortos y que la mayoría del tiempo permanecen a menos de 100 metros de profundidad (Hearn *et al.* 2013).

#### **2.2.4. Alimentación**

Cuando son juveniles y neonatos, se alimentan de calamares y de algunos peces pequeños que forman cardúmenes. Los adultos muestran preferencia por los cefalópodos oceánicos, pero también se alimentan de peces óseos bentónicos como varias especies de rayas, para lo cual emplean los sentidos de visión y detección eléctrica (Garza, 2004). Varios estudios han sido realizados acerca de los hábitos alimenticios de *Sphyrna zygaena*; en el Golfo de California se ha observado que esta especie se alimenta un 57.2% de peces y un 42.8% de cefalópodos (Galván *et al.* 1989). En Sudáfrica se encontró que se alimentan de cefalópodos pertenecientes a las familias Loliginidae, Sepiidae y Ancistrocheiridae (Smale y Cliff, 1998). En Ecuador, Castañeda y Sandoval en el 2004, determinaron que la dieta principal de *S. zygaena* está compuesta por calamares *Dosidicus gigas*, *Sthenoteuthis oualaniensis* y *Ancistrocheirus lesueri*, lo

que concuerda con el estudio de Estupiñán y Cedeño (2005) acerca de los hábitos alimenticios de los tiburones martillo juveniles.

### **2.2.5. Reproducción**

Puede alcanzar una longitud total de 250 a 350 cm, sin embargo, Compagno (1984) ha reportado como talla máxima de esta especie los 370 a 400 cm de longitud total (LT). Estudios realizados en la costa este de Australia han demostrado que los machos maduran a una talla de 250 – 260 cm de LT, mientras que las hembras alcanzan la madurez sexual cuando miden aproximadamente 230 - 265 cm de LT (Stevens, 1984). Castro y Mejuto (1995) encontraron hembras grávidas desde los 220 a los 255 cm de longitud estándar (SL), sin embargo, no hicieron relación con la longitud total. Su reproducción es vivípara placentaria con un gran número de crías por camada, que puede variar de 29 a 37 crías. Castro y Mejuto (1995) reportaron 21 hembras grávidas con un tamaño de 34 crías por camada. Mientras que Stevens (1975) reportó camadas de 20 a 49 crías (promedio de 32). El periodo de gestación es de 9 a 11 meses y la talla aproximada de nacimiento de las crías es de 50 a 61 cm de longitud total (Compagno, 1984; Garza, 2004). Smale (1991) y Doño (2008), reportaron en Sud África juveniles con marcas umbilicales a los 59 a 63 cm LT, y en Uruguay entre los 49 a 55 cm LT. La proporción de sexos es 1:1 (Stevens, 1984; Castro y Mejuto, 1995).

Bass *et al.* (1975) reportaron una hembra en Sud África que aparentemente se había reproducido en el mes de febrero y otra hembra capturada en noviembre que contenía embriones bien desarrollados. Por lo que se infiere que esta especie copula a inicios del año. Stevens (1984) también reportó que en la costa este de Australia los partos ocurren entre Enero y Marzo, y la ovulación se da en los mismos meses. Varios autores han reportado áreas de crianza para esta especie, como el Golfo de California y las costas del sur de Brasil y Uruguay (Garza, 2004).

### 2.2.6. Edad y crecimiento

Para determinar la edad y crecimiento de un tiburón existen varios métodos como crecimiento en cautiverio, marcaje por captura-recaptura, metodologías de crecimiento embrionario y lectura de bandas de crecimiento que se forman en las estructuras duras del individuo; en los condricios el método más empleado es el de conteo de bandas de crecimiento en las vértebras. En este estudio se busca realizar la lectura de marcas formadas por las diferentes deposiciones de calcio en las vértebras causadas por diversos factores naturales, tales como disponibilidad de alimento, factores físico-químicos del agua, enfermedades, disponibilidad de luz, entre otros (Garza, 2004).

En biología pesquera esta información es empleada como herramienta importante para realizar modelos poblacionales basados en la edad (Cailliet y Goldman, 2004). Sin embargo, los estudios de edad y crecimiento en los tiburones se vuelven difíciles, ya que hay pocas estructuras duras en el cuerpo del tiburón en las cuales podamos encontrar anillos de crecimiento, en algunas especies incluso las vértebras no producen anillos claros. En las especies de tiburón en las que podemos identificar con facilidad los anillos de crecimiento, se requiere verificar que la formación de las bandas se da de forma anual, estacional o con qué frecuencia ocurre (Compagno *et al.* 2005).

Dentro de la determinación de la edad y crecimiento es importante hacer una diferenciación entre ambos términos: la edad se refiere a la descripción cuantitativa de la cantidad de tiempo que un organismo ha vivido; mientras que el crecimiento describe los cambios producidos en el cuerpo en función al tiempo (DeVries y Frie, 1996 citado en Goldman *et al.* 2012).

El proceso de determinación de la edad y crecimiento está compuesto de los siguientes pasos: recolección de las muestras, preparación de las estructuras duras para determinar

la edad, lectura de la edad, evaluación de la validez y precisión de los resultados, y finalmente la interpretación o los modelos de crecimiento (Goldman *et al.* 2012; Cailliet y Goldman, 2004).

En el momento de hacer el muestreo, es importante la región vertebral de la toma de muestras, ya que lo que se busca hacer es estandarizar la región de muestreo para todos los estudios de edad y crecimiento con el fin de obtener comparaciones precisas y válidas. Se recomienda realizar el muestreo de las vértebras de la región anterior de la columna vertebral debido a su gran tamaño, ya que se cree que en las vértebras de la región caudal pueden faltar anillos. Es por esta razón que es necesario en los casos de estudio que tienen muestras obtenidas de otra región realizar una verificación y una validación de la formación de los anillos a lo largo de la columna. A pesar de que se ha documentado la formación de bandas de crecimiento concéntricas en las vértebras de los condrictios por más de 90 años, la determinación de la edad en estos peces ha sido un proceso complicado (Goldman *et al.* 2012).

Los términos traslúcido y opaco son comúnmente empleados en estos tipos de estudios. Las bandas traslúcidas o hialinas tienden a formarse en invierno y son amplias; mientras que las bandas opacas tienden a formarse en verano y son más estrechas. Este patrón de diferenciación en las bandas se da debido a cambios fisiológicos inducidos por los parámetros físicos del medio en el que viven, como temperatura, pH, fotoperiodo, disponibilidad de alimento, entre otros (Cailliet y Goldman, 2004).

El crecimiento vertebral está innegablemente relacionado con la ingesta de alimento, así que la escasez de este causa la formación de bandas sutiles. Las bandas estrechas son también conocidas como anillos o annulus; annuli se conoce a las dos bandas formadas a lo largo de un año, los dos brazos del corbatín se conocen como corpus calcareum y el

espacio entre estas dos estructuras se conoce como intermedialia. En los elasmobranchios, cada par de bandas estrecha/ancha que se extiende desde un brazo del corpus calcareum, pasa por la intermedialia y por el corpus opuesto, se considera que representa un año de la vida del tiburón. Solo las bandas oscuras seguidas de una banda hialina cuentan como un año (Goldman *et al.* 2012).

Como se explicó anteriormente, al momento de realizar este tipo de estudios es muy importante guiarse por protocolos. Los protocolos para determinar la edad y crecimiento tienen dos componentes principales: determinar cuáles son las marcas de las vértebras que serán contadas y la segunda es la precisión en las lecturas entre los diferentes lectores, realizando pruebas de sesgo. Otra de las dificultades al momento de realizar los conteos es la determinación de la banda de nacimiento y del primer año de crecimiento. La banda de nacimiento se reconoce casi siempre por un cambio en el ángulo de los corpus calcareum, ésta casi siempre se puede encontrar en la superficie del centro (centrum) de la vértebra, el primer año se determinó como el par de bandas bien formadas inmediatas a la banda de crecimiento. Además, en algunas especies se muestran anillos pre natales (Cailliet y Goldman, 2004; Garza, 2004).

Cailliet (1990) manifestó que el proceso de evaluar la acumulación de calcio en las zonas de crecimiento en peces se categoriza en verificación y validación. El término verificación se define como “confirmar una edad estimada comparándola con otros métodos indeterminados” y la validación se define como “la prueba de la precisión de la estimación de la edad comparándola con un método determinado” (Goldman *et al.* 2012).

Las estimaciones de edad, tasa de crecimiento y longevidad en los condricios asumen que los anillos de crecimiento son un indicador preciso de la edad. Aunque esta

suposición es cierta para la mayoría de las especies, solo pocos estudios han validado la formación periódica de las bandas en las vértebras, e incluso menos estudios han validado la edad absoluta. La validación de la periodicidad de la formación de las bandas puede realizarse mediante varios métodos tales como: marcar individuos con químicos, realizar estudios de captura-recaptura de animales en los que se conoce la edad y datación por radiocarbono. La validación en condrictios es complicada por lo que se han definido métodos de verificación, como el análisis del centro al borde y el análisis relativo del incremento marginal (Cailliet y Goldman, 2004; Garza, 2004; Goldman *et al.* 2012).

## **2.3. Pesquería**

### **2.3.1. Sector pesquero en el Ecuador**

La actividad pesquera en el Ecuador tiene un valor altamente significativo tanto en el plano social como el económico, en vista de que genera aproximadamente 120.000 plazas de trabajo directo y más de USD \$540 millones al año en exportaciones (Lemayet *al.* 2008). Esta actividad se divide en dos ejes principales: la pesca industrial y la pesca artesanal, esta última caracterizada por la operación manual de las artes de pesca y embarcaciones menores.

Se define pesca artesanal a la actividad pesquera extractiva realizada por las personas de forma directa y habitual. Un pescador artesanal es aquél que se desempeña como tripulante o dirige una embarcación artesanal. En Ecuador se muestra como una actividad económica basada en la explotación de varios de recursos marinos.

En la costa del Ecuador continental se estima que existen alrededor de 173 caletas pesqueras en las cuales se comercializa el producto obtenido (Peralta, 2009). Según datos disponibles, se estima que actualmente existen 56.000 – 60.000 pescadores artesanales que operan desde estas caletas con una flota de 3.674 embarcaciones

registradas; además de que esta actividad beneficia y da sustento a un gran número de personas de forma indirecta (Peralta, 2009; SRP, 2013; Lemayet *al.* 2008). Las embarcaciones empleadas van desde bongos hasta fibras con motor fuera de borda. Se entiende por embarcación artesanal aquella con una longitud máxima de 18 m y hasta 50 t de registro grueso, operada por un armador artesanal, identificada e inscrita como tal en los registros correspondientes (SENAPESCA, 2011).

Los pescadores artesanales que utilizan canoas y botes estiman sus capturas diarias entre los 30 y 60 kg durante la época de baja pesca (abril-septiembre), y entre 80 y 120 kg durante el resto del año. Los desembarques fluctúan generalmente entre los 80 y 200 kg promedio por canoa anualmente (Martínez, 1987).

La pesca artesanal comprende una amplia gama de modalidades que van desde recolección a mano de mariscos hasta el uso de embarcaciones motorizadas que operan en aguas someras y en mar abierto. Su característica básica es la operación manual de las artes de pesca. Este tipo de pesca se desarrolla a lo largo de toda la costa continental del Ecuador y abarca hasta aproximadamente las 40 millas náuticas (Martínez, 1987).

El Instituto Nacional de Pesca del Ecuador estima que los desembarques totales promedio del subsector alcanza entre las 30.000 y 70.000 t año, de los cuales 63% corresponden a peces pelágicos, el 29% a peces demersales, el 9% a tiburones y el 9% restante a otras especies (Lemayet *al.* 2008 ). Sin embargo, en el 2013 se reportaron un total de 292.414 t (Vinueza, 2014), un valor muy superior al estimado por el Instituto Nacional de Pesca del Ecuador.

La sostenibilidad económica y social de la pesca artesanal depende del estado del recurso natural, por lo que es muy importante contar con un esquema de manejo de las actividades extractivas que las regulen, permitiendo así que las tasas de extracción

admitan que las tasas de reproducción y crecimiento de los stocks se lleve a cabo de forma adecuada (Lemayet *al.* 2008)

Como hemos mencionado anteriormente, las diferentes flotas pesqueras se enfocan en una “pesca objetivo”, sin embargo estas flotas también capturan millones de toneladas de otras especies marinas, conocidas generalmente como pesca incidental (Fernández 2009). Actualmente, muchas especies de elasmobranchios se han convertido en especies de pesca dirigida para pesquerías comerciales y recreacionales alrededor de todo el mundo, y hay un incremento de la pesca incidental que tiene como objetivo otras especies comerciales.

En el Ecuador encontramos varios problemas que complican el manejo y la regulación de la pesca de tiburones dentro del país, entre los cuales podemos destacar la falta de control e implementación de medidas de ordenamiento pesquero, poco conocimiento acerca de la biología, estado poblacional, estado de conservación, porcentaje de capturas por pesca comercial e incidental de varias especies de tiburones, poco apoyo del Estado para proyectos de investigación, entre otros (Aguilar *et al.* 2005).

La pesquería artesanal de tiburón actualmente es reconocida como parte esencial de la economía, generadora de ingresos y como fuente de producción de alimentos, especialmente en los sectores rurales del país. Al igual que otras especies de peces óseos, el tiburón representa una fuente importante de alimento a nivel local, regional y nacional, por lo que su captura tiene repercusiones económicas a nivel social.

Según las estadísticas oficiales de la Subsecretaría de Recursos Pesqueros (SRP), desde septiembre del 2007 hasta diciembre del 2011 hubo un total de 36'940.988 kg de tiburón en todos los puertos del país monitoreados. Solo para Puerto López, el total de kilogramos capturados durante este periodo es de 499.693. Sin embargo, la Subsecretaría de Recursos Pesqueros y el Instituto Nacional de Pesca, entes encargados

del monitoreo del desembarque de tiburones en los diferentes puertos del país, no logran publicar cifras congruentes, no cuentan con cifras oficiales actualizadas disponibles, el esfuerzo de muestreo es bajo y los datos se encuentran subestimados, por lo que la determinación exacta del total de individuos desembarcados anualmente a nivel del país se desconoce.

Mundialmente, aproximadamente 100 millones de peces cartilagosos son capturados cada año; la presión pesquera ha sido enorme durante los últimos años.

La producción total estimada de aletas de tiburón en 1997 fue de 6.000 t, mientras que en 1998, sólo en Hong Kong se registró la importación de 7.000 t, lo que significaría solamente una pequeña fracción del peso total de los tiburones que fueron capturados.

La mayor captura de tiburones registrada ocurrió durante el año 2000, donde se obtuvo un total de 828.364 t (Aguilar *et al.* 2005).

### **2.3.2. Pesquería de *Sphyrna zygaena***

Alrededor del mundo se han realizado diferentes estimaciones de pesca de la cachuda blanca (*Sphyrna zygaena*), en Sud África esta especie es la más abundante en las pesquerías. La mayoría de individuos observados se encontraron en un intervalo de tallas de 60 a 140 cm de longitud total (Smale y Cliff, 1998). En Nueva Gales del Sur, Australia, la captura de los tiburones martillo representa el 15% del total de la captura, además se ha registrado que la talla de captura de *Sphyrna zygaena* se da a 100-240 cm LT en machos y 140-300 cm LT en hembras. En las costas del Golfo de California, esta especie representa hasta el 1,52% de la captura total de tiburones, con un intervalo de tallas de 70 a 120 cm de LT, tratándose de individuos inmaduros. En las islas de Nayarit, la captura de cachuda blanca puede llegar a representar hasta el 34,93% de total de capturas de elasmobranquios principalmente entre los meses de enero a marzo (Garza, 2004).

En Ecuador, las familias de tiburones que han sido principalmente reportadas en los desembarques industriales y artesanales son: Alopiidae, Carcharhinidae, Lamnidae, Sphyrnidae, Squatinidae y Triakidae (Aguilar *et al.* 2005). Dentro de la familia Sphyrnidae encontramos mayor incidencia de dos especies: *Sphyrna lewini* y *Sphyrna zygaena*. En los reportes del SRP, los desembarques de la pesca artesanal de *S.zygaena* está compuesta en un 90% por neonatos y juveniles (inmaduros), lo que influye negativamente en el stock reclutante, al no permitir que esta parte de la población llegue a condición de adulto y logre reproducirse (MAGAP, 2013).

Como otras especies pelágicas de tiburones, la cachuda blanca es comúnmente capturada de forma incidental por palangre dirigido a peces espada, dorado, picudo, entre otros; se captura principalmente con la red de trasmallo de superficie, además más del 90% de la pesca de tiburones martillo en el país está compuesta por individuos neonatos y juveniles menores a los 150 cm de longitud total (Coehlo, 2011).

*Sphyrna zygaena* es una especie importante en las pesquerías del país ya que tanto su carne como sus aletas tienen demanda en el mercado local e internacional (Bolaño, 2006; SRP, 2013; Coehlo, 2011). Estadísticas del SRP informan que desde el año 2008 hasta el 2011, se han reportado un total de 36'940.988 kg de tiburón en todos los puertos del país, de los cuales 1'210.021 kg son tiburones martillo (*Sphyrna zygaena*). Las estadísticas obtenidas para Puerto López informan que durante este periodo hubo un total de 499.693 kg, comprendidos en 92.272 individuos capturados (SRP, 2011).

