



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**“BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL TIBURÓN
MARTILLO *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) EN
SALINA CRUZ, OAXACA, MÉXICO.”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN
MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

PRESENTA

MARCELA BEJARANO ÁLVAREZ

LA PAZ, B.C.S., 2007



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 29 del mes de Mayo del 2007 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

"BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL TIBURÓN MARTILLO *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834)

EN SALINA CRUZ, OAXACA, MÉXICO"

Presentada por el alumno:

BEJARANO
Apellido paterno

ALVAREZ
materno

OLGA MARCELA
nombre(s)

Con registro:

A	0	5	0	1	2	6
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

PRESIDENTE

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA

SECRETARIO

DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS

SEGUNDO VOCAL

DRA. ROSA ISABEL OCHOA BÁEZ

TERCER VOCAL

MC. ANA MARÍA TORRES HUERTA

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



I. P. N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 11 del mes Junio del año 2007, el (la) que suscribe OLGA MARCELA BEJARANO ÁLVAREZ alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro A050126 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA y cede los derechos del trabajo titulado:
"BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL TIBURÓN MARTILLO *Sphyrna lewini*
(Griffith y Smith, 1834) EN SALINA CRUZ, OAXACA, MÉXICO"
al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: marcelabej@gmail.com galvan.felipe@gmail.com

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Olga Marcela Bejarano A.

OLGA MARCELA BEJARANO ÁLVAREZ

nombre y firma

DEDICATORIA

A mis padres por el apoyo, comprensión, paciencia y por creer siempre en mí!!! Esta tesis es para ustedes mis cuchitos!!

A mis hermanos que siempre me han acompañado en todos mis sueños.

A mis sobrinitos: Camila, Tatiana, Santiago y futuro bebe.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) por el apoyo académico e infraestructura para la realización de esta tesis.

Al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) por el apoyo económico aportado.

Al Proyecto SAGARPA – CONACYT “Caracterización de la Pesquería Artesanal de tiburones desembarcados en Salina Cruz, Oaxaca, México”, por la realización de esta investigación así como el apoyo económico otorgado para su culminación.

Al Dr. Felipe Galván Magaña por su apoyo incondicional, por su paciencia, comprensión, consejos, su amistad, en fin, son tantas cosas que tengo que agradecerle que no hay palabras para describirlo. Gracias.

A la Dra. Rosa Isabel Ochoa Báez por sus enseñanzas y recomendaciones a lo largo de la realización de esta investigación, además por su amistad y orientación.

A los miembros del comité revisor, Dr. Agustín Hernández Herrera, Dra. Rosa Isabel Ochoa Báez, M.C. Ana María Torres Huerta, Dr. Rogelio González Armas, por la aportación realizada a este trabajo, por su dedicación y por sus conocimientos.

Al Laboratorio de Ecología de Peces y Laboratorio de Morfofisiología del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas por facilitar la utilización de sus equipos e instalaciones.

A la M.C. Maribel Carrera Fernández, responsable del programa de muestreo por el apoyo logístico de este trabajo, por la recolección, envío de muestras para su procesamiento y fotografías, así como por sus consejos para la realización del mismo.

A todos los alumnos (Alfredo, Carlos) que colaboraron con la recolección de las muestras en el campo pesquero de Chipehua. Asimismo a los pescadores de la Ensenada de Chipehua por permitirnos obtener las muestras de sus capturas.

A Humberto Ceseña por su gran ayuda durante toda la Maestría y colaboración en los trámites.

A Antonio (Toño) del Laboratorio de Morfofisiología por los consejos, colaboración y paciencia en el procesamiento histológico de las muestras.

A mi familia por su constante apoyo tanto económico como moral ya que no fue tan fácil realizar esto sin su cercanía ni chicanacas!!

A Ricardo por aparecer en mi vida en el momento que más lo necesitaba, por darle ese giro especial a todo lo que me rodea, por hacerme tan feliz y por compartir todo lo que tengo! Te amo y lo sabes!

A Pilar Blanco por su gran ayuda, sugerencias y amistad durante la elaboración de este trabajo.

A Ana (amiguis) y Fer (sobrino): gracias por dejarme compartir tantos momentos tan maravillosos, por ser los mejores amigos que alguien pueda tener y por apoyarme siempre, los quiero mucho.

A todas aquellas personas que me apoyaron y estuvieron conmigo en las buenas y malas: Betico y Elizabeth; Pilar y Carlos; Jose “pichi” y Ana; Alfredo Zayas, Carito Galván y José Angel; Juan Pedro “garguis”, Mau Hoyos, Dení y Felipe; Yassir y Vanesa; Mimi Bocanegra, Víctor Cota, Adrianita Martínez, Iván Méndez, Uriel “equipo”, Paul Ahuja, Enrique Nava y demás personas que siempre me apoyaron.

A la familia Rodríguez Paz Rubio por hacerme parte de esa maravillosa familia, por apoyarme y quererme.

A la familia Galván Magaña por la amistad y colaboración que me han brindado durante estos años.

A México por darme la oportunidad de estudiar, vivir y conocer tanta gente tan maravillosa!! Gracias.