### **2.3.3. Conservación y manejo**

Las agencias gubernamentales y las organizaciones dedicadas a la conservación han enfocado su atención a la conservación y recuperación de las poblaciones de diferentes especies de peces teleósteos que son importantes comercialmente. En contraste con los peces teleósteos, el reclutamiento de los tiburones en las poblaciones adultas se

encuentra estrechamente relacionado con el número de hembras reproductivas adultas, aunque hay otros factores dependientes de la densidad que afectan el tamaño de la población como el aumento de la probabilidad de supervivencia de juveniles en escenarios que presentan una ausencia de adultos (Álava, 2009; Cahmiet *al.* 1998). Como resultado de esto, cuando los animales maduros son extraídos, la producción de descendencia que soporten futuras generaciones también disminuye, lo que limita la futura productividad de las pesquerías y la viabilidad de las poblaciones, situación que se esperaría que empeore cuando los animales juveniles (no maduros sexualmente) son extraídos. Por estas razones la mayoría de poblaciones de tiburones no pueden soportar pesquerías extensivas sin que existan reducciones o colapsos del stock pesquero. Cuando se habla de stock, se hace referencia a un subconjunto bien delimitado de una especie determinada que posee los mismos parámetros de crecimiento y mortalidad, que habita en un área geográfica definida (Álava, 2009).

La presión pesquera sobre los elasmobranchios produce una declinación más rápida y una recuperación más lenta en comparación con otros peces. El manejo correcto no ha sido implementado en la mayoría de países cuyas pesquerías explotan este recurso, el patrón predominante es un rápido agotamiento del stock, seguido de un colapso del mismo (Álava, 2009).

Debido a que los tiburones martillo son una especie migratoria, los esfuerzos nacionales de los diferentes países por conservarlos se ven limitados. Es por eso que Ecuador y Costa Rica han propuesto la adopción de medidas preventivas a nivel mundial para disminuir la pesca dirigida y el comercio ilegal de esta especie y así asumir un compromiso conjunto para implementar medidas de manejo que ayuden a recuperar las poblaciones de esta especie. La Convención sobre las Especies Migratorias (CMS) es un tratado internacional que forma parte del programa de las Naciones Unidas para la

protección del ambiente. Esta busca asegurar la supervivencia de las especies migratorias así como la conservación de sus hábitats, a través de la aplicación de medidas a nivel local e internacional. La CMS integra a los países por lo cuáles estas especies migratorias recurren y establece las bases legales para establecer medidas de conservación coordinadas internacionalmente, mediante una denominada “ruta de migración” (MAE, 2014).

Los tiburones martillo están incluidos en el Anexo I de la Convención UN en la ley del mar (UNCLOS), la cual reconoce la necesidad internacional de cooperación en el manejo de especies, pero que no tiene regulaciones específicas de pesca en conjunto. En el 2010, Cortés *et al.* realizaron una evaluación de riesgo ecológico para 11 especies de elasmobranchios en el Océano Atlántico y concluyeron que *Sphyrna zygaena* aparece como una de las especies menos vulnerables, debido a su relativa alta fecundidad, comparado con otros tiburones oceánicos. Sin embargo, también mencionó que esta especie es una de las especies que necesita urgentemente un mejor conocimiento biológico, debido a muchas incertidumbres en cuanto a su historia de vida.

En Ecuador, el manejo y las regulaciones del sector pesquero son deficientes, al igual que el conocimiento y estudios de investigación acerca de las poblaciones y los ciclos biológicos de las diferentes especies de tiburones (Aguilar *et al.* 2005). Además de esta carencia de información, encontramos varios problemas que complican el manejo y la regulación de la pesca de tiburones dentro del país, entre los cuales podemos destacar la falta de control e implementación de medidas de ordenamiento pesquero, poco conocimiento acerca de la biología, estado poblacional, estado de conservación, porcentaje de capturas por pesca comercial e incidental de varias especies de tiburones, poco apoyo del estado para proyectos de investigación, discordancias estadísticas entre las entidades encargadas de los controles, entre otros (Aguilar *et al.* 2005).

En julio del 2007, se emitió el Decreto presidencial 486, el cual permite la comercialización y exportación de las aletas y la carne de los tiburones capturados incidentalmente. Sin embargo, las cifras obtenidas por el Instituto Nacional de Pesca, han demostrado que la pesca de tiburones aumenta a pesar del plan nacional de “Conservación y Gestión de Tiburones” desde septiembre del 2007 (Ramos, 2010; Vallejo, 2007).

El Decreto 486 ha causado controversia en varios sectores sociales del país. Es necesario establecer medidas de manejo pesquero que aseguren una extracción sostenible de las poblaciones de tiburón, pero que no dejen de lado al sector social, ya que la soberanía alimentaria de los pueblos, especialmente de aquellos cuya fuente principal de ingresos es la pesca, es un compromiso del Estado (Vallejo, 2007).

La importancia económica del recurso se refleja en el hecho de que los condricios proveen un gran número de productos como carne, aletas, piel, cartílago, mandíbulas y dientes. Desafortunadamente, millones de tiburones son tomados por las pesquerías anualmente para remover sus aletas y ser devueltos al mar, esta práctica es conocida como “aleteo” (Jacquet *et al.* 2008). Esta práctica aprovecha únicamente el 5% del total del tiburón. Actualmente, los lugares más importantes para la importación de aletas de tiburón provenientes de Ecuador son Singapur, Taiwán, China y Hong Kong. Se estima que el negocio del ‘aleteo’ está presente en el país desde la década de 1960. Mientras que la carne de los tiburones capturados en aguas ecuatorianas es principalmente enviada a los mercados de la sierra o exportada al Perú (Álava, 2009). Por esta razón, en el 2007, Ecuador adoptó el sistema de “aletas adheridas al cuerpo”, el cual prohíbe el desembarque de aletas de tiburón si estas se encuentran desprendidas del cuerpo. Con este sistema se busca evitar la práctica del aleteo, aprovechando al 100% el animal (Álava, 2009).

En Agosto del 2013, el Viceministerio de Acuicultura y Pesca del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (MAGAP), a través de la Subsecretaría de Recursos Pesqueros (SRP), emitió el Acuerdo Ministerial N. 116 como medida de manejo y ordenamiento para las capturas incidentales de tiburones martillo (*Sphyrna lewini* y *Sphyrna zygaena*). Este acuerdo delimita que únicamente en las embarcaciones menores artesanales conocidas como “fibras” se tolerará como pesca incidental la captura máxima de cinco tiburones martillos (neonatos y juveniles de hasta 150 cm de longitud total) por viaje, con sus respectivas aletas adheridas al cuerpo, para su comercialización en los mercados locales. En ningún caso se podrán desembarcar individuos que superen 150 metros de longitud total, ni hembras grávidas. Si uno de estos ejemplares es capturado, este deberá ser devuelto inmediatamente al mar (MAGAP, 2013). Además, “En las embarcaciones pesqueras industriales, inclusive los barcos/botes nodrizas, y en las embarcaciones de pesca deportiva y recreativa, queda prohibida la retención a bordo, transbordo, descarga, almacenamiento, venta, u ofrecimiento de venta del cadáver de tiburones martillo, enteros o en partes (cuerpo, aletas, piel, cartílagos)” (MAGAP, 2013).

Sin embargo, a pesar de que la venta de aletas y carne de tiburón es un negocio lucrativo, ya que mueve alrededor de 100 millones de dólares anualmente a nivel de todo el mundo (FAO, 2014), existen alternativas para el uso sostenible de este recurso. Las actividades turísticas como el buceo, la observación y el snorkeling con tiburones han tomado fuerza en varios países durante los últimos años, donde buzos disfrutan y pagan buena cantidad de dinero para ver a los tiburones en su hábitat natural. Por lo que alrededor del mundo se han creado varias agencias de turismo que se dedican al buceo con rayas y tiburones. Estudios confirman que alrededor del 78% de todos los buzos que visitaron Fiji en el 2010 realizaron turismo de observación de tiburones (Vianna *et al.*

2010). Algunos de los lugares que ofrecen este tipo de turismo son: buceo con tiburón azul (*Prionacegaluca*) y con tiburón tinto (*Isurusoxyrinchus*) en la costa este de Estados Unidos, buceo con tiburón tigre (*Galeocerdocuvier*) en las Bahamas, tiburones ballena (*Rhincodontypus*), tiburón blanco (*Carcharodoncarcharias*) y mantarrayas (*Manta birostris*) en México. En Ecuador, se ofrece la oportunidad de buceo con tiburones martillo (*Sphyrna zygaena* y *Sphyrna lewini*) y con tiburón ballena (*Rhincodontypus*) y en el Parque Nacional Machalilla se puede realizar la observación y buceo con mantarrayas (*Manta birostris*).

El turismo con tiburones brinda beneficios económicos en áreas que pueden soportar el turismo sustentable. Solo en el 2010, el gobierno de Fiji recibió aproximadamente \$5,9 millones de dólares en impuestos relacionados con esta actividad (Vianna *et al.* 2011).

Además existen beneficios económicos indirectos, como en Gansbaai, Sud África donde el 50% de los ingresos de los restaurantes y hoteles provienen de turistas que llegan a realizar buceo con tiburones blancos (Hara *et al.* 2003). Realizar un turismo bien administrado con tiburones provee beneficios económicos importantes para las comunidades y países que lo desarrollen (Tabla 1).

**Tabla 1.** Ganancias anuales por actividades relacionadas al buceo con tiburones en diferentes partes del mundo (WildAid, 2015).

Lugar	Actividad	Valor (por año)	Referencia
Fiji	Tiburones	\$ 42,2 millones	Vianna <i>et al.</i> 2011
Polinesia Fr.	Tiburón limón	\$ 5,4 millones	Clua <i>et al.</i> 2011
Maldivas	Tiburones	\$ 38,6 millones	Martin <i>et al.</i> 2006
Palau	Tiburones	\$ 18 millones	Vianna <i>et al.</i> 2011
Seychelles	Tiburones	\$ 4,5 millones	Topeiko y Dearden 2005
Seychelles	Tiburón ballena	\$ 4,99 millones	Rowat y Engelhardt 2005

Sud África	Tiburón tigre	\$ 1,7 millones	Dicken y Hoskings 2009
Sud África	Tiburón blanco	\$ 4,2 millones	Haraet <i>al.</i> 2009
Australia	Tiburón blanco	\$ 5,5 millones	Catlinet <i>al.</i> 2009

---

En las Filipinas, se ha observado un incremento en el turismo que ha dejado como ganancia más de \$180.000, además con un programa se ha logrado que 300 pescadores dejen sus prácticas y se relacionen con actividades turísticas.

En Guyarat, India, la pesca de tiburones ballena para la extracción del aceite de hígado empezó a mediados de 1950 y posteriormente se expandió a la comercialización de sus aletas, cartílago, piel y carne (Hanfee, 2001). Por lo que el gobierno, y varias organizaciones conservacionistas no gubernamentales iniciaron la campaña a favor de los tiburones ballena, donde nombraron a estos animales como “Vhali”, que significa “Ser amado” y se declaró un día nacional del tiburón ballena. Como resultado, los tiburones recibieron protección nacional, el gobierno incrementó el presupuesto para los estudios científicos de esta especie y se realizó un programa de compensaciones a los pescadores que liberaran los tiburones vivos enganchados en anzuelos. Ahora, los tiburones ballena son las especies emblemáticas para desarrollar el turismo marino en Guayarat (Hanfee, 2001).

Los tiburones cumplen importantes roles ecológicos, por lo que su extinción podría causar efectos negativos en varias especies marinas y a su vez afectar a los seres humanos. Al ser depredadores que se encuentran en la cima de la cadena alimenticia, ejercen una serie de efectos indirectos y amplificadas a través de los niveles tróficos sobre los organismos situados en los niveles inferiores, esto se conoce como cascada trófica (McQueen *et al.* 1986). En tiburones, hay varios ejemplos alrededor del mundo de cascadas tróficas, como es el caso de la disminución de tiburones martillo (*Sphyrna*

*lewini*) en el Atlántico norte, donde al mermar la población de estos tiburones en un 75% en un periodo de 15 años, se pudo observar un fuerte impacto en la pesquería de vieiras, almejas y ostras. Al no existir depredadores tope, alrededor de 12 especies de rayas y tiburones pequeños aumentaron sus poblaciones, los cuales se alimentan de bivalvos, disminuyendo drásticamente las poblaciones de sus presas (Griffin *et al.* 2008).

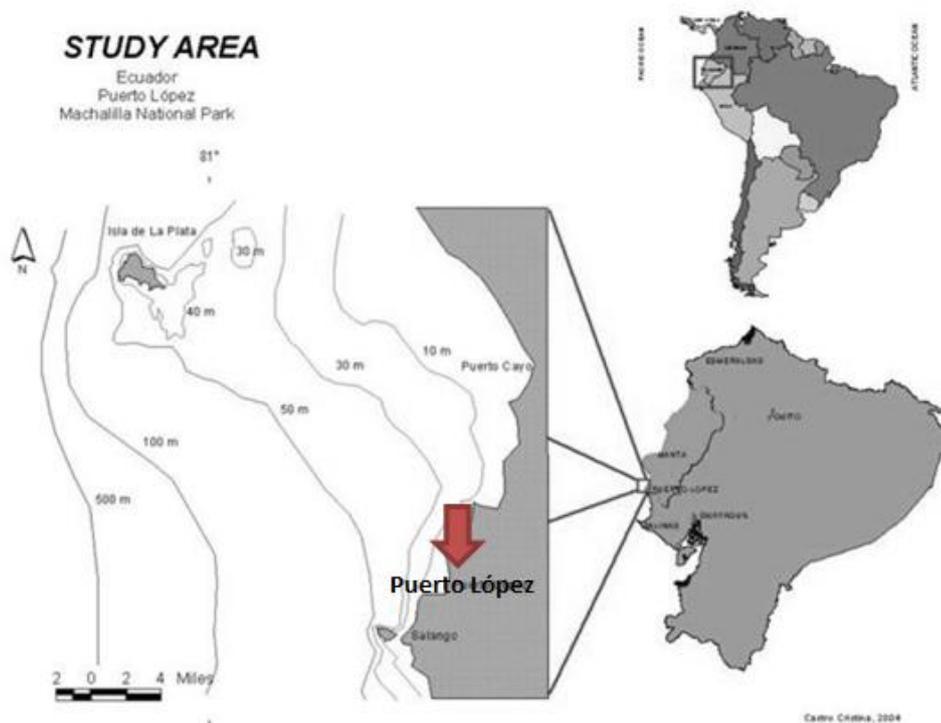
Otros estudios se han realizado en Jamaica, donde la ausencia de tiburones ha causado la destrucción del ecosistema por completo. Debido a la ausencia de los depredadores, grandes peces, como meros, pargos y jureles han aumentado sus poblaciones, causando así la disminución de herbívoros pequeños encargados de limpiar las algas que crecen sobre los corales. Esto ha ocasionado una disminución de más del 50% de los parches de coral, afectando a su vez a todas las especies que están relacionadas a estos (Griffin *et al.* 2008).

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Área de estudio

El Parque Nacional Machalilla (PNM) está ubicado al suroeste de Manabí, forma parte del corredor hidrográfico de la cordillera Chongón-Colonche. Está conformado por tres parroquias: Jipijapa, Montecristi y Puerto López (Bravo y Ponce, 2011).

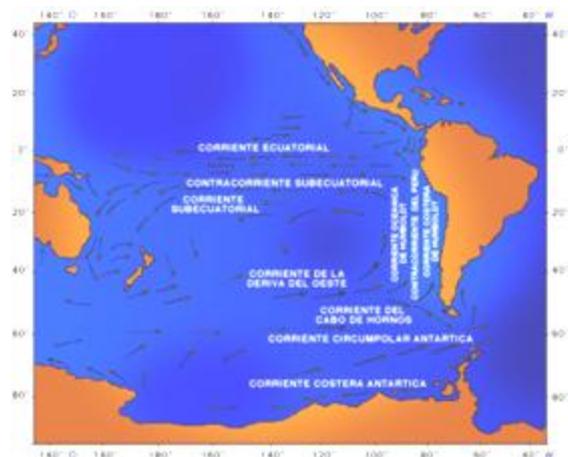
El cantón Puerto López está ubicado en el extremo suroeste de la provincia de Manabí (Fig. 2), geográficamente ubicada en la región de la costa, sus límites son al norte y este el cantón Jipijapa, al sur el cantón Santa Elena y al oeste el Océano Pacífico. Tiene una superficie de 420.20 km<sup>2</sup>, sus coordenadas son: Latitud: -1.566667 Longitud: -80.816667 (Kayser *et al.* 2009).



**Figura 2.** Área de estudio, Puerto López, Manabí, Ecuador (Castro y Rosero, 2010).

Las condiciones oceanográficas de la zona son particulares, consiste en dos flujos hacia el oeste, que son la corriente Ecuatorial del norte y la corriente Ecuatorial del sur, un flujo hacia el este llamada la contracorriente Ecuatorial del norte que se encuentra

ubicado entre estas dos corrientes anteriores. Frente a las costas del Ecuador también se tiene la influencia directa de la corriente submarina de Cromwell. En particular la zona litoral centro meridional, está sometida a la influencia de la corriente fría de Humboldt también conocida como corriente Ecuatorial Sur y a la acción esporádica de un flujo de agua caliente procedentes del golfo de Panamá anteriormente conocido como la “Corriente del Niño”, actualmente reconocida como un fenómeno y denominada El Niño Oscilación Sur (ENOS) (Fig. 3). Cada siete años aproximadamente, este fenómeno toma mayor amplitud conduciendo aguas anormalmente calientes provocando cambios imprevistos en los sistemas meteorológicos de todo el mundo, especialmente en las regiones tropicales. La temperatura promedio del agua es de  $> 25^{\circ}\text{C}$  y una salinidad de  $< 34$  ppm (Schneider *et al.* 2004, Negrete, 2007).



**Figura 3.** Sistema general de corrientes superficiales del Océano Pacífico sur (Schneider *et al.* 2004)

La corriente fría de Humboldt, fluye en dirección norte a lo largo de la costa occidental de Sudamérica, desde las costas del sur de Chile, pasando por Perú y Ecuador; esta corriente es muy fría debido a que sus aguas emergen desde zonas profundas, donde tienen temperaturas en torno a los  $4^{\circ}\text{C}$ . Por este motivo, la temperatura de estas aguas es entre  $5$  y  $10^{\circ}\text{C}$  más fría de lo que debería ser, incluso en las proximidades del

Ecuador. La temperatura promedio es  $< 22^{\circ}\text{C}$  y presenta una salinidad mayor a los 35 ppm (Negrete, 2007).

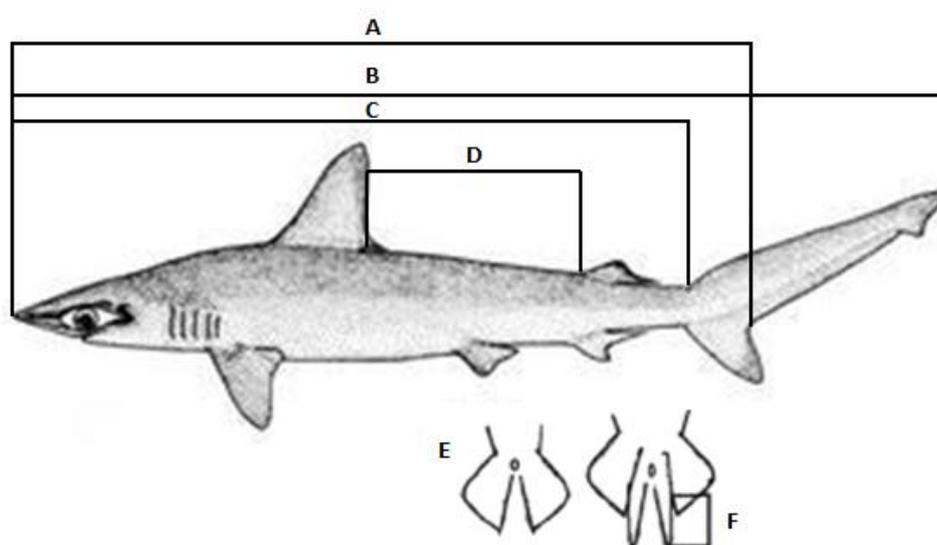
Entre estas dos masas de agua existe una zona de transición conocida como el frente ecuatorial, la cual se caracteriza por una marcada variación estacional. Esta consiste en dos periodos: el verano que va desde enero hasta abril, e invierno que va desde julio a octubre. Los meses restantes se los considera como periodos de transición entre las dos estaciones. Durante la época del verano, las aguas cálidas de la corriente del Niño invaden la costa Ecuatoriana incluyendo a Puerto López hasta la punta de Santa Elena. En esta época la temperatura del agua fluctúa entre los  $25$  a  $27^{\circ}\text{C}$  y la salinidad se encuentra entre los 33,0 ppm a los 33,8 ppm y la cantidad disponible de nutrientes es baja. Durante el invierno, la característica oceanográfica más significativa es la presencia del frente ecuatorial, esta exhibe una fuerte gradiente termo-halina entre  $1^{\circ}\text{S}$  con una temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  y una salinidad de 33,6 ppm; y  $2^{\circ}\text{S}$  con  $19^{\circ}\text{C}$  y 35,0 ppm y llega hasta los 30 o 40 metros de profundidad (Negrete, 2007; Bravo y Ponce, 2011).

### **3.2. Fase de campo**

Se realizó una observación de seis meses en el puerto de desembarque de pesca artesanal de Puerto López, junto con los registros de los desembarques de tiburones proporcionados por la Fundación Equilibrio Azul, se determinó la especie más abundante. Según la información proporcionada por el Instituto de Pesca del Ecuador (INP) y la Subsecretaría de Recursos Pesqueros (2011), para el caso de este puerto una de las especies más significativas en términos de abundancia durante todo el año es *Sphyrna zygaena* o cachuda blanca, por lo que se procedió a realizar el estudio de edad y crecimiento con esta especie (SRP, 2011).

Los muestreos se realizaron en el puerto de desembarque pesquero del cantón Puerto López, provincia de Manabí, Ecuador. Debido a las características biológicas que presentan los tiburones, el muestreo se realizó desde Diciembre del 2012 a Diciembre del 2013. La frecuencia de muestreo fue de 16 días por mes, y de cuatro horas por día durante las mañanas aprovechando la abundancia de pesca desembarcada durante esas horas (Briones y Armijos, 2012).

De todos los individuos de la especie *Sphyrna zygaena* que desembarcaron en el puerto proveniente de la pesca artesanal, se determinó el sexo y se realizaron las medidas de los individuos con una cinta métrica graduada (cm). Las medidas que se tomaron son las siguientes: longitud total (LT), longitud furcal (LF), longitud pre caudal (LPC) y longitud interdorsal (LID) (Fig. 4, Fig. 5). Dentro de los aspectos reproductivos se determinó el grado de madurez sexual, según los criterios de Liuet *al.* (1999). En las hembras se observó la apertura cloacal y estado de madurez de los órganos reproductivos internos, y en los machos se midió la longitud de los cláspers, rotación, grado de calcificación, apertura del rifiodón y la presencia de semen.

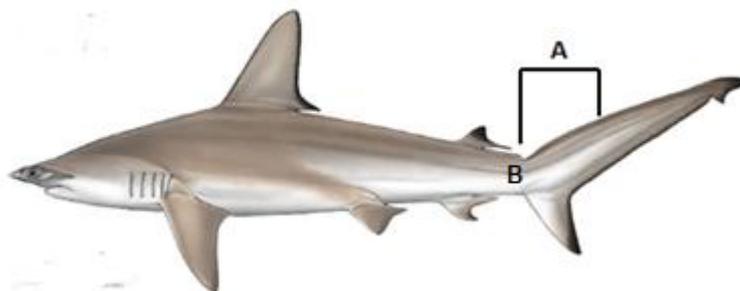


**Figura 4.** Medidas tomadas en los individuos muestreados. A (Longitud furcal), B (Longitud total), C (Longitud precaudal), D (Longitud interdorsal), E (Apertura de la cloaca), F (Longitud del mixoptergio).

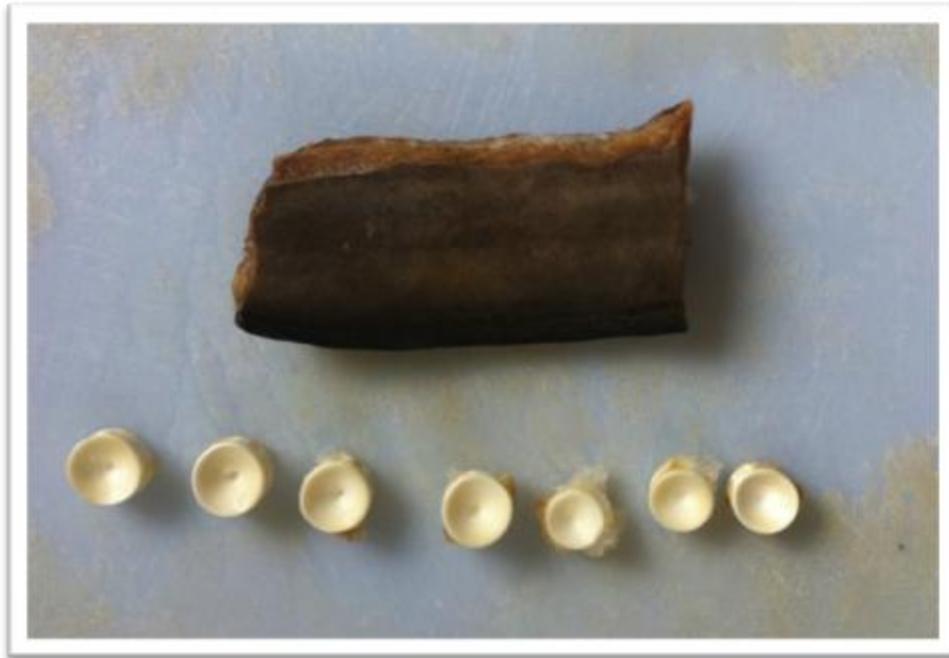


**Figura 5.** Toma de medidas de los individuos en la playa de Puerto López, Ecuador.

Una vez que los individuos fueron medidos se los marcó en la región ventral y en la aleta caudal para poder identificarlos cuando sean eviscerados. La muestra consistió en la toma de las diez primeras vértebras de la cola ubicadas después de la fosa precaudal (Fig. 6), dada la facilidad de obtención de la muestra en esta zona. Una vez recolectadas las vértebras se colocaron en fundas herméticas etiquetadas y fueron congeladas para su posterior traslado al laboratorio de la Universidad Internacional del Ecuador en Quito (Fig. 7) (Garza, 2004; Cailliet *et al.* 1983).



**Figura 6.** *Sphyrna zygaena*, región anterior de la aleta caudal, A. zona de extracción de la muestra, B. Fosa precaudal.



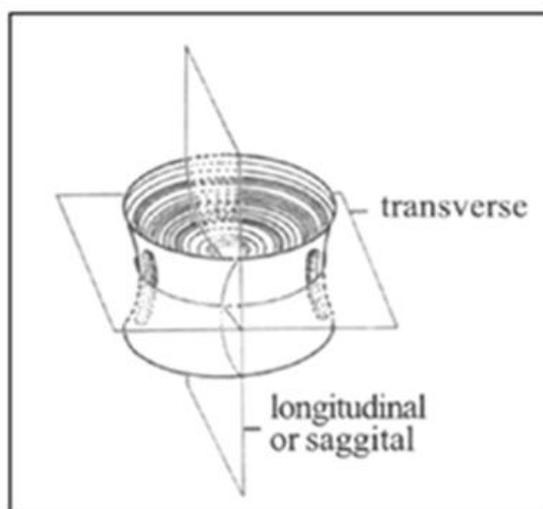
**Figura 7.** Segmento tomado de la región caudal del tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*) y las vértebras obtenidas.

### 3.3. Fase de laboratorio

Se procedió a remover el tejido conectivo y muscular, los arcos neural y hemal que rodean las vértebras con ayuda de pinzas, agujas de disección y cuchillos. Luego se procedió a hervir las vértebras por 15 minutos con el fin de ablandar el tejido cartilaginoso sobrante que rodea los huesos. Finalmente se sumergieron las vértebras en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 10% por un periodo de cinco minutos. Se enjuagaron con agua para remover los restos de cloro y se dejaron secar bajo sombra por 48 horas. Una vez que estuvieron totalmente secas, se guardaron las vértebras en fundas junto con su respectiva etiqueta con el código que incluye la especie, el número de muestra, la fecha y el lugar de recolección (Liu *et al.* 1999; Jounget *al.* 2008; Cailliet y Goldman, 2004).

Para la lectura de bandas se agruparon a los individuos en intervalos de 5 cm de diferencia de longitud total. Se seleccionó la vértebra más grande de los individuos

escogidos y estas fueron seccionadas sagitalmente (Fig. 8) con ayuda de una cortadora manual Dremel 400 XPR de doble cuchilla adiamantada, con espesores de 400 a 600  $\mu\text{m}$ , que da como resultado un corte en forma de corbatín que incluye el foco de la vértebra (Fig. 9). Las vértebras que al ser cortadas no alcanzaron el espesor deseado fueron remojadas en agua y posteriormente lijadas con una lija de agua fina de P-320 granos.



**Figura 8.** Diagrama de los planos de corte que se pueden realizar en una vértebra de tiburón (Cailliet y Goldman, 2004).



**Figura 9.** Corte transversal realizado por Dremel 400 XPR de doble cuchilla.

Se realizaron pruebas de tinción con azul de metileno, rojo de alizarina y cristal violeta. Se mantuvo como punto de comparación un corbatín sin ningún tipo de tinción (Fig. 10) (Coelho *et al.* 2011; Cailliet y Goldman, 2004; Cailliet *et al.* 2012).

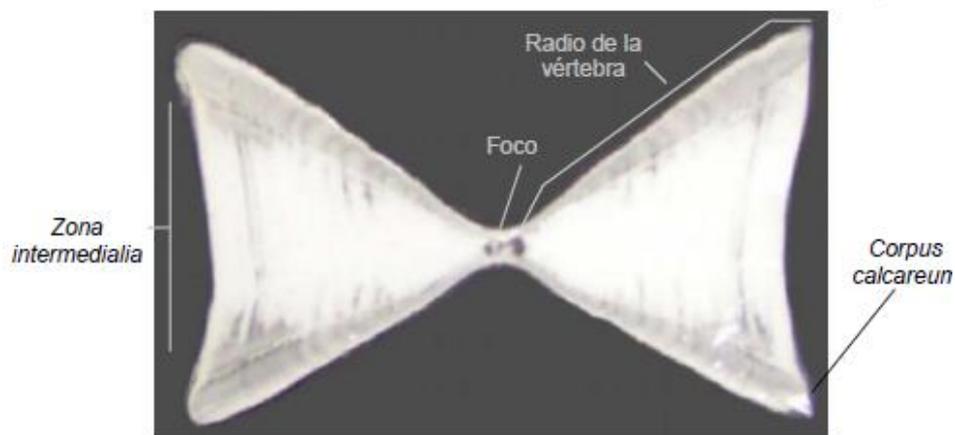


**Figura 10.** Corbatín sin tinción obtenido del corte sagital de la vértebra.

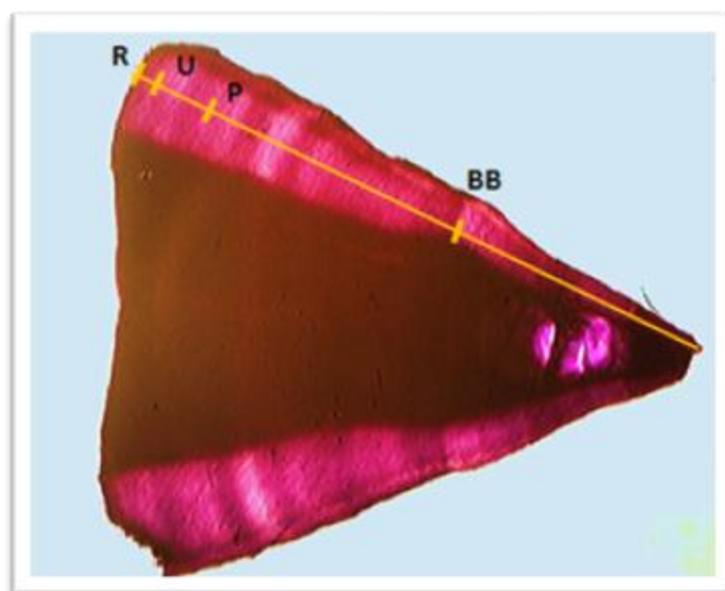
El patrón de lectura que se siguió fue de una banda calcificada (opaca) y una banda menos calcificada o hialina (clara) que tienden a formarse en las diferentes estaciones, invierno y verano respectivamente (Cailliet y Goldman, 2004; Goldman, 2005). Para facilitar la lectura de las bandas se empleó un estereoscopio con una cámara digital conectada a un ordenador. En el equipo se tomaron imágenes digitales de cada vértebra y se procesaron con el programa Phenix Micro ImageAnalysis Software 3.0, donde se identificó el tipo de anillo formado en el margen y se midió el radio (R) y la distancia del foco (F) al borde exterior de la última (U) y penúltima (P) banda translúcida completa. También se tomó la distancia del foco a cada una de las bandas del corpus calcareum (Fig. 11 y 12).

Durante el conteo de bandas se realizaron tres repeticiones de lectura por cada vértebra, las cuales fueron realizadas por dos lectores diferentes de forma independiente, sin

conocer la talla ni el sexo de los individuos, y se validaron únicamente las lecturas donde ambos lectores concuerden (Briones y Armijos, 2012; Cailliet y Goldman, 2004; Garza, 2004; Coelho *et al.* 2011). En los animales de más edad la lectura se dificultó, ya que las bandas tienden a agruparse estrechamente en los bordes de las vértebras y son confundidas como una sola banda, causando una subestimación de la edad de los individuos (Garza, 2004).