ÍNDICE GENERAL

	Página
LISTA DE FIGURAS.	VIII
LISTA DE TABLAS	X
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XVI
ABSTRACT.	XVII
1 INTRODUCCIÓN.	1
2 ANTECEDENTES.	5
3 JUSTIFICACIÓN.	10
4 OBJETIVOS.	11
4.1 Objetivo General.	11
4.2 Objetivos Específicos.	11
5. ÁREA DE ESTUDIO.	12
6. MATERIAL Y MÉTODOS.	15
6.1 Fase de Campo.	15
6.2 Fase de Laboratorio.	19
6.3 Fase de Gabinete.	20
7 RESULTADOS.	21
7.1 Aspectos Pesqueros.	21
7.2 Composición de la captura de tiburón y frecuencia de <i>Sphyrna lewini</i> en las capturas.	24
7.3 Distribución Temporal.	25
7.4 Composición de Tallas y Proporción de Sexos.	26
7.5 Madurez sexual en machos.	28
7.5.1 Caracteres sexuales secundarios.	28
7.5.2 Talla de primera madurez en machos.	30
7.5.3 Morfología del aparato reproductor en machos.	32
7.5.4 Fases del desarrollo de los folículos seminíferos.	34
7.5.5 Conductos Deferentes.	37

7.5.6	Vesícula Seminal.	38
7.6	Madurez Sexual en Hembras.	40
7.6.1	Características Secundarias Externas.	40
7.6.2	Talla de primera madurez en hembras.	40
7.6.3	Morfología del aparato reproductor en hembras.	43
7.6.4	Fecundidad.	46
7.6.5	Ciclo reproductivo y Periodo de gestación.	51
7.6.6	Áreas de Crianza.	51
8.	Discusión.	53
8.1	Aspectos Pesqueros.	53
8.2	Abundancia de la especie en la captura	53
8.3	Composición de tallas y Proporción de sexos.	54
8.4	Madurez en Machos.	55
8.4.1	Talla de Madurez.	55
8.4.2	Fases de desarrollo de los folículos.	57
8.5	Madurez en Hembras.	58
8.5.1	Talla de Madurez.	58
8.5.2	Almacén de esperma.	59
8.5.3	Fecundidad y Periodo de Gestación.	60
8.5.4	Áreas de crianza.	61
9.	CONCLUSIONES.	63
10.	RECOMENDACIONES.	64
11.	BIBLIOGRAFÍA.	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Distribución geográfica del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> .	3
Figura 2.	Batimetría del Golfo de Tehuantepec.	13
Figura 3.	Área de estudio indicando el campo pesquero de Chipechua, Salina Cruz, Oaxaca.	14
Figura 4.	Medidas del gonopterigio.	17
Figura 5.	Características sexuales secundarias en hembras de <i>S. lewini</i> .	17
Figura 6.	Estructuras reproductivas recolectadas en campo.	18
Figura 7.	Medidas de las gónadas.	19
Figura 8.	Embarcaciones utilizadas para la captura de tiburón en Chipechua, Oaxaca.	21
Figura 9.	Palangre de fondo y anzuelos garra de águila número 1 y 2, respectivamente.	22
Figura 10.	Red de enmalle para captura de tiburón.	23
Figura 11.	Número de organismos de <i>Sphyrna lewini</i> capturados con las diferentes artes de pesca.	23
Figura 12.	Longitud total de <i>Sphyrna lewini</i> y su relación con las diferentes artes de pesca usadas para su captura.	23
Figura 13.	Composición específica de tiburón en las capturas en Chipechua, Oaxaca.	24
Figura 14.	Distribución temporal del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> durante el periodo de estudio.	26
Figura 15.	Composición de tallas para machos y hembras de tiburón martillo, <i>Sphyrna lewini</i> .	26
Figura 16.	Proporción de sexos en el tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> (a) por sexos, (b) por estadio.	27
Figura 17.	Proporción de sexos del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> por estaciones.	28

Figura 18.	Gonopterigios de <i>Sphyrna lewini</i> adulto, la fecha indica el rifiodón.	29
Figura 19.	Relación Longitud Total y Longitud del Gonopterigio en diferentes condiciones reproductivas.	30
Figura 20.	Talla de primera madurez en machos de <i>Sphyrna lewini</i> .	31
Figura 21.	Relación largo del testículo y longitud total de <i>Sphyrna lewini</i> .	31
Figura 22.	Relación largo del testículo y longitud total de <i>Sphyrna lewini</i> .	32
Figura 23.	Anatomía del aparato reproductor en machos de <i>Sphyrna lewini</i> .	33
Figura 24.	Esquema de un testículo tipo diamétrico (Tomado de Pratt, 1988).	33
Figura 25.	Fases del desarrollo de los folículos seminíferos.	35
Figura 26.	Espermiogénesis: arreglo espermático coincidiendo con las células de Sertoli.	36
Figura 27.	Conductos deferentes de <i>Sphyrna lewini</i> .	37
Figura 28.	Esquema de espermatozeugmata de tipo compuesto.	39
Figura 29.	Almacén de esperma de <i>Sphyrna lewini</i> : Espermatozeugmata de tipo compuesto.	39
Figura 30.	Hembras maduras de <i>Sphyrna lewini</i> indicando caracteres secundarios externos.	40
Figura 31.	Relación diámetro del oocito con longitud total de <i>Sphyrna lewini</i> .	41
Figura 32.	Relación ancho de la glándula oviducal con longitud total de <i>S. lewini</i> .	42
Figura 33.	Anatomía del aparato reproductor en hembras de <i>Sphyrna lewini</i> .	43
Figura 34.	Glándula oviducal de hembra madura de <i>Sphyrna lewini</i> .	44

Figura 35. Corte transversal de la glándula oviducal de <i>S. lewini</i> .	45
Figura 36. Úteros de <i>Sphyrna lewini</i> .	46
Figura 37. Embriones de <i>Sphyrna lewini</i> : A) Acomodación dentro del útero, B). Membrana placentaria.	47
Figura 38. Embriones de <i>Sphyrna lewini</i> a término de nacer.	47
Figura 39. Relación Longitud Materna vs. Número de embriones de <i>S. lewini</i> .	48
Figura 40. Frecuencia de tallas de los embriones de <i>Sphyrna lewini</i> analizados en el estudio.	49
Figura 41. Distribución temporal de los embriones de <i>Sphyrna lewini</i> durante el año de 2005.	49
Figura 42. Distribución temporal de los embriones de <i>Sphyrna lewini</i> durante el año de 2006.	50
Figura 43. A) Talla de nacimiento de <i>Sphyrna lewini</i> ; B) Neonato.	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución Temporal del tiburón martillo <i>Sphyrna lewini</i> durante el muestreo.	25
---	-----------

GLOSARIO

Almacén de esperma: estrategia que presentan algunos elasmobranquios donde el esperma es retenido o almacenado en la glándula oviducal de la hembra hasta que la ovulación tiene lugar.

Anzuelo: instrumento de pesca, generalmente de acero, que consiste en una pequeña barra doblada en forma de gancho engarzada a un sedal.

Áreas de crianza: Son zonas discretas geográficamente del rango de las especies en donde las hembras grávidas paren a sus crías o depositan sus huevos, y donde las crías pasan sus primeras semanas, meses ó años de vida.

Basófilo: Material celular de carácter ácido, como el núcleo que reacciona con los colorantes básicos como la hematoxilina.

Células foliculares: Células que se adhieren a la periferia de los oocitos formando el folículo y nutriéndolo.

Ciclo gonádico: Evento repetitivo dentro de las gónadas que conduce a la producción de gametos.

Ciclo ovárico: Serie de estadios de desarrollo por los que pasa la gónada femenina desde el reposo hasta el desove.

Ciclo reproductivo: Eventos repetitivos dentro de las gónadas que conducen a la producción de gametos.

Cimbra: también llamada palangre; arte de pesca formada por un cabo principal del cual cuelgan cordeles con anzuelos.

Cúmulos de esperma: los cúmulos de esperma son grupos desnudos polarizados de espermatozoides alineados cabeza con cabeza sin una matriz de unión.

Determinación sexual: el establecimiento de condiciones para que un individuo se desarrolle en macho o hembra, en general resulta de la constitución cromosómica.

Diferenciación sexual: proceso en el cual un embrión sexualmente indiferenciado se desarrolla en macho o hembra.

Embriogénesis: proceso del desarrollo embrionario intralumenal, es decir, dentro del ovario (especies vivíparas). La duración de la embriogénesis intralumenal es muy variable entre especies, desde aquellas en las que los embriones permanecen por poco tiempo en el ovario y salen al exterior en un estado temprano de desarrollo, hasta especies en las que el embrión se desarrolla notablemente, más allá de la fase larvaria, naciendo un individuo juvenil (típico de vivíparas matrotroáficos, con desarrollo de placenta como diversos elasmobranquios).

Embrión: es el estadio de pre-eclosión en el caso de los tiburones ovíparos, en el caso de los vivíparos es el estadio de pre-parto.

Espermatocito: Célula germinal de la estirpe masculina en vías de maduración.

Espermatóforo: Cápsula de material albuminoideo que contiene los espermatozoos. Saco que contiene cierta acumulación de espermatozoides.

Espermatogénesis: Proceso biológico mediante el cual se producen espermatozoides en las gónadas masculinas de los organismos.

Espermatogonia: Célula germinal masculina, diploide que se multiplica activamente por mitosis en la zona germinativa de los testículos.

Espermatozeugmata: Masas organizadas de esperma unidos por una matriz cohesiva para formar masas ovoides a sub esféricas.

Espermatozoide: El gameto masculino maduro, caracterizado por su movilidad.

Espermiogénesis: Fase en que el espermatozoide sufre una diferenciación para adquirir su forma final.

Estrategia reproductiva: Cada individuo tiene un conjunto de rasgos reproductivos los cuales están determinados por su genotipo y de aquí por la historia evolutiva del conjunto de genes de los cuales el individuo es miembro. La combinación de los rasgos reproductivos de los individuos pertenecientes al mismo conjunto genético puede ser considerada como la estrategia reproductiva de esos individuos. Algunos rasgos pueden ser plásticos, mostrando variación, pero otros pueden ser inflexibles, mostrando poca variación. El medio ambiente que un individuo experimenta determinará la expresión del rasgo.

Fecundidad: Capacidad máxima reproductiva; es el eslabón principal entre las estimaciones cuantitativas de huevos y larvas y la estimación del tamaño del stock reproductor.

Folículo: se refiere al ovocito y los tejidos que lo envuelven (granulosa, teca y epitelio superficial en un folículo maduro).

Gameto: Cada una de las dos células que, en la reproducción sexual, se fusionan originando el cigoto.

Gametogénesis: Proceso mediante el cual se forman los gametos en la reproducción sexual. Puede ser difusa o localizada, siendo la última cuando los gametos son producidos en un órgano especial (ovario y testículo) formado por un estroma y una cápsula.

Gónada: Órgano en el que tiene lugar el desarrollo de las células reproductoras.

Gonopterigios: Órganos copuladores del macho, que son modificaciones de los bordes internos de las aletas pélvicas y se prolongan hacia atrás, mucho más que las aletas mismas, son característicos de los elasmobranquios.

Meiosis: Proceso en la formación de los gametos por el que el número diploide de cromosomas se reduce a la mitad.

Mitosis: División celular característica de las células somáticas que produce dos células hijas con el mismo número de cromosomas y de la misma clase de la célula madre.

Neonato: es el posterior a la eclosión o al parto, en tiburones, probablemente dura de un mes a seis semanas, son individuos libres nadadores sin ó con una cicatriz umbilical en el caso de las especies placentadas, o los que tienen una longitud cerca del tamaño de nacimiento en el caso de las especies aplacentadas u ovovivíparas. Para las especies placentadas el estadio de neonato termina cuando se cierra la cicatriz umbilical.

Oocito: Célula sexual femenina en fase de crecimiento y que experimenta la meiosis.