**Figura 11.** Diagrama del corte sagital de una vértebra y sus partes (Garza, 2004).



**Figura 12.** Corbatín de 5µ teñido con cristal violeta. Las medidas tomadas donde: R = radio de la vértebra, U = última banda formada, P = penúltima banda formada, BB = banda de nacimiento.

## ANÁLISIS DE DATOS

### 3.3.1. Precisión y sesgo

Para determinar el porcentaje de precisión entre ambos lectores, para cada una de las técnicas de lectura, se estimó un porcentaje de acuerdo entre lectores (PA).

$$PA = \frac{\text{No. de lecturas iguales}}{\text{No. de lecturas}} * 100$$

Se evaluó el porcentaje de error promedio entre ambos lectores (APE) propuesto por Beamish y Fournier (1981).

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

Dónde: N= el número de individuos, R= el número de veces que se estima la edad del pez,  $X_{ij}$ = la edad i determinada para el j individuo,  $X_j$ = la edad promedio calculada para el j pez.

Finalmente se estimó el coeficiente de variación (Zárate, 2010; Coelho *et al.* 2011).

### 3.3.2. Estructura de tallas

Para la estructura de tallas de los organismos capturados se elaboraron histogramas de distribución de frecuencias de los organismos con un intervalo de longitud total de 5 centímetros. También se realizó la estructura de tallas por sexo, separando machos y hembras. Se empleó la prueba de Mann Whitney para determinar si existen diferencias significativas entre los dos sexos (Garza, 2004; Briones y Armijos, 2012).

### **3.3.3. Estructura de edades**

El análisis de la estructura de edades se llevó a cabo por medio de la frecuencia de aparición de las edades obtenidas, separando los individuos en machos y hembras. Se realizó un histograma que indica la frecuencia de edades en los diferentes intervalos de tallas para observar la tendencia de distribución de los datos muestreados (Garza, 2004). Se empleó la prueba de Mann Whitney para determinar si existen diferencias significativas entre los dos sexos (Garza, 2004; Briones y Armijos, 2012).

### **3.3.4. Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del organismo**

Con las medidas del radio de las vértebras y de la longitud total de los individuos se estableció la relación existente entre el crecimiento de las vértebras (formación de bandas) y la talla mediante un análisis de regresión lineal simple (Briones y Armijos 2012, Garza 2004). La ecuación empleada fue:

$$LT= a+bR$$

Donde: LT= longitud total, R= radio, a y b= constantes obtenidas por la regresión lineal

### **3.3.5. Curvas de crecimiento**

Para describir el crecimiento del tiburón martillo se ajustó el modelo de crecimiento empleando los datos obtenidos anteriormente de longitud total y edad. Debido a la falta de individuos de tallas grandes, se empleó el retrocálculo de Fraser-Lee para obtener datos de la talla a edades pretéritas (Briones y Armijos, 2012).

Se obtuvo el promedio de la longitud total de los individuos muestreados separados por edad empleando una clave de edad-longitud por sexo y se determinaron los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy (VBGF; 1938) (Garza 2004).

$$Lt = L_{\infty} (1 - \exp^{-k(t-t_0)})$$

Dónde:  $L_t$  = longitud total del organismo a la edad  $t$ ,  $L_{\infty}$  = longitud máxima teórica,  $k$  = la tasa por la cual la curva se acerca a la asíntota,  $t_0$  = edad teórica a una edad cero,  $t$  = edad.

Los parámetros fueron estimados usando mínimos cuadrados no lineales (NLS). El modelo fue ajustado mediante verosimilitud, utilizando la herramienta “Solverfunction” de Microsoft Excel. Las diferencias resultantes de las curvas de crecimiento de los dos sexos se sometieron a pruebas de tasa de verosimilitud usando el chi-cuadrado (Coelho *et al.* 2011; Briones y Armijos, 2012; Cailliet y Goldman, 2004; Goldman, 2005).

### 3.3.6. Verificación de la formación de las bandas de crecimiento

Para verificar la periodicidad de formación de las bandas de crecimiento en las vértebras, se realizó un seguimiento mensual del incremento marginal a lo largo de un año mediante el análisis de incremento marginal (MIR) propuesto por Natason *et al.* (1995). Para determinar la distribución mensual de los tipos de borde se calculó el porcentaje de vértebras con bordes oscuros y con bordes claros para cada mes (Briones y Armijos, 2012; Garza, 2004; Goldman, 2005). Los resultados del MIR se graficaron con el mes de captura para determinar la periodicidad de formación de bandas. Además, la distribución mensual del MIR se relacionó con el promedio mensual de la temperatura superficial del mar durante el 2013 (<http://www.inocar.mil.ec/web/>).

$$MIR = \frac{(R - R_n)}{(R_n - R_{n-1})}$$

Dónde:  $R$ = radio vertebral,  $R_n$ = radio de la última banda de crecimiento formada y  $R_{n-1}$ =radio del penúltimo anillo completo.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

### 4.1. Precisión y sesgo

Se recolectaron vértebras de un total de 210 individuos, 106 machos (54-194 cm LT) y 104 hembras (54-283 cm LT). De las cuales se leyeron un total de 106 vértebras (48 machos y 54 hembras) y se identificaron un máximo de 15 marcas en machos y 19 en hembras. Durante la lectura de las bandas, se descartaron un total de 4 muestras (3 machos y 1 hembra), ya que no se llegó a un consenso entre ambos lectores, dando un total de 102 muestras analizadas.

El porcentaje de error promedio (APE) fue de 1.89% y el coeficiente de variación (CV) de 1.711%, lo que indica un alto porcentaje en la precisión de lecturas entre lectores. El porcentaje de precisión (PA) de 72.12% de las lecturas coincidieron, mientras que un 25.96% tuvo una diferencia de  $\pm 1$  banda de crecimiento y un 1.93% con  $\pm 2$  bandas de crecimiento.

### 4.2. Estructura de tallas

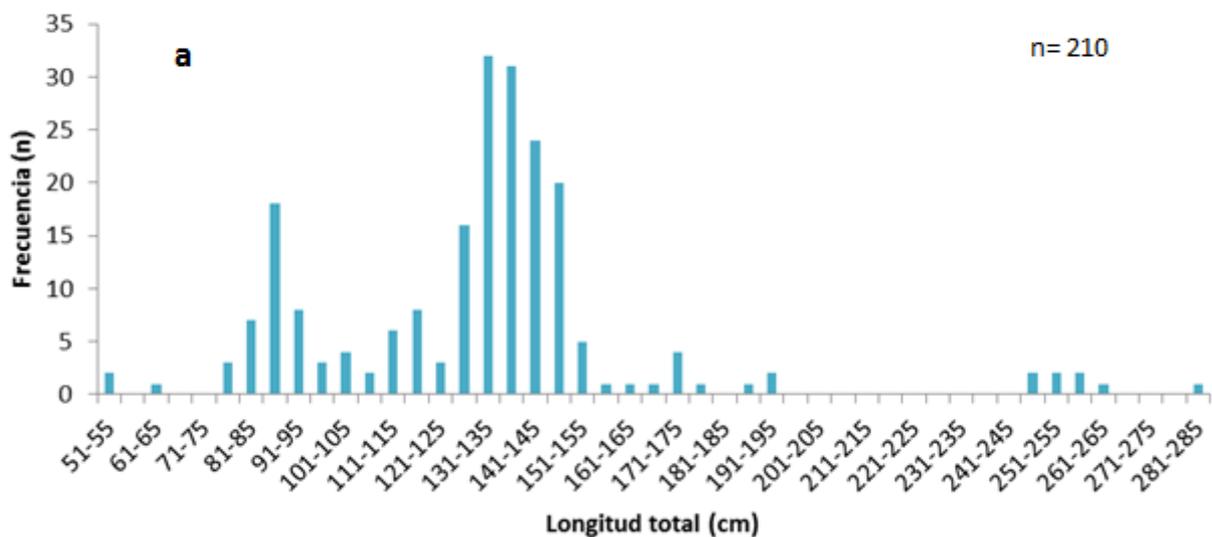
Durante el periodo de campo se registraron un total de 8705 tiburones, de los cuales 4586 (54-194 cm LT) fueron machos y 4119 (54-283 cm LT) fueron hembras (Tabla 2).

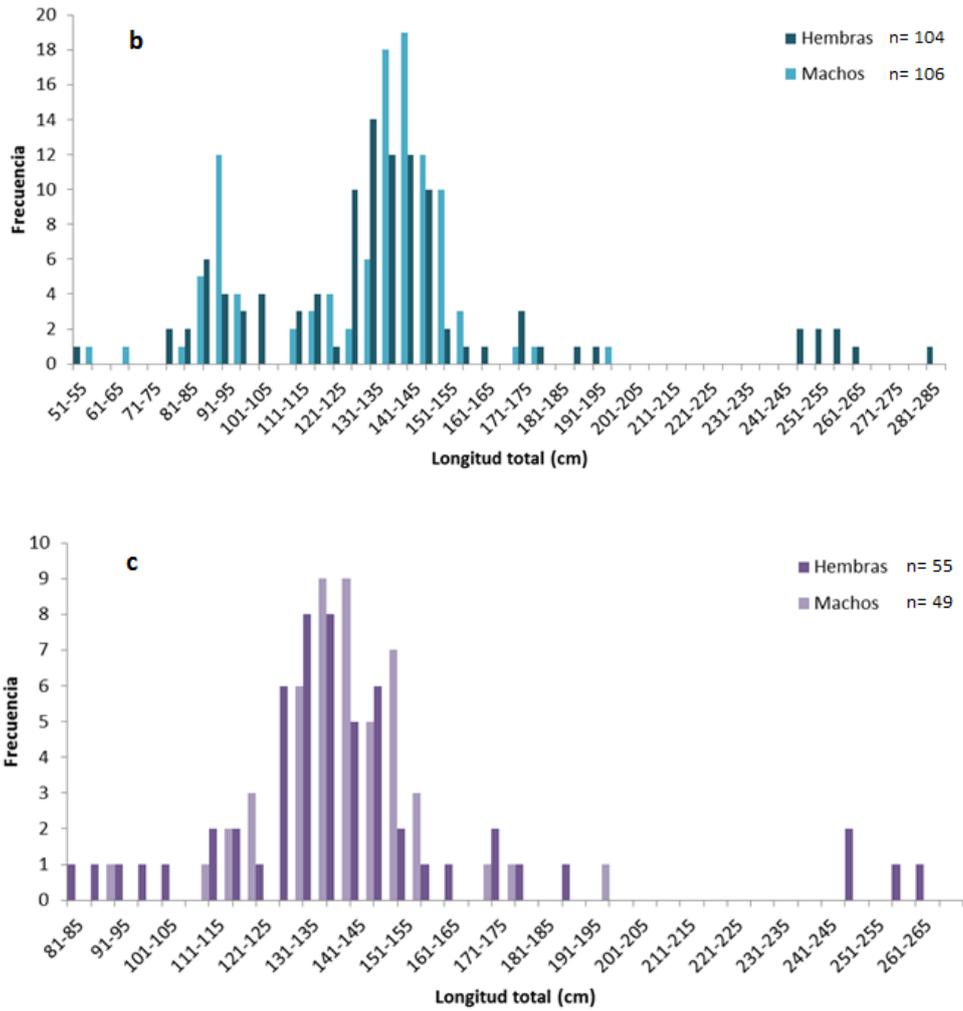
**Tabla 2.** Número de organismos registrados de tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*) en el Pacífico Oeste descargado en Puerto López (periodo diciembre-enero 2013). En paréntesis el número de individuos de los que se obtuvo una muestra de vértebras.

Mes	Total machos	LT (cm) min-max	Total hembras	LT (cm) min-max	Total
Enero	71(19)	65-151	66(25)	125-254	137(44)
Febrero	67(32)	72-152	53(20)	74-151	120(52)
Marzo	376(20)	73-186	276(15)	67-175	652(35)
Abril	1330(11)	70-163	1034(11)	80-157	2364(22)
Mayo	2273(7)	86-194	2195(4)	88-138	4468(11)
Junio	188(1)	101-180	156(3)	93-206	334(4)
Julio	69(3)	93-148	70(4)	94-249	139(7)
Agosto	31(2)	105-139	42 (8)	102-187	73(10)
Septiembre	66(3)	104-174	78(3)	99-252	144(6)

<b>Octubre</b>	56(5)	110-181	75(5)	110-175	131(10)
<b>Noviembre</b>	22(1)	54-129	46(5)	54-283	68(6)
<b>Diciembre</b>	37(2)	118-153	28(1)	97-153	65(3)
<b>Total</b>	<b>4586(106)</b>	<b>54-194</b>	<b>4119(104)</b>	<b>54-283</b>	<b>8705(210)</b>

La estructura de tallas de *S.zygaena* muestreados presentó dos grupos (Fig. 13a). El primer grupo está compuesto por neonatos y juveniles (54-150 cm LT) y el segundo de adultos (>150 cm LT). Los individuos más frecuentes en machos fueron aquellos comprendidos en el rango 130-150 cm LT (55.66%); mientras que para las hembras fueron aquellas dentro de los 126-150 cm LT (55.76%) (Fig, 13c; Tabla 2). La talla promedio de los machos fue de  $137 \pm 57$  cm LT, y para las hembras de  $145 \pm 116$  cm LT (Fig. 13b). Las diferencias de talla entre machos y hembras no fueron significativas ( $Z = -1.418$ ;  $p = 0.156$ ).

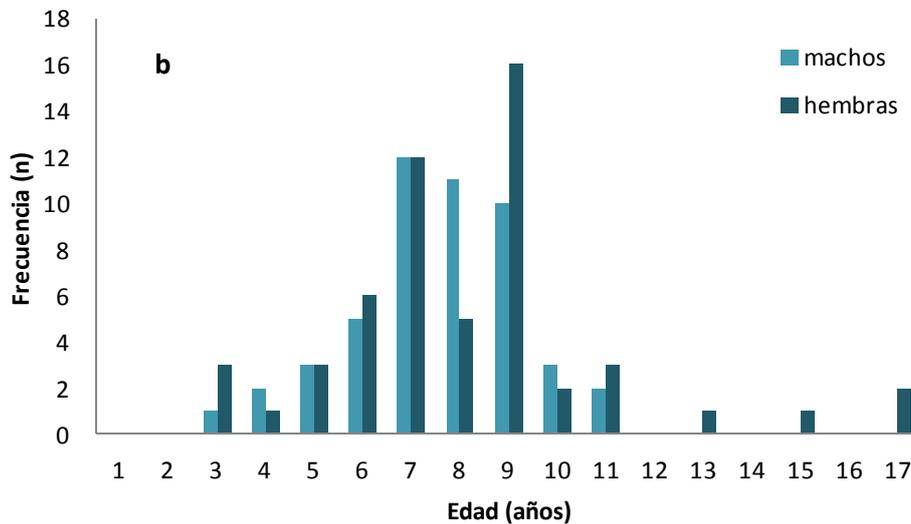
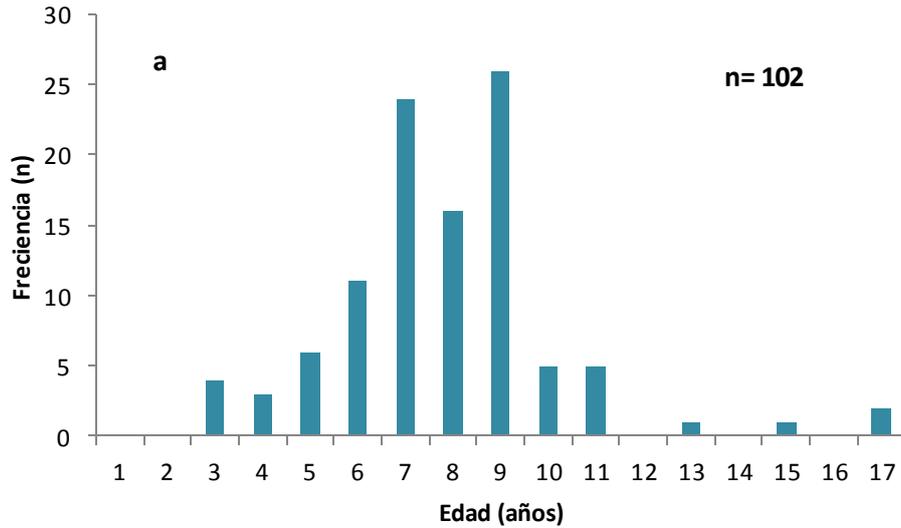




**Figura 13.** Distribución de frecuencias totales de tallas (a), y distribución de frecuencias para machos y hembras (b) distribución de frecuencias de individuos analizados (c) de la captura de tiburón martillo en Puerto López, Ecuador.

### 4.3. Estructura de edades

La estructura de edades de los individuos muestreados en el puerto de desembarque de pesca artesanal de Puerto López presenta individuos entre 3 a 17 bandas de crecimiento (81-261 cm LT). La distribución de edades indicó un mayor número de individuos entre los 6 a 9 años (72.12%) (Fig. 14a), con un máximo de 11 años en machos y de 17 años en hembras (Fig. 14b).