Ovario: Glándula genital femenina en la que tiene lugar la ovogénesis.

Oviducto: Tubo por el cual se conducen los óvulos del ovario al útero. En los vertebrados es un remanente del conducto o canal de Muller.

Saco vitelino: bolsa embrionaria que contiene sustancias alimenticias de las que se nutre el embrión o la larva.

Talla / edad de primera maduración: se define como la talla y/o edad a la cual un individuo se reproduce por primera vez.

Tercer Membrana: Es la cubierta que protege al huevo fecundado; en especies vivíparas placentarias esta membrana es muy delgada y transparente.

Vitelo: Conjunto de sustancias almacenadas en el interior de un huevo para la nutrición del embrión. Material nutritivo en forma de gránulos, presente en el citoplasma de un óvulo.

Viviparismo: En las especies vivíparas los huevos son fecundados internamente y el embrión es retenido en el sistema reproductor materno por un periodo de tiempo determinado.

Viviparidad Placentaria: El desarrollo embrionario se realiza en el cuerpo de la madre y existe una conexión entre el embrión y la madre a través de una pseudoplacenta por la cual le transmite alimento y a su vez el embrión expulsa sus desechos metabólicos.

RESÚMEN

El tiburón martillo *Sphyrna lewini* es la especie de mayor importancia comercial en Oaxaca, sin embargo el conocimiento acerca de su biología reproductiva en la zona es aun escasa. Los muestreos se realizaron semanalmente desde Septiembre de 2004 a Junio de 2006, registrándose 991 tiburones martillo (342 hembras y 649 machos) tanto juveniles como adultos. Asimismo, fueron extraídas las gónadas tanto de hembras como de machos para sus respectivas mediciones y análisis histológico. Se observó un intervalo de tallas entre los 45 a 288 cm LT en ambos sexos, indicando así dos grupos bien diferenciados: una de neonatos y juveniles (entre 45 a 160 cm LT) y otra de adultos (entre 170 a 288 cm LT). La proporción de sexos fue de 1H:2M. El tiburón martillo estuvo presente durante todo el estudio, registrándose las mayores capturas en los meses de mayo a julio, época donde se presentaron las hembras grávidas. En este estudio las hembras alcanzan su madurez sexual a los 220 cm LT debido al incremento del diámetro de los oocitos, glándulas oviducales, úteros y ovarios voluminosos. Con el análisis histológico se observó que los machos presentan testículos de tipo diamétrico. Se encontró esperma en el epidídimo, en los conductos deferentes, presentándose espermatozeugmata de tipo compuesto en la vesícula seminal, indicando una madurez sexual a los 178 cm LT. Respecto a las hembras, no fue posible encontrar almacén de esperma en sus glándulas oviducales, sin embargo esta condición ha sido confirmada para la especie en otros estudios. Se registraron 40 hembras grávidas, principalmente en los meses de mayo a agosto, con un intervalo de 6 a 40 embriones, siendo más frecuente de 14 a 30 embriones por hembra; éstos se presentaron con mayor frecuencia en el mes de junio. La fecundidad máxima registrada es de 40 embriones y el nacimiento ocurre en julio y agosto con una talla entre 41 y 51 cm LT. Debido a la presencia de organismos neonatos y hembras grávidas en la zona, se propone que el área de Salina Cruz, Oaxaca sea un área de crianza para el tiburón martillo.

ABSTRACT

The hammerhead shark *Sphyrna lewini* was the most caught shark in Oaxaca. However the reproductive aspects of the specie in this area of Mexico are unknown. Samples and data were collected every week at the artesanal fishing between September 2004 and June 2006. A total of 991 hammerhead sharks (342 females and 649 males) also juveniles (45 to 160 cm TL) and adults (170 – 288 cm TL) were sampled. Sex ratio in adults was 1F:2M. The hammerhead shark was present all year but the biggest abundance was in May to July, this is the season when the pregnant females appear. Size of first maturity for females was 220 cm TL (increase in diameter of the oocyte, width of the oviductal gland). The histological analysis showed that males have diametric testes, sperm in epididymis, ductus deferens and compound spermatozeugmata in seminal vesicle, which suggests a size of first maturity for males at 180 cm TL. We don't found sperm storage in the oviductal glands of females but this condition has been confirm for the specie. We recorded 40 pregnant females with an interval of 6 to 40 embryos. Births were in July to August and the birth size was between 41 to 51 cm TL. We propose Salina Cruz, Oaxaca as a nursery area for hammerhead shark *Sphyrna lewini*.

INTRODUCCIÓN

El tiburón es un recurso marino de gran importancia para muchas culturas y comunidades a través del mundo; más de cien países practican su pesca (FAO, 1998). Registros recientes de la FAO y otras fuentes calculan que en el mundo se obtiene cada año 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, 2003).

En México, la pesquería de tiburón beneficia principalmente a quienes viven casi exclusivamente de este recurso. Al igual que otras especies de peces óseos (pargo, sierra, lisa, etc.), los tiburones son una fuente importante de alimento a nivel local, regional y nacional, por lo que su captura y consumo tienen repercusiones sociales y económicas (Soriano y Acal, 2003). Romeau (2001) indica que de las casi 400 especies de tiburón que existen en el mundo, aproximadamente 100 viven en aguas mexicanas, y al menos 40 se utilizan comercialmente.

Como consecuencia del uso de diferentes artes de captura (redes agalleras, redes de enmalles, cimbras, palangres) y zonas de pesca, la composición de la captura, además de ser multiespecífica, incluye una gran variedad de tallas y estadios de desarrollo: organismos recién nacidos (neonatos), juveniles y adultos, incluso hembras preñadas con diferentes estadios embrionarios, la mayoría en estadios avanzados (Márquez, 2003).