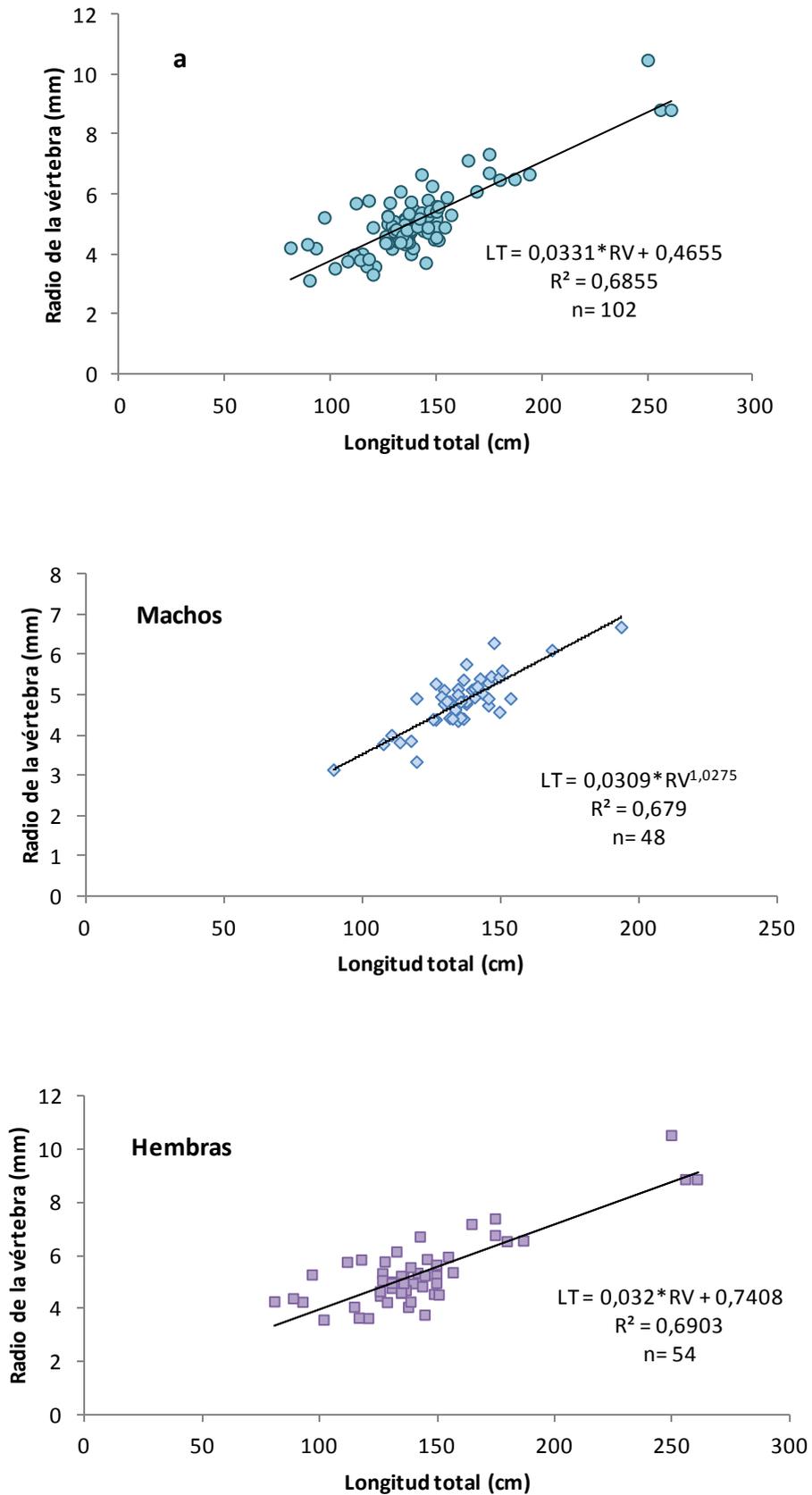
**Figura 14.** Distribución de frecuencias totales de edad (a), y distribución de frecuencias para machos y hembras (b) de la captura de tiburón martillo en Puerto López, Ecuador.

En los machos, se encontraron individuos con edades entre 3 a 11 años (90-194 cm LT), presentando un mayor número de individuos entre 6-9 años. Las hembras mostraron edades entre 3-17 años (81-261 cm LT) presentando un mayor número de individuos entre las 6-9 bandas de crecimiento (Fig. 14b). No se encontraron diferencias significativas entre sexos en relación a la estructura de edades ( $Z = -0.575$ ;  $p = 0.56$ ).

Para obtener la estructura de edades de los individuos muestreados se empleó una clave edad-longitud por sexo, la cual se utilizó para realizar las curvas de crecimiento.

#### **4.4. Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del organismo**

Se detectó una relación significativa de tipo lineal ( $y = 0.0331x + 0.4655$ ;  $R^2 = 0.6855$ ) entre el crecimiento de la vértebra y el crecimiento somático para machos y hembras (Fig. 15a) lo que sugiere que el incremento del tiburón en su longitud total es proporcional al radio de su vértebra. Del total de individuos (210) se analizaron las vértebras de 102 individuos (48 machos y 54 hembras). El modelo que mejor describió la relación entre el radio de la vértebra y la longitud total en los machos, fue el modelo logarítmico ( $y = 0.0309x^{1.0275}$ ;  $R^2 = 0.679$ ; Fig. 15). Por otro lado, en las hembras el modelo que mejor se ajustó a la relación (R vs LT) fue el modelo lineal ( $y = 0.032x + 0.7408$ ;  $R^2 = 0.6903$ ; Fig. 14).



**Figura 15.** Relación total entre el radio de la vértebra y la longitud total del individuo (a), y relación entre el radio de la vértebra y longitud total para machos y hembras del tiburón martillo en Puerto López, Ecuador durante el 2013.

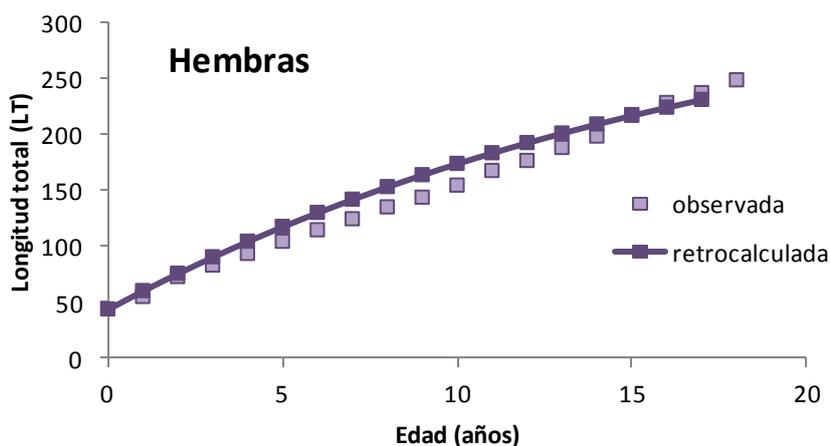
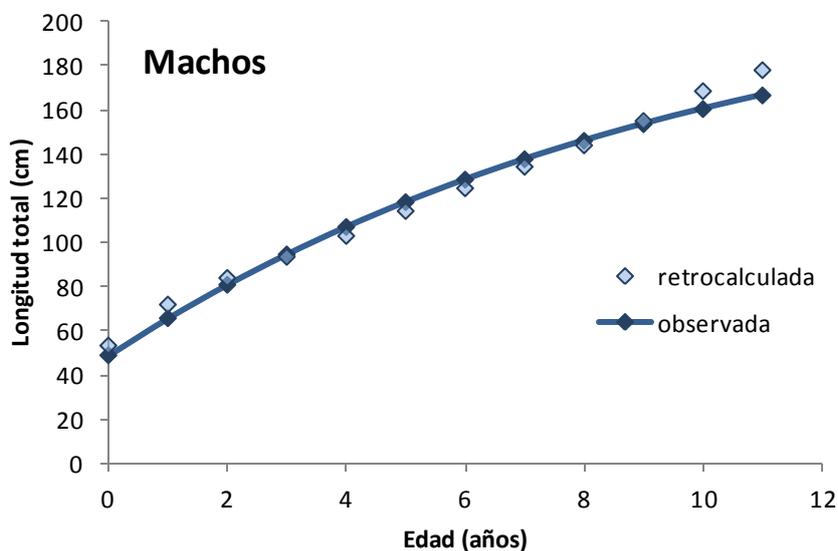
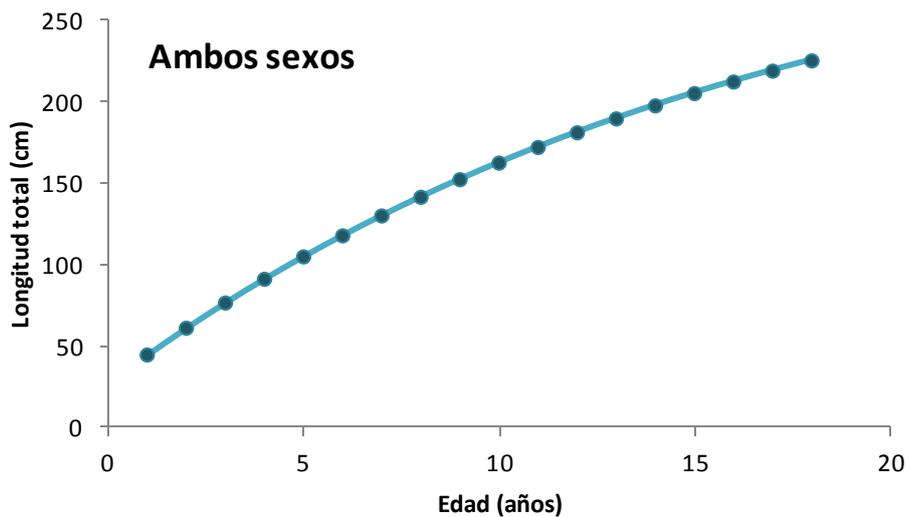
#### 4.5. Curvas de crecimiento

Los coeficientes de la regresión RV-LT (Radio de la vértebra – Longitud total) por cada sexo (machos:  $a=0,0226$  y  $b=0,0353$ ; hembras:  $a=0,7408$  y  $b= 0,032$ ) se incorporaron a la función de retrocálculo y se estimaron las tallas a edades pretéritas. A los datos de talla retrocalculada a la edad para machos y hembras se les ajustó el modelo von Bertalanffy para describir el patrón de crecimiento, se calculó la tasa absoluta de crecimiento ( $k$ ) y el porcentaje de longitud asintótica por año ( $L_{\infty}$ ) (Tabla 3). Los parámetros del modelo para ambos sexos fueron:  $L_{\infty}= 327.3$  cm LT,  $k= 0.059$ ,  $t_0= -2.45$  y  $r^2= 0.9813$ ; para machos fueron:  $L_{\infty}= 225.49$  cm LT,  $k= 0.09$  y  $r^2= 0.9964$  y para las hembras:  $L_{\infty}= 356$  cm LT,  $k= 0.053$  y  $r^2= 0.9848$ . Estos resultados se compararon con una tabla de parámetros obtenidos en otros países en *Sphyrna zygaena* y en *Sphyrna lewini* (Tabla 4).

A partir de la LT estimada por sexo se calculó la tasa absoluta de crecimiento por año (Tabla3). El crecimiento presentó una tendencia hacia incrementos menores en función a la edad y fueron similares para machos y hembras (Fig. 16) (Chi-cuadrado= 0.23;  $p>0.05$ ).

**Tabla 3.** Tasa de crecimiento absoluta anual por edad del tiburón martillo capturado en Puerto López, Ecuador durante el año 2013.

<b>Hembras</b>			<b>Machos</b>		
<b>Edad (años)</b>	<b>LT (estimada VBGF)</b>	<b>Crecimiento anual (cm)</b>	<b>Edad (años)</b>	<b>LT (estimada VBGF)</b>	<b>Crecimiento anual (cm)</b>
0	44,10	16,39	0	48,85	16,75
1	60,49	15,53	1	65,60	15,16
2	76,02	14,71	2	80,76	13,73
3	90,73	13,94	3	94,49	12,42
4	104,67	13,21	4	106,92	11,25
5	117,88	12,51	5	118,16	10,18
6	130,39	11,86	6	128,34	9,21
7	142,24	11,23	7	137,56	8,34
8	153,48	10,64	8	145,90	7,55
9	164,12	10,08	9	153,45	6,83
10	174,20	9,55	10	160,28	6,19
11	183,76	9,05	11	166,46	
12	192,81	8,58			
13	201,39	8,13			
14	209,51	7,70			
15	217,21	7,29			
16	224,50	6,91			
17	231,41				



**Figura 16.** Promedio de la talla observada (marcadores oscuros), retrocalculada (marcadores claros) por edad y curvas del modelo de von Bertalanffy para machos y hembras del tiburón martillo, capturados en Puerto López, Ecuador durante el año 2013.

**Tabla 4.** Resumen de los parámetros de crecimiento para el tiburón martillo reportados por diferentes autores.

<b>Autor</b>	<b>Especie</b>	<b>Zona</b>	<b>Sexo</b>	<b><math>L_{\infty}</math> (cm)</b>	<b>k (año-1)</b>	<b><math>t_0</math> (años)</b>
Zárate (2010)	<i>S. lewini</i>	Golfo de Tehuantepec	Macho	301	0,13	-0,74
			Hembra	305	0,13	-0,51
Chenet <i>al.</i> (1990)	<i>S. lewini</i>	Noreste de Taiwán	Macho	321	0,22	-0,7
			Hembra	320	0,25	-0,4
Anislado y Robinson (2001)	<i>S. lewini</i>	Michoacán	Macho	336	0,13	-1,1
			Hembra	353	0,16	-0,6
Anislado <i>et al.</i> (2008)	<i>S. lewini</i>	Sinaloa	Macho	364	0,12	-1,2
			Hembra	376	0,1	-1,6
Andrade-González (1996)	<i>S. lewini</i>	Costa Mexicana del Pacífico	Machos	393	0,09	-1
			Hembras	398	0,09	-0,6
			Ambos	380	0,08	-0,8
Piercy <i>et al.</i> (2007)	<i>S. lewini</i>	Atlántico norte y Golfo de México	Machos	215	0,13	-1,6
			Hembras	233	0,09	-2,2
			Ambos	220	0,12	-2,2
Righthy y Castro (1990)	<i>S. lewini</i>	Mazatlán	Ambos	236	0,18	-0,002
Branstetter (1987)	<i>S. lewini</i>	Noroeste Golfo de México	Ambos	329	0,07	-2,2
Holden (1974)	<i>S. lewini</i>	Reino Unido	Ambos	309	0,05	-1
Carlson y Parsons (1977)	<i>S. tiburo</i>	Golfo de México	Macho	897	0,69	-
			Hembra	1226	0,28	-
Garza (2007)	<i>S. zygaena</i>	Baja California, México	Ambos	302	0,139	-2,45
Coelho <i>et al.</i> (2011)	<i>S. zygaena</i>	Atlántico Este Ecuatorial	Machos	271	0,06	-9,4
			Hembras	285	0,07	-7,3
			Ambos	278	0,06	-8,3