Aunque no siempre se aprovecha en su totalidad, el tiburón tiene múltiples usos ya que su piel tiene un gran valor por ser gruesa y resistente, de la cual se obtiene un cuero de buena calidad; su carne es aprovechada en fresco o salada para el consumo humano y la elaboración de harina; mientras que de su hígado se extrae

aceite; sus dientes se usan en adornos, armas o rituales y las aletas para platos clásicos y tradicionales en Oriente (Mejía y Acero, 2002). Sin embargo la pesca sobre este tipo de recursos marinos de los cuales se tiene poca información biológica, no permite un adecuado manejo de su pesquería. Los tiburones de diversas especies son objeto de pesca indiscriminada y no se conocen los estudios biológicos que incluyan abundancia, reproducción, edad, crecimiento y alimentación.

Actualmente son pocos los países que han puesto en marcha un sistema de ordenación de las pesquerías de tiburón y no hay ningún mecanismo internacional de ordenación que se ocupe activamente de sus capturas. Al igual que con otras especies marinas, se requiere una organización adecuada para no agotar las poblaciones e impedir la disminución del recurso (FAO, 1998).

En el estado de Oaxaca, después del camarón, las principales especies pesqueras son la mojarra, la lisa y el tiburón. Para la década de los 70 y 90, la pesquería de tiburón registró volúmenes de captura relativamente bajos con respecto a los valores alcanzados en los 80, donde alcanzó una máxima producción de 1048 toneladas (Tapia-García y Gutiérrez, 1998). Las especies que se capturan pertenecen a los órdenes Carcharhiniformes, Lamniformes y Orectolobiformes, que incluyen a los géneros *Carcharhinus*, *Nasolamia*, *Galeocerdo*, *Prionace*, *Alopias*, *Isurus*, *Sphyrna*, *Mustelus*, y *Ginglymostoma*; de las cuales se registran 18 especies, siendo *Sphyrna lewini* la primer especie en orden de importancia de captura (INP, 2000).

El tiburón martillo *Sphyrna lewini* es una especie cosmopolita, que habita en aguas tropicales, subtropicales y templadas (Fig. 1).

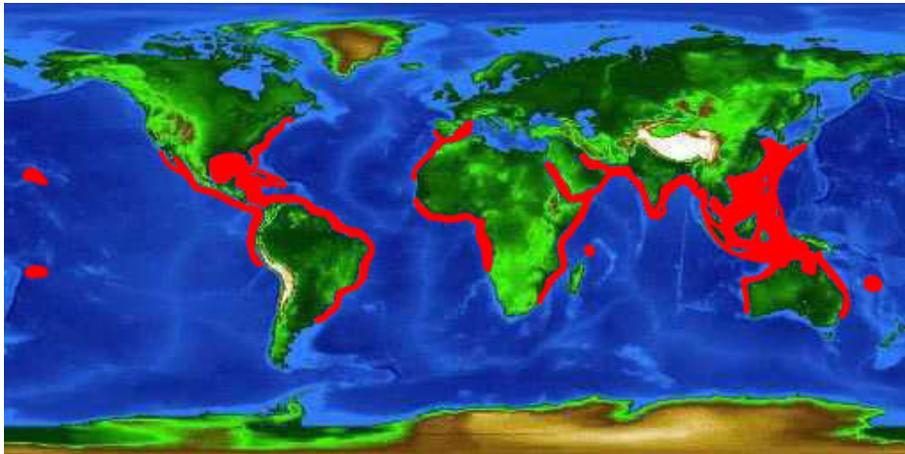


Figura 1. Distribución geográfica del tiburón martillo *Sphyrna lewini*.

Los individuos juveniles habitan principalmente en áreas costeras, llegando a formar agrupaciones con predominancia de hembras; mientras que los adultos se les encuentra viviendo solitarios o en grupos menores (Klimley, 1981; Klimley y Nelson, 1981). Los estudios realizados sobre hábitos alimenticios indican que los juveniles se alimentan principalmente de peces bentónicos y neríticos y los adultos de peces neríticos y epipelágicos, así como de cefalópodos, rayas, langostas, camarones y cangrejos (Klimley, 1982; Castro, 1983; Aguilar, 2003).

Es una especie vivípara placentaria con sólo un ovario funcional; los oocitos son fertilizados internamente y durante el desarrollo los embriones forman una placenta con el útero materno para el traspaso de sustancias nutritivas (Wourms, 1981, Pratt, 1988).

Los elasmobranquios exhiben diversas estrategias reproductivas (madurez tardía, fecundidad baja y largos periodos de gestación), la mayoría de las poblaciones no responden satisfactoriamente a las técnicas de pesca, que están enfocadas generalmente a la captura de peces óseos. Como consecuencia, este recurso se caracteriza por ser de corto tiempo o de baja producción, además de que es lento en recuperarse y algunas veces requiere décadas para alcanzar sus anteriores niveles poblacionales (Holden, 1974; Cailliet y Bedford, 1983).

Para determinar la biología reproductiva generalmente son usados datos morfométricos y características externas de los organismos, tomando medidas de las estructuras reproductivas para categorizar a hembras y machos como adultos o juveniles. Asimismo, se estiman la fecundidad mediante el conteo de embriones y el periodo de gestación; sin embargo, algunos aspectos como el periodo de apareamiento o fertilización son difíciles de determinar (Carrera, 2004).

Actualmente, son más los trabajos que utilizan el método histológico como una herramienta para conocer la biología reproductiva, con mayor énfasis en el proceso de gametogénesis, el tipo de almacén de esperma, el tiempo que está almacenado y de esta manera poder determinar periodos definidos de actividad reproductiva como el apareamiento, la fertilización de los oocitos y el inicio de la gestación, estableciendo estados de madurez más específicos (Carrera, 2004).