$L_{\infty}$  = Longitud asintótica o longitud total teórica

**k** = tasa de crecimiento

**$t_0$**  = edad teórica a una edad 0

#### **4.6. Validación y verificación**

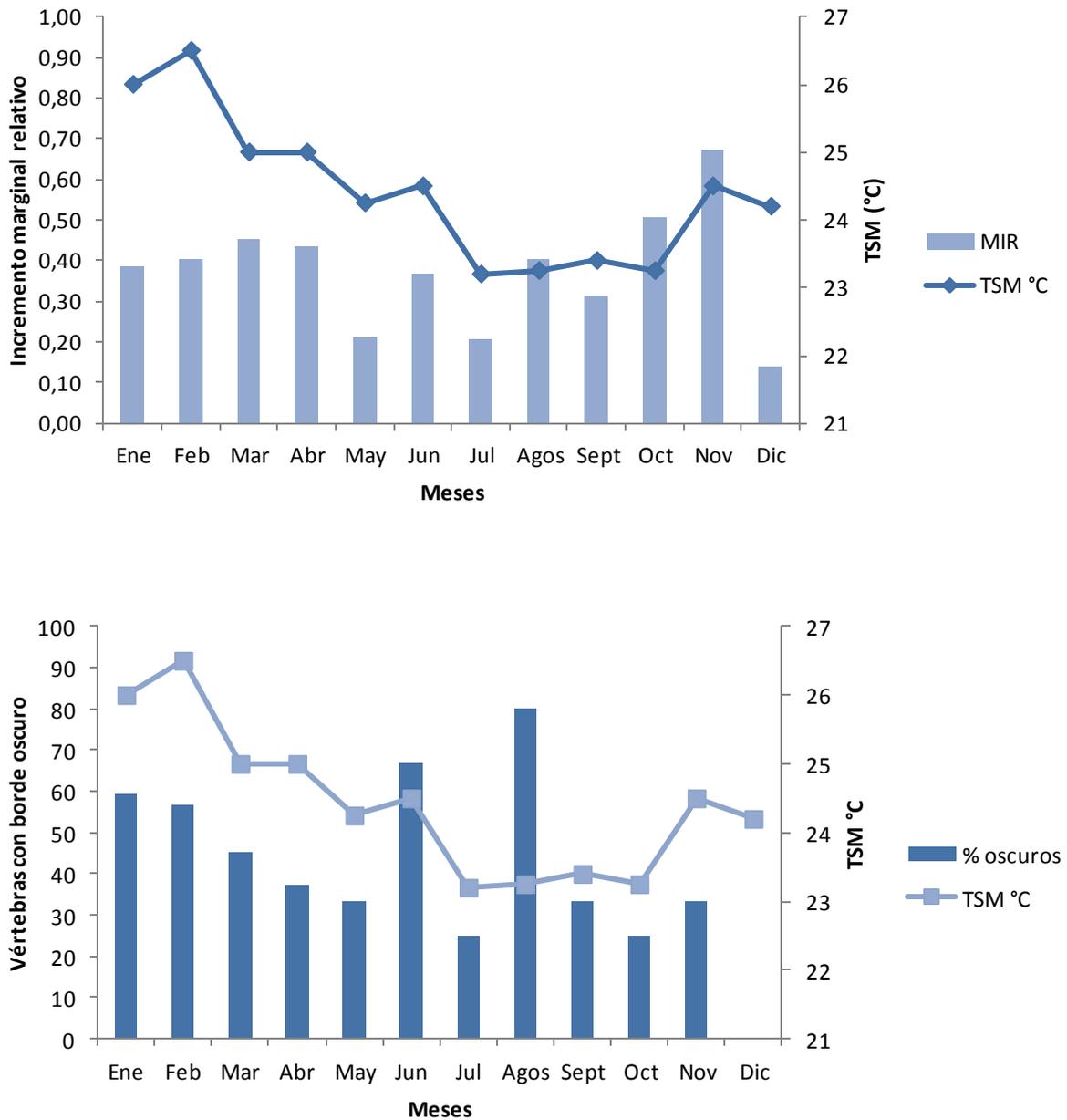
Para determinar la periodicidad de la formación de las bandas de crecimiento se estimó el porcentaje mensual de vértebras con borde oscuro, y el promedio por mes del incremento marginal (Fig. 17). En el mes de diciembre hubo ausencia de bordes oscuros. Además, se observaron dos mínimos en el porcentaje de vértebras con borde opaco: mayo y julio y septiembre a noviembre. Los valores más bajos en la tabla de porcentaje de bandas oscuras coinciden con los valores más altos de incremento marginal. Al relacionar el porcentaje de vértebras con borde oscuro se observa una tendencia de mayor porcentaje de bordes opacos que coincide con una mayor temperatura promedio.

Según los gráficos, hay una tendencia de formación de las marcas de crecimiento las cuales se depositan anualmente, en el mes de diciembre, mes en el cual se observa ausencia de bordes oscuros y de crecimiento marginal, pudiendo inferir que la banda clara se terminaría de formar en este mes.

El incremento marginal (IM) fue más bajo en el mes de diciembre (0.14). Los bordes claros predominaron en los meses de julio-diciembre (Fig. 17), a excepción del mes de agosto donde se observa una mayor cantidad de bordes oscuros, lo que se puede deber al bajo número de muestras para este mes.

Sin embargo, los análisis de incremento marginal y de porcentaje de bordes opacos no tuvieron suficiente contundencia; no obstante, debido a la tendencia presentada en ambos gráficos se asume que una banda de crecimiento es formada anualmente a finales del año.

Al relacionar el porcentaje de vértebras con borde opaco y el incremento marginal con el promedio mensual de la temperatura superficial del mar (TSM), no se encontraron relaciones significativas (Coef. de Spearman,  $p > 0.05$ ).



**Figura 17.** Variación mensual del porcentaje de vértebras con borde oscuro, tasa de incremento marginal (barras) y temperatura superficial del mar (TSM) promedio por mes (línea).

## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos durante el año de monitoreo y colección de muestras, nos indican que el tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*) se encuentra presente en Puerto López a lo largo de todo el año. Durante el periodo de estudio se observó un mayor número de registros en los meses de marzo a junio, con un mayor porcentaje de individuos neonatos y juveniles para ambos sexos (Tabla 2, Figura 13a). En el caso de las hembras, se observaron hembras adultas, algunas con ovocitos maduros y otras con embriones. También se observó una baja frecuencia de machos adultos, ninguno de estos pudieron ser muestreados debido a la poca colaboración de los pescadores. Esta abundancia de juveniles y hembras grandes puede darse debido a dos factores, el primer factor se da como consecuencia del comportamiento reproductivo que presenta la especie, la cual se aproxima a las costas a parir sus crías, y estas a su vez forman grupos grandes que habitan aguas superficiales hasta convertirse en adultos (Bejarano, 2007; Álava, 2009; Bolaño, 2009; Zárate, 2010). El otro factor influyente es el arte y zona de pesca de Puerto López donde los pescadores emplean como principal arte de pesca el trasmallo de superficie en varios puntos localizados entre la Isla de la Plata, la isla de Salango y el bajo Copé donde se conoce que existen grandes grupos de tiburones juveniles que se encuentran sobretodo en aguas someras, a diferencia de lo que ocurre en el puerto de Manta donde se emplea el palangre tiburonero varias millas mar adentro (Mera com. pers. 2013).

### 5.1. Estructura de tallas

La longitud total máxima reportada para esta especie es de 420 cm LT y la talla al nacer varía entre 38 y 55 cm LT (Zárate, 2010). En el presente estudio el intervalo de tallas registrado para ambos sexos fue de 54 a 283 cm de LT (Tabla 2), lo que indica que el

estudio si contó con individuos neonatos, juveniles y adultos. En su estudio de edad y crecimiento en el 2010 para la costa sur de Oaxaca, Zárate registra tallas de 45 a 290 cm LT. Por otro lado, Garza (2004) obtuvo una frecuencia de tallas que varía entre los 110 a 283 cm LT. El intervalo de tallas obtenido durante el 2013, concuerda con los mismos reportados por Álava (2009), para la misma zona de estudio, donde la talla varió entre 52-281 cm LT. Si comparamos a Puerto López con otros puertos de Ecuador observamos que para los estudios relacionados con *Sphyrna zygaena* en Santa Elena la estructura de tallas varía entre 56 a 297 cm LT (Bolaño, 2009) y 56 a 199 cm (Bolaño, 2006). Aguilar *et al.* (2006) reportaron que para este año la longitud total de los individuos monitoreados en todos los puertos del país, fluctuó entre los 65 a 304 cm, existiendo un mayor número de individuos comprendidos entre los 75 a 134 cm LT. En el puerto de Manta, Martínez *et al.* (2007) reportaron que los individuos desembarcados desde septiembre del 2003 a diciembre del 2006 presentaron una longitud total entre 54 a 303 cm, siendo más comunes los individuos comprendidos entre los 90 a 149 cm. Esto indica que en todos los puertos pesqueros del país la estructura de tallas es similar, con tallas menores a 303 cm LT en los últimos 10 años.

La estructura de tallas del tiburón martillo durante el 2013 analizada en el presente estudio, mostró dos grupos de talla bien definidos, neonatos-juveniles y adultos. Similar estructura y composición fue reportada por Álava (2009) durante el 2008 en el mismo puerto. En el primer grupo la proporción de sexos fue de 0.89 hembras por cada macho. Mientras que en los adultos es evidente el dominio de hembras en la muestra (Figura 13a), esto representa una desventaja al momento de procesar las muestras, ya que para poder realizar una descripción más precisa de la composición de edades es necesario contar con un amplio rango de tallas, en especial de adultos para así poder determinar la edad de madurez sexual (Cailliet y Goldman, 2014). Un total de 11.041 individuos no

podieron ser identificados sexualmente. La menor proporción de machos adultos y hembras adultas de 200 a 250 cm LT, puede deberse a que estos se encuentren alejados de las costas, habitando las zonas pelágicas y profundas, excepto por las hembras adultas maduras sexualmente, que como ya se mencionó se desplazan a las costas para aparearse y parir (Klimley, 1987). Klimley sostiene que las hembras se dirigen a aguas de mayor profundidad cuando alcanzan una longitud de 140 cm LT, donde van en busca de presas pelágicas las cuales les brindan más energía para alcanzar la talla de reproducción de 220 cm LT. Esto coincide con la distribución de frecuencias por talla en la Figura 13a, donde hay mayor cantidad de registros de machos y hembras hasta los 155 cm de LT. En el caso de las hembras no se logró registrar ningún individuo comprendido entre 195 a 295 cm LT, y en el caso de los machos ningún individuo superior a los 194 cm. La abundancia de neonatos y hembras maduras sexualmente en las capturas de Puerto López y Santa Rosa, sugieren que las zonas de pesca cercanas a estos puertos pueden ser considerados como área de crianza para esta especie (Klimley, 1987; Zárate, 2010).

## **5.2. Precisión y sesgo**

Las lecturas de las bandas de crecimiento en la vértebras presentaron altos índices de reproducibilidad de acuerdo a los valores del APE (1.89%) y el alto porcentaje de acuerdo entre lectores (72.12%), además de tener un bajo coeficiente de variación (<2%). Estos valores concuerdan con los presentados por Zárate (2010). Sin embargo, son menores a otros relacionados con la misma especie, como en el estudio de Coehlo *et al.* (2011) (CV: 5.0 y APE: 5.8) y para otras especies de tiburón martillo como *Sphyrna lewini* CV: 5.52 y APE: 4.25 (Gallegos, 2009); CV: 3.7 y APE: 3.2 (Anislado-Tolentino *et al.* 2008). Estas diferencias entre los lectores se originan por dos causas: la experiencia del lector, y que las marcas de crecimiento no se encuentren legibles o

fáciles de interpretar, como resultado de cambios ambientales, en la dieta y por las migraciones (Zárate, 2010). Además, en algunas especies de tiburones con hábitos neríticos el patrón de marcaje en las bandas es menos obvio, debido a que los cambios ambientales son menores que a los que se someten aquellas especies con hábitos oceánicos. Este es el caso del género *Sphyrna*, reportado por varios autores (Chenet *et al.* 1990; Cailliet y Goldman, 2004; Garza, 2007; Zárate, 2010).

### **5.3. Estructura de edades**

Para cualquier estudio que requiera de la determinación de la edad mediante el conteo de bandas de crecimiento en una estructura calcificada, es necesario como primer paso la evaluación de la mejor técnica para resaltar las bandas, con el fin de obtener los mejores resultados de los conteos. Basados en pruebas preliminares y en el estudio realizado por Coelho *et al.* (2011), se efectuó la tinción de las vértebras con cristal violeta obteniéndose mejores resultados en las lecturas.

Según Cailliet y Goldman (2004), las vértebras y las espinas dorsales son las únicas estructuras a través de las cuales se puede estimar la edad en los elasmobranquios, siendo las vértebras las más frecuentemente utilizadas en la determinación de la edad en peces cartilaginosos. En el presente estudio, se emplearon vértebras obtenidas de la sección caudal para determinar la edad en *Sphyrna zygaena*, al igual que Garza (2004), y basados en Piercy (2006), quien en su estudio de edad y crecimiento utilizando vértebras cervicales, dorsales y caudales de *Carcharhinus plumbeus* y *Carcharhinus limbatus*, no encontró diferencias significativas en los tipos de vértebra.

En el presente estudio se leyeron hasta 28 marcas de crecimiento en las vértebras: 22 en machos y 28 en hembras, las cuales corresponden a 18 grupos de edad (0 a 17 años) en hembras y 12 grupos de edad en machos (0 a 11 años). Esta estructura de edad es

similar a la reportada para el este Ecuatorial del Océano Atlántico (Coelho *et al.* 2011) donde presentan una edad máxima de 21 años para machos y 18 años para hembras, con un mayor número de individuos en los grupos de 6 a 10 años para ambos sexos. Sin embargo, difiere del estudio realizado por Garza (2004), donde estima edades comprendidas desde 1-18 años, con una edad máxima de 18 años para las hembras y 16 años para los machos. A diferencia de los resultados obtenidos en el presente estudio y en el estudio de Coelho *et al.* (2011), existe una mayor frecuencia de individuos con edades comprendidas entre 1-3 años.

En otros estudios relacionados a la género *Sphyrna*, la edad máxima calculada por Chenet *al.* (1990) para *S. lewini* fue de 14 años; mientras que Anislado y Robinson (2001) observaron una edad máxima de 19 años. Gallegos (2009) estudió a los juveniles de *S. lewini* en la costa de Nayarit, donde determinó una edad máxima de 21 años para hembras y de 10 para machos, con mayor frecuencia de individuos de 2 a 6 años. Zárate (2010) estimó una edad máxima de 13 años en hembras y de 11 años en machos, con una mayor frecuencia de individuos de 5-9 años, para la misma especie en la costa sur de Oaxaca, México.

#### **5.4. Relación entre el radio de la vértebra y la longitud total del organismo**

Para que una estructura sea considerada como un indicador de edad, esta debe cumplir con tres parámetros: que no se reabsorba, que los patrones de las bandas de crecimiento sean producto de las diferencias en el crecimiento, y que exista un crecimiento proporcional entre dicha estructura y la longitud del organismo (Briones y Armijos, 2012).

En los estudios realizados para especies similares a *Sphyrna zygaena*, los coeficientes de determinación con relación radio de la vértebra-longitud total fueron los siguientes:

$r^2 = 0.80$ , para la especie *Sphyrna lewinien* las costas de Nayarit-México (Gallegos, 2009);  $r^2 = 0.77$ , para la misma especie en la costa este de Oaxaca-México; y  $r^2 = 0.98$ , en el Pacífico central en México. Los valores obtenidos en la presente investigación ( $r^2 = 0.69$ ), son menores a los obtenidos por otros autores. Esta diferencia puede darse debido a la variación en la composición pesquera entre regiones, ya que en el caso de Puerto López existe mayor abundancia de individuos neonatos y juveniles, mientras que en otras localidades existe mayor presencia de individuos adultos. Sin embargo, en este estudio sí se demuestra una dependencia del radio de la vértebra sobre la longitud total de los individuos, es decir que se puede emplear las vértebras para estimar la edad de estos individuos.

### **5.5. Curvas de crecimiento**

Debido a la poca representación de organismos adultos ( $>150$  cm LT) en la muestra obtenida para la descripción del crecimiento del tiburón martillo en Puerto López Ecuador durante el año 2013, se utilizó la ecuación de Fraser-Lee para estimar la talla a edades pretéritas. El uso de esta ecuación es común en estudios de edad y crecimiento en tiburones (Zárate, 2010). La talla de nacimiento estimada por el modelo de crecimiento de von Bertalanffy fue de 45 cm LT para ambos sexos. Este valor se encuentra por debajo del límite inferior descrito por Compagno (1984) y Garza (2004) el cual varía entre los 49 a 63 cm LT. Sin embargo, la talla al nacer obtenida mediante el retrocálculo es de 54 cm LT lo que se ajusta a estos valores.

Los parámetros de crecimiento del tiburón martillo estimados en el presente trabajo se encuentran dentro de los reportados por la literatura (Tabla 4). Los valores de la tasa de crecimiento ( $k$ ) reportados por Coelho *et al.* (2011) en su estudio del Atlántico este, son bastante similares a los obtenidos en el presente estudio; sin embargo, en comparación con el trabajo de Garza (2007) para los tiburones martillo en México, los valores de  $k$

difieren significativamente. Esta diferencia puede deberse a que en el estudio realizado en México, se efectuó un análisis de individuos únicamente juveniles, por lo que la ausencia absoluta de individuos adultos puede arrojar una tasa de crecimiento mayor.

El único estudio realizado en el Pacífico para esta especie reporta que durante el primer año el tiburón crece 30 cm, del segundo al quinto año es de 15 a 20 cm por año y después del sexto año el crecimiento disminuye hasta llegar a 5-10 cm (Garza, 2007).

En el presente estudio se observó que durante el primer año el tiburón crece un promedio de 19 cm para ambos sexos, del segundo al séptimo año crece de 10 a 15 cm y a partir del octavo año disminuye hasta los 5 cm.

Una adecuada estimación de la edad y de los parámetros de crecimiento es de gran importancia en la investigación pesquera ya que estas son herramientas valiosas para identificar la composición de la edad de los stocks de pesca, su tasa de crecimiento y los grupos de edad que la sostienen, lo que contribuye al ordenamiento de su explotación y al establecimiento de una base de datos para su manejo óptimo (Zárate, 2010).

## **5.6. Validación y verificación**

En muchos estudios de edad y crecimiento se utilizan técnicas de verificación para determinar la periodicidad de la formación de bandas, cuando no es posible aplicar técnicas de validación como la oxitetraciclina (Briones y Armijos, 2012). Estudios previos en otras especies de tiburón martillo han discutido acerca de la periodicidad de formación de bandas, los cuales han arrojado diferentes criterios y resultados. Para el tiburón martillo (*Sphyrna lewini*), Chenet *al.* (1990) en Taiwán asumen la formación de dos pares de bandas por cada año. Piercyet *al.* (2007), asumen un patrón de formación de bandas anual en su estudio realizado en el Atlántico. Para el gran tiburón martillo, *Sphyrna morrakan*, se ha empleado la técnica de datación por radiocarbono, donde se ha

confirmado la formación de un par de bandas anualmente (Passerottiet al. 2010). Para el tiburón cabeza de pala, *Sphyrna tiburo*, en el golfo de México, se validó la periodicidad de formación de bandas como un par de bandas (una oscura y una clara) por año, mediante la técnica de marcaje con oxitetraciclina (Parsons, 1993).