Desde este punto de vista, y considerando el papel que tienen los tiburones como depredadores superiores en los ecosistemas marinos, esta investigación aporta información biológica de la biología reproductiva del tiburón martillo *Sphyrna lewini* en Salina Cruz, Oaxaca, permitiendo conocer la capacidad reproductiva de esta especie y por lo tanto la tasa de recuperación de la población, las principales áreas de crianza, el desarrollo de juveniles y consecuentemente proporciona bases para poder recomendar medidas pesqueras que contribuyan a una correcta administración de estos recursos pesqueros y de esta manera establecer áreas de conservación de esta especie de tiburón.

2. ANTECEDENTES

La investigación sobre tiburones se ha dirigido primordialmente a la caracterización de sus pesquerías, hábitos alimenticios así como a los movimientos verticales y horizontales de adultos (Klimley y Nelson (1984), Klimley *et al.* (1993), INP (2000), Anislado (2000), Campuzano (2002), Aguilar (2003), Torres (2004), Torres (2004)); sin embargo, son escasos los estudios biológicos precisos de su reproducción.

Es probable que existan áreas importantes de reproducción o alimentación de diversas especies de tiburones en el área de Salina Cruz, Oaxaca, ya que se ha detectado que existen zonas de expulsión de crías, así como zonas de alimentación de estas especies (INP, 2000).

Sphyrna lewini es el componente principal en muchas pesquerías tanto a nivel mundial como nacional y en algunos casos, es la especie que sostiene esta actividad al ser uno de los tiburones más abundantes en aguas tropicales (Castro, 1983, Compagno, 1984, Torres, 1999 y Campuzano, 2002).

A nivel internacional, el estudio sobre el tiburón martillo *S. lewini* ha sido abordado por Gilbert (1967), quien realizó una investigación sobre la biología y aspectos taxonómicos de las especies que componen la familia Sphyrnidae como filogenia, crecimiento, historia de vida y biogeografía.

Clarke (1971) determinó la localización de algunas áreas de crianza en Hawaii, tiempo de residencia y los movimientos realizados por los neonatos mediante el método de marcado, captura – recaptura, encontrando que el periodo de nacimiento ocurre entre abril y octubre. Asimismo encontró que las crías permanecen en las zonas turbias durante el día para desplazarse hacia los arrecifes en la noche para alimentarse.

Castro (1983), hace una descripción de características diagnósticas de la especie, distribución, hábitat, alimentación, biología, reproducción, donde reporta tallas de madurez de 180 centímetros de longitud total y tallas de nacimiento de 38 a 45 centímetros de longitud total. Asimismo, Compagno (1984) hace una revisión de *Sphyrna lewini* describiendo distribución geográfica y algunas características biológicas de la especie.

Chen *et al.* (1988) describieron la biología reproductiva de *S. lewini* en un mercado de Taiwán durante dos periodos de estudio, obteniendo 674 organismos, de los cuales 571 organismos eran hembras y 133 machos, encontrando tallas de madurez sexual de 230 centímetros de longitud total en hembras y 198 centímetros de longitud total en machos.

Pratt (1988) empleó histología para señalar algunas características microscópicas del desarrollo gonadal de *S. lewini*. Asimismo, en 1993, este mismo autor realiza una descripción del almacenamiento de esperma en nueve especies de tiburones, concluyendo de esta manera, que las hembras de *S. lewini* almacenan esperma en sus glándulas oviducuales por periodos de tiempo que van de varios meses a un año. Holland *et al.* (1993) investigaron el movimiento de juveniles de *S. lewini* en zonas de crianza empleando técnicas de telemetría.

Finalmente, Lessa *et al.* (1998) y Hazin *et al.* (2001) estudiaron aspectos de la biología reproductiva de juveniles de *S. lewini* y *S. tudes* en Brasil con ejemplares obtenidos de la captura comercial. La talla de madurez sexual para las hembras fue estimada a los 240 centímetros de longitud total; mientras que para los machos a los 180 y 200 centímetros de longitud total. Las hembras grávidas tienen entre 2 y 21 embriones o crías, cuya longitud oscila en los 38 centímetros de longitud total.

En México, Klimley (1981) describió la agregación del tiburón martillo *S. lewini* del Golfo de California aportando información importante acerca del comportamiento de esta especie.

Saucedo (1982) observa en el Golfo de California hembras grávidas con avanzado estado embrionario, infiriendo que existe una zona de expulsión de crías en el sur de Sinaloa.

En 1984, Klimley y Nelson realizaron un estudio acerca de los patrones de movimiento del tiburón martillo en El Bajo Espíritu Santo en el Golfo de California. Para esto, marcaron tiburones e hicieron seguimiento usando telemetría ultrasónica encontrando desplazamientos en grupo y de organismos solitarios. Asimismo, Klimley (1985), compara el comportamiento de cardúmenes de *Sphyrna lewini* con el de algunos teleósteos, argumentando que estas agrupaciones se deben a comportamientos sociales y no de protección como en los teleósteos.

En 1987, Klimley determina la segregación sexual de este tiburón, considerando la dieta, crecimiento y talla de madurez en El Bajo de Espíritu Santo (Golfo de California). Encuentra que las hembras se segregan de los machos moviéndose hacia aguas oceánicas como una estrategia adaptativa al momento de la gestación ya que su cuerpo debe ser más grande al momento de fertilizar los oocitos.

Branstetter (1987) estimó los patrones de edad y crecimiento y aspectos de la biología reproductiva de *Carcharhinus falciformis* y *Sphyrna lewini* en el noroeste del Golfo de México. En su estudio sugirió que las hembras de *S. lewini* maduran a 250 centímetros de longitud total, más o menos a los 15 años; mientras que los machos alcanzan la madurez a 180 centímetros de longitud total, entre los 9 y 10 años.