En el presente estudio, la tendencia del porcentaje mensual de las vértebras con borde opaco sugiere que se forma una banda hialina a finales de año, en el mes de diciembre (Fig. 17). Este resultado difiere del resultado presentado por Garza (2007), donde supone una formación anual de una banda de crecimiento a principios de año. En este estudio no se presenta un valor de MIR, por lo que no se puede realizar una comparación más profunda. En el estudio de edad y crecimiento de *S. zygaena*, realizado en el Atlántico por Coelho *et al.* (2011), no se realizó un análisis de validación o verificación. Sin embargo, el autor asume que la formación de bandas de crecimiento se da anualmente.

En comparación con el estudio realizado por Anislado-Tolentino y Robinson Mendoza (2001), el presente estudio coincide con la segunda fecha de formación de un par de bandas, la cual se presenta en noviembre-diciembre. El mismo caso se presenta en el estudio de Chenet *al.* (1990).

A pesar de los resultados indicados, Campana (2001) recomienda por lo menos un periodo de muestreo de dos años para poder validar esta información. Además, no se han realizado confirmaciones de estos patrones descritos para *Sphyrna zygaena*.

### **5.7. Conservación y manejo**

Conforme transcurren los años se incrementa la evidencia de los efectos directos e indirectos de la pesca sobre las diferentes especies de condriictios y otras especies marinas. A pesar de esto, existe un gran debate acerca de las consecuencias ecológicas

de la remoción de los grandes depredadores marinos. Se supone que al mermar las poblaciones de condriktios, se produzca un efecto cascada sobre el resto de organismos marinos, ya que se estima que estos grandes depredadores tienen una fuerte influencia sobre varias especies lo que puede evidenciarse a nivel competitivo y trófico (Álava, 2009).

Se ha evidenciado que al declinar considerablemente los depredadores oceánicos, con la aparición y aumento de la pesca industrial, varias especies de menor tamaño incrementaron en abundancia en el mismo periodo (Galucciet al. 2006).

El estudio realizado por Álava (2009), indica mediante modelamientos matemáticos, que los individuos de uno a dos años son la fracción de la población más sensible a la pesca. Dando como resultado que la población de *Sphyrna zygaena* sea vulnerable a la pesca, en especial los juveniles. Proyecciones estocásticas indican que el riesgo de agotamiento está asociado a la fracción correspondiente al potencial reproductivo que se extrae anualmente, por lo que es justamente esta fracción la que debería concentrar mayores esfuerzos de conservación (Galucciet al. 2006; Álava, 2009).

Cortés (1998) anota que las especies costeras de tiburones, en especial las grandes con crecimiento lento, presentan baja capacidad de soportar la explotación, incluso a niveles bajos.

Según estimaciones de la Subsecretaría de Recursos del seguimiento de los desembarques de tiburones en siete puertos de la costa continental ecuatoriana obtenidos desde abril a diciembre del 2006, se estimó un volumen total desembarcado de 2.326,60 t, correspondientes a tiburones. Las familias de tiburones como: Alopiidae 1.229,50 t, Carcharhinidae 664,60 t, y Sphyrnidae 142,80 t fueron las más representativas en los desembarques. Los mayores desembarques de condriktios se

registraron en los puertos de Manta (75,0%), Esmeraldas (7,7%) y Puerto Bolívar (7,4%). En el año 2006, en Puerto López se desembarcó el 2.76% del total de tiburones registrados para Ecuador continental (Aguilar *et al.* 2006). Mientras que durante el 2007, Puerto López registró el 1% del total de capturas a nivel nacional (Ruíz y Díaz, 2007). Lo que sugiere que la flota pesquera ecuatoriana extrae una cantidad considerable de elasmobranchios anualmente, siendo Manta el puerto principal de destino (Aguilar *et al.* 2006). En el caso de *Sphyrna zygaena*, para el mismo año se estimó a Anconcito con 18,2 como el principal puerto de desembarque para esta especie, seguido de Santa Rosa con 13.9 t y en tercer lugar Puerto López con 1,7 t (Aguilar *et al.* 2006). Por lo que las poblaciones de elasmobranchios que habitan aguas ecuatorianas podrían encontrarse expuestas a presiones de pesca intensivas pudiendo causar declinaciones considerables en cuanto a su stock pesquero. Para evitar que esto ocurra es necesaria la implementación de medidas que regulen el recurso tiburón, como vedas, tallas mínimas de captura, establecimiento de normativas nacionales e internacionales, entre otras. Para que dichas medidas se desarrollen con éxito y no perjudiquen las fuentes de ingreso de los pescadores a corto plazo, pero aun así garantice el uso del recurso a largo plazo, se requiere de la implementación de estudios de edad y crecimiento, biología reproductiva, movimientos migratorios y uso de hábitats, entre otros, de las especies principales que conforman parte de la pesquería a nivel local (Álava, 2009).

Es importante tomar en cuenta que en muchos puertos del país, varias familias dependen de la captura de tiburones provenientes de la pesca artesanal como fuente principal de ingresos; mientras que en otras partes del mundo los tiburones forman parte integral la industria del turismo. El turismo de buceo con tiburones contribuye con millones de dólares cada año a la economía de varios países y representa una de las alternativas más

viables para esta especie debido a su comportamiento pasivo. Los tiburones martillo están considerados como uno de los atractivos más grandes bajo el agua, debido a su popularidad y carácter relativamente dócil (Daves y Nammack, 1998). Esto lleva a un debate acerca de la rentabilidad de los tiburones, siendo que para la industria del buceo es más valioso mantener los tiburones vivos, lo que sugiere un cambio en el uso de este recurso, a través del uso no extractivo.

Sería importante una revisión y ajuste del acuerdo ministerial N° 116, para que se acople a los estudios realizados de la especie y tome en consideración la importancia de preservar y proteger los individuos juveniles de esta especie.

Para *Sphyrna zygaenaes* urgente identificar los lugares de crianza y agrupamiento para poder establecer medidas espaciales y temporales con respecto a su captura, además de que se debe determinar porcentajes anuales de explotación. Esta es una especie que demuestra alta fidelidad a los lugares de crianza, por lo que una veda espacial podría ser útil. Además, la tendencia que los tiburones martillo presentan a agruparse en grandes cardúmenes es ventajosa para la industria del buceo, por lo que identificar dichas zonas podría establecer un nuevo atractivo turístico para la zona (Compagno *et al.* 2005, Álava 2009).

## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

La estructura en talla de la captura del tiburón martillo, *Sphyrna zygaena*, en la costa de Puerto López durante el año 2013, estuvo integrada principalmente por neonatos y juveniles. Esta especie se encuentra presente en las costas ecuatorianas del Pacífico sur durante todo el año, siendo más frecuente durante los meses de marzo a junio.

Se identificaron un total de 18 grupos de edad (0 a 17 años) para hembras y de 12 grupos de edad (0 a 11 años) para machos. Los grupos más representados fueron aquellos comprendidos entre 6 a 9 años para ambos sexos, siendo los 9 y 7 años los más significativos, en orden de importancia.

Los cambios mensuales del porcentaje de vértebras con borde opaco y del porcentaje incremento marginal, sugieren que la formación de las marcas de crecimiento se dan anualmente, formándose una banda hialina en invierno y una opaca en verano.

La relación entre el radio de la vértebra y la longitud total de los individuos fue de tipo lineal en las hembras y potencial en machos. Los valores de significancia indicaron una relación directamente proporcional de crecimiento de ambas variables. Esta relación justificó el uso de las vértebras para realizar la estimación de la talla a edades pretéritas mediante un retrocálculo.

Los parámetros de crecimiento calculados para el tiburón martillo fueron:  $L_{\infty} = 328$  cm LT,  $k = 0.059$ ,  $t_0 = -2.45$  y  $r^2 = 0.98$ . Siendo  $t_0$  un parámetro de ajuste para el modelo de von Bertalanffy.

La principal amenaza a la que esta especie se enfrenta es la fuerte presión pesquera en especial los individuos juveniles. Debido a que el arte de pesca empleado (trasmallo) es un arte de pesca poco selectivo, es necesario conocer las áreas de reclutamiento para establecer zonas protegidas que garanticen la subsistencia de la especie.

Se requieren estudios de la biología reproductiva y patrones de uso de hábitat en esta especie a nivel local, ya que estos conocimientos permitirán que las acciones de manejo sean las más adecuadas. Es importante ajustar las medidas de conservación actuales con respecto a esta especie y realizar vedas de captura espacio-temporales en los meses donde hay mayor desembarque de esta especie.

## **6.2. Recomendaciones**

Es importante realizar muestreos que abarquen la mayor cantidad de rangos de tallas, las cuales incluyan individuos que representen a las tres fases de desarrollo: neonatos, juveniles y adultos. Es importante también contar con hembras grávidas.

Es necesario realizar un estudio donde se valide la periodicidad de la formación de los anillos de crecimiento, ya sea mediante datación de radio carbono, marcaje de individuos con químicos, captura-recaptura, entre otros, con el fin de validar las edades obtenidas en el presente estudio.

Se deben realizar estudios complementarios acerca de la biología de *Sphyrna zygaena* con el fin de completar las carencias en la información de la especie, y así poder estructurar un modelo de evaluación pesquera completo.

Se recomienda aplicar más de un modelo de crecimiento, ya que a pesar de que el modelo de von Bertalanffy es el más empleado en biología pesquera, no se puede

asegurar que sea el modelo que más se ajuste a los datos obtenidos, esto en función de las características propias de cada estudio.

Realizar más estudios acerca de la biología pesquera de las especies presentes en Ecuador, para estimar el estado de las poblaciones y poder tomar las medidas adecuadas para su conservación.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar, F.; X. Chalén y C. Villón. 2005. Plan de acción nacional de tiburones. Instituto Nacional de Pesca. Guayaquil, Ecuador. 23 pp.
- Aguilar, F.; W. Revelo; D. Coello; J. Cajas; W. Ruiz; y J. Moreno. 2006. Desembarques artesanales de tiburones y rayas en los principales puertos pesqueros del Ecuador durante 2006. Instituto Nacional de Pesca. Guayaquil, Ecuador.
- Álava, J. 2009. Viabilidad de las poblaciones de elasmobranquios que están siendo extraídos en la zona de influencia del Parque Nacional Machalilla. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Anislado-Tolentino, V. 2000. Ecología pesquera del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Griffith y Smith, 1834) en el litoral del Estado de Michoacán, México. Tesis para obtener el título de maestría en ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Anislado-Tolentino, V. y C. Robinson-Mendoza. 2001. Age and growth of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini* (Griffin & Smith, 1834), along the central Pacific coast of Mexico. *Ciencias Marinas*, 27(4):501-520.
- Anislado-Tolentino, V.; M. Gallardo-Cabello; F. Amezcua-Linares y C. Robinson-Mendoza. 2008. Age and growth of the scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini*, (Groffoth& Smith, 1834), from the southern coast of Sinaloa, México. *Hidrobiología*, 18(1):31-40.
- Bass, A.; J. D'Audrey y N. Kistnasamy. 1975. Sharks of the east coast of southern Africa: IV. The families Odontaspidae, Scapanorthynchidae, Isuridae, Cerorhinidae, Alopiidae, Orectolobidae, and Rhiniodontidae. *Investig. Rep. Oceanogr. Res. Inst. Durban*, 39: 1-102.

- Bejarano, M. 2007. Biología reproductiva del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Griffith y Smith, 1834) en Salina Cruz, Oaxaca, México. Tesis para obtener el grado de maestro en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos. CICIMAR, La Paz, B.C.S.
- Bolaño, N. 2006. Hábitos alimenticios en juveniles de *Sphyrna zygaena* Linnaeus 1758 (Chondrichthyes: Sphyrnidae) en el puerto pesquero de Santa Rosa de Salinas, Guayas durante mayo-diciembre 2004. Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Bolaño, N. y F. Galván. 2007. Hábitos alimentarios en juveniles de *Sphyrna zygaena* Linnaeus 1758 (Chondrichthyes: Sphyrnidae) en Santa Rosa de Salinas, Ecuador. En: Tiburones en Ecuador: Casos de estudio. Pp. 57-65. EPESPO-PMRC, Manta, Ecuador.
- Bolaño, N. 2009. Ecología trófica de juveniles del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en aguas ecuatorianas. Tesis para obtener el grado de maestro en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos. CICIMAR, La Paz, B.C.S.
- Bravo, M. y L. Ponce. 2011. Análisis de las pesquerías en el área marina del Parque Nacional Machalilla y recomendaciones para su manejo. Proyecto USAID Costas y bosques sostenibles Parque Nacional Machalilla. 83 pp.
- Briones, J. y J. Armijos. 2012. Edad y crecimiento del tiburón azul *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) en la zona del Pacífico Ecuatoriano. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Facultad de Ciencias del Mar Biología Pesquera. Tesis de grado previa a la obtención del título de Biólogo Pesquero. Manta, Ecuador. 74 pp.
- Brito, J. 2004. Presencia del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Carcharhiniformes: Sphyrnidae) y nuevo registro del tiburón espinudo

- Echinorhinuscookei*(Squaliformes: Squalidae) en San Antonio, Chile central.  
Nota Científica *Invest. Mar Valparaiso.*,32(2): 141-144.
- Cailliet, G. 1990. Elasmobranch age determination and verification; an updated review.  
In H. L. Pratt Jr., S.H. Gruber & T. Taniuchi (eds). Elasmobranchs as Living  
Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematics and the Status of the  
Fisheries, pp. 157–165. NOAA Tech. Rep. NMFS 90.
- Cailliet, G.; L. Martin; D. Kusher; P. Wolf y B. Welden. 1983. Techniques for  
enhancing vertebral bands in age estimation of California elasmobranchs, in  
Proceedings International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic  
Fishes: tunas, billfishes, sharks. 157-165 pp.
- Cailliet, G. y K. Goldman. 2004. Age determination and validation in chondrichthyan  
fishes. Biology of sharks and their relatives. CRC Press LLC. USA. 399–447 pp.
- Camhi, M.; S. Fowler; J. Musick, A. Bräutigam; y S. Frodham. 1998. Sharks and their  
relatives: Ecology and conservation. IUCN/SSC Shark Specialist Group. IUCN,  
Gland, Cambridge, United Kingdom.
- Campana, S. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination,  
including a review of the use and abuse of age validation methods. *J. fish. Aquat.  
Sci.* 58:30-38.
- Campuzano, J. 2002. Biología y pesquería del tiburón martillo *Sphyrna lewini*  
(Griffith& Smith, 1834), en Puerto Madero, Chiapas, Estados Unidos  
Mexicanos. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México,  
196p.
- Castañeda, S. y L. Sandoval. 2007. Hábitos alimentarios del tiburón martillo *Sphyrna  
lewini* (Griffith& Smith, 1834) en el Pacífico ecuatoriano. En: Martínez-Ortiz J

- & F Galván-Magaña (eds). Tiburones en el Ecuador: Casos de estudio / Sharks in Ecuador: Case studies. 66-76 pp.
- Castro, J. y J. Mejuto. 1995. Reproductive parameters of blue shark, *Prionace glauca*, and other sharks in the Gulf of Guinea, *Marine and Freshwater Research*, 46: 967-973.
- Castro, C. y P. Rosero. 2010. Interacción de cetáceos menores con artes de pesca artesanal en el Parque Nacional Machalilla, Ecuador. Plan de acción para la protección del medio marino y áreas costeras del Pacífico Sudeste. 8 pp.
- Chen, C.; T. Leu; J. Joung y N. Lo. 1990. Age and growth of the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, in Northeastern Taiwan Waters, *Pacific Science*, 44(2): 156-170.
- Coelho, R.; J. Fernandez; S. Amorim y M. Santos. 2011. Age and growth of the smooth hammerhead shark, *Sphyrna zygaena*, in the Eastern Equatorial Atlantic Ocean, using vertebral sections. *Aquatic Living Resource*, 24: 351-357 pp.
- Coello, S. 2005. La Administración de los Chondrichthyes en Ecuador. Aportes para el Plan Nacional de Tiburones. UICN, Quito, Ecuador. 42 pp.
- Compagno, L. 2001. Sharks of the world: An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date *Journal/Book Name*, Vol. 1 No.: *FAO fisheries synopsis*, 125(4): 521-524.
- Compagno, L.; M. Dando y S. Fowler. 2005. A field guide to the sharks of the world. Collins, London, 368 pp.
- Cortés, E. 2002. Incorporating uncertainty into demographic modeling: application to shark populations and their conservation. *Conservation Biology*, 16: 1048–1062.
- Cortés, E.; F. Arocha; L. Beerkircher; F. Carvalho; A. Domingo; M. Heupel; H. Holtzhausen; M. Santos; M. Ribera y C. Simpfendorfer. 2010. Ecological risk

- assessment of pelagic harks caught in Atlantic pelagic longline fisheries. *Aquat. Living Resour.*,23: 25-34.
- Daves, N. y M. Nammark. 1998. US and international mechanisms for protecting and maintaining shark resources. *Fisheries Research*, 39: 223-228.
- DeVries, D. y R. Frie. 1996. Determinatio of age and growth. In: Murphy, B.R. and Willis, D.W. (Eds.), *Fisheries Techniques*, 2<sup>nd</sup> ed. American Fisheries Society, Bethesda, 483-512 pg.
- Ebert, D. y M. Stehmann. 2013. Sharks, batoids and chimaeras of the north Atlantic. FAO species catalogue for fishery purposes. No. 7. Rome, FAO. 523 pp.
- Estupiñán, C. y L. Cedeño. 2005. Estudio de los hábitos alimenticios mediante el análisis del contenido estomacal del tollo mico *Carcharhinusfalciformis*(Bibron, 1839) y los tiburones *Sphyrna lewini* (Griffith& Smith, 1834) y *Sphyrna zygaena* (Lunnaeus, 1758) en el área de Manta, Ecuador. Tesis de grado. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador. 100 pg.
- Estupiñán, C.; L. Cedeño y F. Galván. 2009. Hábitos alimentarios del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith& Smith, 1834) (Chondrichthyes) en el Pacífico ecuatoriano. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr*, 44(2): 379-386 pp.
- Fernández, J. 2009. El 40% de la pesca mundial se desperdicia o es mal gestionada: WWF. <http://www.wwf.org.co/?162261/El-40-de-la-pesca-mundial-se-desperdicia-o-es-mal-gestionada-WWF> Acceso: 06/04/2015
- Gallegos-Camacho R. 2009. Determinación de la edad del tiburón martillo *Sphyrna lewini* en las costas de Nayarit, México. BSc tesis, Instituto Tecnológico del Mar de Bahía de Banderas, Nayarit, México, 82 p.

- Gallucci, V.; L. Taylor y K. Erzini. 2006. Conservation and management of exploited shark populations based on reproductive value. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 63: 931-942.
- Galván, F.; H. Nienhuis y A.P. Klimley. 1989. Seasonal abundance and feeding habits of sharks of the lower Gulf of California, Mexico. *California Fish and Game*, 75(2): 74-84.
- Garza, E. 2004. Edad y crecimiento de *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en las costas de Baja California Sur, México. Tesis para obtener el título de biólogo marino. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, México.
- Gilbert, C. 1967. A revision of the Hammerhead Sharks (Family *Sphyrnidae*). Proceedings of the National Museum. Smithsonian Institution, 119(3539): 1-98.
- Goldman, K.J. 2005. Age and growth of elasmobranchs fishes. In: Management Techniques 550 for Elasmobranchs Fisheries. (Eds. J. Musick and R. Bonfil) 76-102 pp.
- Goldman, K.J.; G.M. Cailliet; A.H. Andrews; y L.J. Natanson. 2012. Assessing the Age and Growth of Chondrichthyan Fishes. In: Carrier, J.C. & Musick, J.A. & Heithaus, M.R. (eds) *Biology of Sharks and their Relatives*, Edition 2. CRC Press, Boca Raton, Florida: 423-452.
- Griffin, E., K.L. Miller; B. Freitas y M. Hirshfield. 2008. Predators as Prey: Why Healthy Oceans Need Sharks. Oceana. [http://oceana.org/sites/default/files/reports/Predators\\_as\\_Prey\\_FINAL\\_FINAL1.pdf](http://oceana.org/sites/default/files/reports/Predators_as_Prey_FINAL_FINAL1.pdf) Acceso: 25/07/2015.
- Hanfee, F. 2001. Gentle giants of the sea. TRAFFIC-India/WWF-India. 40 pp.

- Hara, M.; I.MaharajyL.Pithers. 2003. Marine-based Tourism in Gansbaai: a socio-economic study. The Department of Environmental Affairs Programme for Land and Agrarian Studies, University of the Western Cape, South Africa, 56 pp.
- Hearn, A.; D. Acuña; J. Ketchum; C. Peñaherrera; J. Green; A. Marshall; M. Guerrero y G. Shillinger. 2013. Elasmobranchs of the Galápagos Marine Reserve. The Galapagos Marine Reserve Social and Ecological Interactions in the Galapagos Islands. Pp. 23-59.
- Henderson, S. y A. Hearn. 2010. Informe sobre el estado de los tiburones del Pacífico Este Oriental, Perspectivas Regionales de Informes Nacionales, 1: 32 pp.
- Hoening, J.; M. Morgan y C. Brown. 1995. Analyzing differences between to age determination methods by test of symmetry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52:364-368.
- Jacquet, J.; J. Álava; G. Pramod; S. Henderson y D. Zeller. 2008. In hot soup: sharks captures in Ecuador's waters. *Environmental Sciences*, 5: 269-283.
- Joung, S.; C. Chen; H. Lee y K. Liu. 2008. Age, growth and reproduction of the silky sharks, *Carcharhinus falciformis*, in northeastern Taiwan waters. *Fisheries Research*. 90: 78–85 pp.
- Kayser, I.; R. Orellana y V. Osorio. 2009. Propuesta de mejoramiento del sendero El Rocío en el cantón Puerto López. Escuela Superior Técnica del Litoral (ESPOL). Guayaquil, Ecuador. 6 pp.
- Klimley, P. 1987. The determinants of sexual segregation in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, *Environmental Biology of Fishes*, 18(1):27-40.

- Lemay, M.; D. Llaguno; S. Ardila; F. Bazán; A. Killmer y P. Crausaz. Ecuador support for coastal artisanal fishing (EC-L1059). Loan Proposal, Inter American Development Bank, 2008.
- Liu, M.; C. Chen; T. Liao y S. Joung. 1999. Age, growth and reproduction of the Pelagic Thresher Shark, *Alopias pelagicus* in the Northwestern Pacific. Fish Bulletin 96: 482-491.
- Márquez, J. 2001. Tiburones en el golfo de California. Sustentabilidad y pesca responsable en México, 1999-2000. Instituto Nacional de Pesca – SAGARPA. 237-258 pp.
- Martínez, J. 1987. Casos de estudios sobre el manejo de las pesquerías de tiburón en el Ecuador. FAO fisheries technical paper part 2.
- Martínez, J. 1999. Casos de estudios sobre el manejo de las pesquerías de tiburón en el Ecuador. FAO fisheries technical paper part 2.
- Martínez, J.; F. Galván; M. Carrera; D. Mendoza; C. Estupiñán y L. Cedeño. 2007. Abundancia estacional de tiburones desembarcados en Manta-Ecuador. En: Tiburones en Ecuador, Casos de estudio. 9-27 pp.
- Martínez, J. y M. García. 2013. Guía de campo de condricios del Ecuador. Quimeras, tiburones y rayas. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), viceministerio de Acuacultura y Pesca (VMAP), Subsecretaría de Recursos Pesqueros (SRP). 246 pp.
- McQueen, D.; J. Post y E. Mills. 1986. Trophic relationships in freshwater pelagic ecosystems. Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences, 43: 1571-1581 pp.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. 2013. MAGAP aplica medidas de conservación para tiburones martillos en el Ecuador.

<http://www.agricultura.gob.ec/magap-aplica-medidas-de-conservacion-para-tiburones-martillos-en-el-ecuador/> Acceso: 05/05/2014.

Ministerio del Ambiente del Ecuador. 2014. Ecuador y Costa Rica proponen medidas para conservar los tiburones martillo.

<http://www.galapagospark.org/boletin.php?noticia=828> Acceso: 14/05/2015.

Natanson, L.; J. Casey y N. Kohler. 1995. Age and growth estimates for the dusky shark, *Carcharhinus obscurus*, in western north Atlantic Ocean. Fishery Bulletin, 93: 116-128.

Negrete, A. 2007. Composición de los desembarques de la pesca artesanal de tiburón en Puerto López, Manabí, con énfasis en dos especies abundantes: *Sphyrna zygaena* y *Squatina californica*. Universidad San Francisco de Quito (USFQ). Tesis de grado previa a la obtención del título de B.S. en Ecología Aplicada. Quito, Ecuador. 37 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2009. Tercer cuadro especial de expertos encargados de evaluar las propuestas de enmienda de los Apéndices I y II de la CITES relativo a las especies acuáticas explotadas comercialmente. <http://www.fao.org/docrep/014/i1899s/i1899s.pdf> Acceso: 12/08/2014.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2011. Perfiles sobre la pesca y acuicultura por países: La República del Ecuador. <http://www.fao.org/fishery/facp/EQU/es> Acceso: 25/09/2014.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2014. Estado mundial de la pesca y la acuicultura. <http://www.fao.org/3/a-i3720s.pdf> Acceso: 16/01/2014.

- Parsons, G.R. 1993. Age determination and growth of the bonnethead shark *Sphyrna tiburo*: a comparison of two populations. *Mar. Biol.*, 117: 23–31.
- Passerotti, M.; J. Carlson; A. Piercy y S. Campana. 2010. Age validation of great hammerhead shark (*Sphyrna mokarran*), determined by bomb radiocarbon analysis. *Fish. Bull.* 108: 346-351.
- Peralta, B. 2009. Artisanal fishery landings of large pelagic fishes and sharks in the Ecuadorian coast during 2008. Scientific Technical Bulletin. National Fisheries Institute, 16-18 pg.
- Piercy, A.; J. Carlson y J. Sulikowski. 2007. Age and growth of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in the northwest Atlantic Ocean and Gulf of México. *Marine and Freshwater Research*, 58:34-40.
- Piercy, A.N.; T.S. Ford; L.M. Levy; y F.F. Snelson. 2006. Analysis of variability in vertebral morphology and growth ring counts in two Carcharhinid sharks. *Environmental Biology of Fishes*, 77 (3-4): 401-406.
- Ramos, 2010. “Hallan más de 500 aletas de tiburón” Diario El Universo. 22 de mayo, 2010.
- Ruíz, W. y M. Díaz. 2007. Desembarques artesanales de tiburones y rayas en los principales puertos pesqueros del Ecuador durante 2007. Instituto Nacional de Pesca. Guayaquil, Ecuador.
- Schneider, W.; R. Fuenzalida y J. Garcés. 2004. Corrientes marinas y masas de agua. Discusión del Sistema de la Corriente de Humboldt y masas de agua en la zona norte y centro del Pacífico. *Ciencia y Tecnología del Mar* 30(1): 21-36.
- Schwartz, F. 1983. Shark aging methods and age estimates of scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, and dusky, *Carcharhinus obscurus*, sharks based on vertebral

- ring counts. Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes and sharks. 167-174 pp.
- Smale, M. 1991. Occurrence and feeding of three shark species, *Carcharhinus brachyurus*, *C. obscurus*, and *Sphyrna zygaena*, on the eastern Cape coast of South Africa. *Mar. Sci.*, 11:31-42.
- Smale, M. y G. Cliff. 1998. Cephalopods in the diets of four shark species (*Galeocerdocuvier*, *Sphyrna lewini*, *Sphyrna zygaena* y *S. mokarran*) from Kwazulu-Natal, South Africa. *South African Journal of Marine Science* 20: 241-253 pp.
- Subsecretaría de Recursos Pesqueros del Ecuador. 2011. Estadísticas – Puerto López. Septiembre 2007 a Diciembre del 2011. <http://tiburon.viceministerioap.gob.ec/tiburon-ecuador/estadisticas-puerto-lopez-137.html> Acceso: 05/04/2015.
- Subsecretaría de Recursos Pesqueros del Ecuador. 2013. Estadísticas – Globales por Mes – Todos los Puertos. <http://tiburon.viceministerioap.gob.ec/tiburon-ecuador/estadisticas-globales-por-mes-todos-los-puertos-264.html> Acceso: 05/04/2015.
- Stevens, J. 1975. Vertebral rings as a means of age determination in the blue shark (*Prionace glauca*). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 55: 657-665.
- Stevens, J. 1984. Biological observations on sharks caught by sport fishermen of New South Wales. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 35: 573-590.
- Torres-Huerta, A. 1999. Distribución, abundancia y hábitos alimentarios de juveniles del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) (*Sphyrnidae*) en la

- costa de Sinaloa, México durante el evento El Niño 1997-98. Tesis de Maestría. Universidad del Mar. 99 pg.
- Vallejo, C. 2007. Decreto Ejecutivo 486 (Tiburón). Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca del Ecuador (MAGAP). <http://www.viceministerioap.gob.ec/subpesca28-decreto-ejecutivo-486-tiburon.html> Acceso: 28/05/2013.
- Vianna, G.; M. Meekan; D. Pannel; S. Marsh y J. Meeuwig. 2012. Socio-economic value and community benefits from shark-diving tourism in Palau: A sustainable use of reef shark populations. *Biological Conservation* 145 (2012) 267-277.
- WildAid. 2015. Ecotourism: dollars and sense. <http://www.sharksavers.org/en/education/the-value-of-sharks/sharks-and-ecotourism/> Acceso: 25/07/2015.
- World Wide Foundation. 2013. Protección de los tiburones martillo ;Ecuador le pega en el clavo a la conservación!. [http://www.wwf.org.ec/comunicacion\\_en\\_wwf\\_ecuador/noticias\\_programa\\_galapagos/?210618/Proteccion-de-los-tiburones-martillo-Ecuador-le-pega-en-el-clavo-a-la-conservacion](http://www.wwf.org.ec/comunicacion_en_wwf_ecuador/noticias_programa_galapagos/?210618/Proteccion-de-los-tiburones-martillo-Ecuador-le-pega-en-el-clavo-a-la-conservacion) Acceso: 05/05/2014.
- Zárate, J. 2010. Edad y crecimiento del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) en la costa sur de Oxaca, México. Tesis para obtener el grado de maestro en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos. CICIMAR, La Paz, B.C.S.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS

**Banda hialina:** zona de la vértebra que permite el paso de la luz y generalmente se encuentra asociada con crecimiento lento.

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

**Cláspers, pterigopodios o mixopterigios:** par de estructuras que se encuentran en los elasmobranquios machos utilizados para la copulación, los que transfieren el esperma directamente al interior de las hembras, semejante al pene en los mamíferos.

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

**Fosa precaudal:** marca ubicada en la parte posterior del dorso, justo antes del origen de la aleta caudal de los tiburones.

**Inte rmedialia:** en las vértebras de los elasmobranquios representa la zona menos calcificada y en un corte longitudinal es la parte interna.

**Marca de crecimiento:** anillo concéntrico presente en la vértebra formado por una banda opaca y una hialina utilizado para asignar la edad de los organismos.

**Nerítico:** zona marítima correspondiente a la plataforma continental. Referente a un organismo acuático que vive en zonas próximas al litoral.

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

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

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

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

## ANEXOS



**Anexo 1.** Tiburones martillo (*Sphyrna zygaena*) en la playa de Puerto López, Ecuador, provenientes de la pesca artesanal.



**Anexo 2.** Anzuelo chino tiburonero observado en una embarcación de pesca.



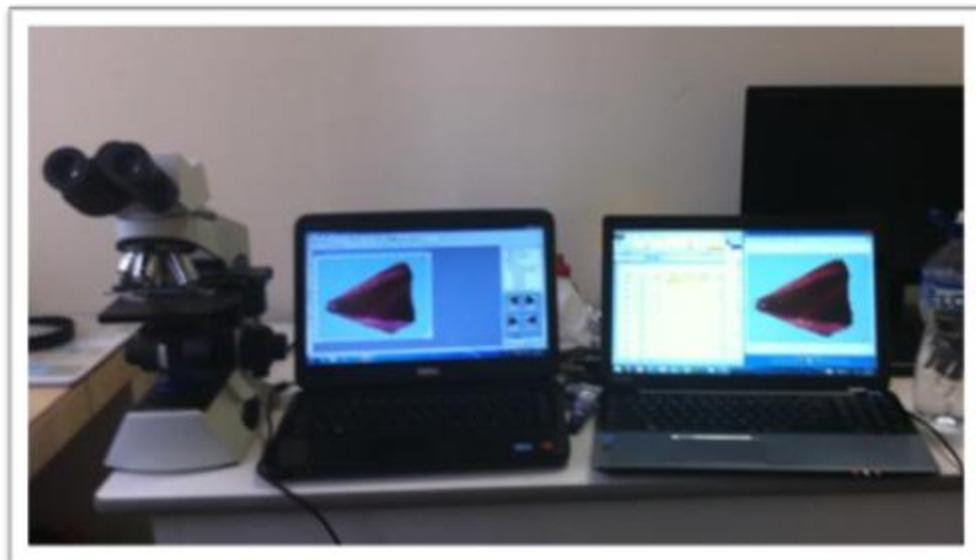
**Anexo 3.** Determinación del estado de madurez sexual en los tiburones martillo (*Sphyrna zygaena*) que fueron muestreados. **A.** Clásters de un macho inmaduro. **B.** Aparato reproductor de una hembra madura.



**Anexo 4.** Proceso de tinción de las vértebras con cristal violeta.



**Anexo 5.** Toma de medidas de los corbatines obtenidos mediante los cortes transversales de las vértebras cervicales.



**Anexo 6.** Toma de medidas de los corbatines.