Marín (1992) describió la biología de algunos tiburones en las costas de Tamaulipas y Veracruz, incluyendo a *Sphyrna lewini* donde incluyó características diagnósticas de la especie, hábitat, distribución, abundancia, variación estacional, talla, reproducción, alimentación, entre otros.

Klimley *et al.* (1993) describieron los movimientos verticales y horizontales de cuatro tiburones martillo mediante transmisores ultrasónicos en El Bajo Espíritu Santo e Isla

Las Animas en el Golfo de California. Determinaron que estos tiburones siguen una ruta específica hacia sus lugares de alimentación, descartando así la idea que estos movimientos eran por termorregulación.

Torres (1999), describe la biología reproductiva de la especie a partir de datos morfométricos en nueve campos pesqueros del noroeste de México, obteniendo datos de madurez sexual en machos de 173 centímetros de longitud total, mientras que las hembras la presentan a los 232 centímetros de longitud total, el periodo de gestación de 11 meses aproximadamente con una fecundidad máxima de 32 embriones. Los nacimientos ocurrieron en el mes de junio con tallas de nacimiento de 41 a 49 centímetros de longitud total; la proporción de sexos entre embriones, neonatos y juveniles fue de 1:1, excepto en adultos, siendo las hembras más abundantes en la región central del Golfo, mientras que los machos predominaron en el sur.

En el Golfo de Tehuantepec se observa que la longitud total de ambos sexos va de 30 a 495 centímetros con un promedio de 74.5 centímetros de LT. La talla mínima de madurez se observa a partir de 100 centímetros de longitud total, con presencia de un alto porcentaje de ejemplares inmaduros (92.5%); no obstante, el intervalo de tallas para las hembras es de 30 a 495 centímetros de longitud total y para los machos de 35 a 324 centímetros de longitud total (INP, 2000).

Importante información es aportada por Anislado (2000) acerca de la ecología pesquera de *Sphyrna lewini*, basando su estudio en 4692 organismos recolectados durante 11 años procedentes de la pesca artesanal de la costa michoacana, encontrando tres zonas de segregación social, siendo la más importante el área de refugio y crianza; asimismo obtiene datos de gestación de 10 meses aproximadamente con partos de 30 crías en promedio.

Campuzano (2002) realiza un estudio acerca de la biología y pesquería del tiburón martillo *S. lewini* en Puerto Madero, Chiapas a partir de 6622 organismos, encontrando que la madurez sexual en hembras es tardía en comparación con los

machos; es una especie de fecundidad media con camadas muy variables encontrando la fecundidad máxima en una hembra de 380 centímetros de longitud total con 43 embriones durante mayo a julio.

Soria (2003) realiza una descripción anatómica e histológica del sistema reproductor de juveniles de *S. lewini* en la península de Baja California Sur, contribuyendo así al conocimiento de la dinámica del ciclo reproductivo de la especie desde el punto de vista de los cambios morfológicos a nivel microscópico.

Finalmente, Torres (2004) realiza un estudio sobre la distribución, abundancia y hábitos alimenticios de juveniles de *S. lewini* en la costa de Sinaloa, confirmando así que las hembras llegan primero a estas costas con el fin de dar a luz a sus crías y reporta que la época de nacimiento de éstas ocurre en mayo y junio.

3. JUSTIFICACIÓN

En comparación con los peces óseos, existen características reproductivas particulares de los tiburones, entre ellas tienen una madurez sexual tardía, un crecimiento lento, invierten gran cantidad de energía en la producción de un número de crías relativamente bajo, y algunas especies solo se reproducen cada dos años, lo cual los hace vulnerables a la explotación. Debido a estas características, la tasa de reemplazo dentro de las poblaciones es mínima (Hoening & Gruber, 1990).

En México, *S. lewini* representa la especie más importante en la pesquería en Salina Cruz, Oaxaca, sin embargo, existen pocas investigaciones concernientes a su biología, lo cual impide la realización de estudios del potencial para su explotación (INP, 2000). El entendimiento de su reproducción es importante para el éxito de un manejo adecuado de su pesquería. Debido a las diferencias en sus historias de vida, las especies de elasmobranquios varían en cuanto a su condición de madurez reproductiva; la madurez sexual debe ser determinada por el método más certero posible y la presencia de productos sexuales totalmente formados es el indicador más preciso (Hoyos, 2003). Por lo anterior, estudios con análisis histológico involucran una descripción exhaustiva y detallada de sus órganos reproductores, permiten aportar un conocimiento más preciso y completo acerca de la biología reproductiva de estas especies.

Para conservar las existencias de estos depredadores, es necesario conocer más sobre su biología y la dinámica de sus poblaciones. Estimar la vulnerabilidad por actividad de pesca y así poder aportar bases para la realización de un plan de manejo adecuado.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Describir la biología reproductiva del tiburón martillo *Sphyrna lewini* de la zona de Salina Cruz, Oaxaca, México.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir los aspectos pesqueros y la composición de capturas del tiburón martillo en Salina Cruz.
- Determinar la distribución temporal de la especie.
- Determinar la composición de tallas en juveniles y adultos.
- Obtener la talla de primera madurez sexual.
- Determinar la proporción de sexos.
- Describir la morfología externa e interna del aparato reproductor en machos y hembras.
- Describir el proceso de espermatogénesis y el almacenamiento de esperma en la glándula oviducal.
- Determinar la fecundidad, talla y época de nacimiento.
- Establecer si la zona de estudio corresponde a un área de crianza.

5. ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de Tehuantepec tiene una ubicación estratégica para México ya que representa una vía de conexión entre el Golfo de México y la cuenca del Pacífico a través del Istmo de Tehuantepec. Es una región aproximadamente de 125,000 km² delimitada al sur por la latitud de 12° N, al norte por la costa mexicana entre Puerto Angel, Oaxaca y Puerto Madero, Chiapas; al este por el meridiano 92° W y al oeste por el meridiano 97° W (Arias, 2005).

El Golfo de Tehuantepec se caracteriza por una distribución heterogénea de la temperatura superficial debido al efecto del viento. En invierno la temperatura superficial del mar son bajas, las velocidades del viento son altas y también en las regiones inmediatamente adyacentes, lo cual indica que hay difusión de agua fría hacia las áreas vecinas. Durante el verano los vientos son generalmente débiles y soplan en una dirección norte, noreste y este, alterados con la presencia ocasional de perturbaciones tropicales y las temperaturas varían entre 28 y 30° C. La temperatura superficial mínima en las aguas del Golfo de Tehuantepec varía entre los 18 y 21°C. Las aguas superficiales del Golfo quedan sometidas durante el invierno a vientos intensos (nortes) que soplan a través del Istmo dando lugar al acceso de aguas superficiales (surgencia eólica) (Fernández *et al.*, 1992).

En general, la salinidad para las aguas del Golfo de Tehuantepec presenta valores que oscilan entre 30 y 35 ups. Los promedios mensuales de salinidad registran cierto efecto de dilución debido al período de lluvias encontrándose valores de 33.1 y 33.7 ups (García, 1973).

La circulación en la región del Golfo de Tehuantepec está influenciada por la Contracorriente Norecuatorial Ecuatorial (CCNE) y la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR). La Corriente de Costa Rica se desvía hacia el oeste debido a que los vientos Alisios soplan del noroeste; este cambio es sustentado por un flujo hacia el sur, producto de los “tehanos” (Arias, 2005).

Las corrientes son irregulares ya que fluctúan con los cambios de dirección de los vientos; existe una corriente de arrastre de sedimentos y partículas de arena de oeste hacia el sureste de tipo superficial. Así mismo existe una contracorriente que se dirige de sureste a noreste de tal forma que en el Golfo de Tehuantepec, en su plataforma continental por su baja profundidad (1800 metros) sucede un fenómeno de embudo de succión de partículas sólidas suspendidas o arrastradas que son depositadas rápidamente en las barreras físicas que separan a las lagunas costeras del mar ocasionando con esto, en algunas localidades, el cierre de las bocas de manera temporal o permanentemente (Fernández *et al.*, 1992).

En general, el Golfo de Tehuantepec posee una plataforma continental estrecha en la porción oeste, que se va ensanchando hacia el este por la desviación que sufre la Trinchera Mesoamericana respecto al continente, lo que provoca que la plataforma continental sea más ancha. La plataforma continental que se observa frente a las costas de Oaxaca tiene poca amplitud y abarca unos 4 o 6 kilómetros, esto continúa hasta el meridiano 95 y ahí se inicia bruscamente un ensanchamiento que alcanza hasta 50 kilómetros (Figura 2) (Arellano, 2003).

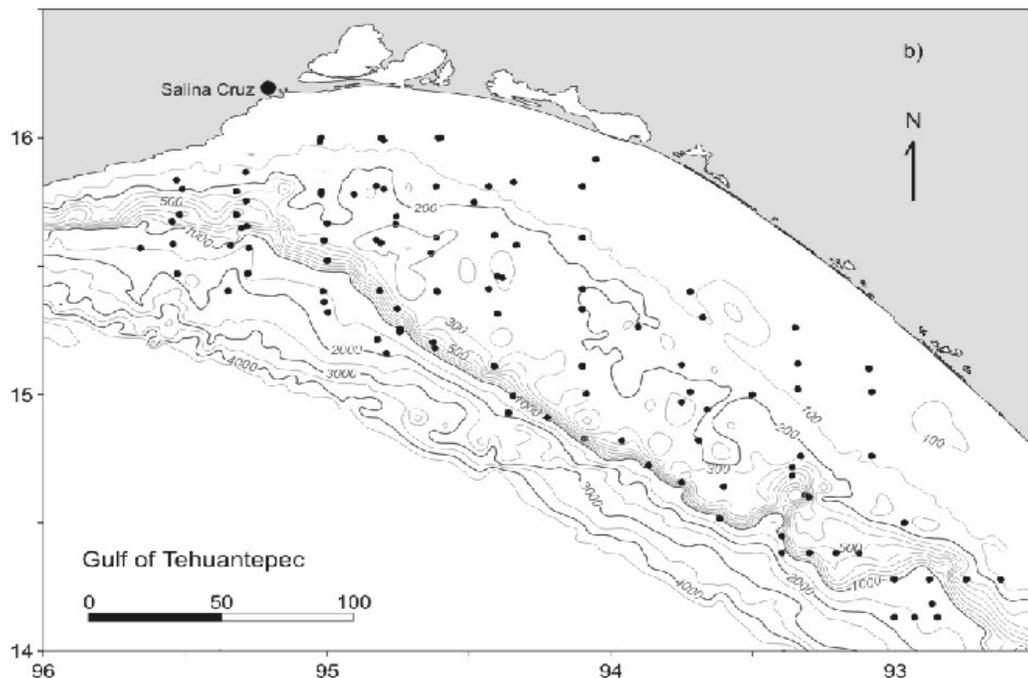


Figura 2. Batimetría del Golfo de Tehuantepec (Tomado de Arellano, 2003).

Salina Cruz, Oaxaca, se encuentra ubicada dentro del Golfo de Tehuantepec el cual es un ecosistema de características particulares, principalmente como resultado de los fenómenos meteorológicos que influyen en la dinámica del golfo y determinan las condiciones ecológicas prevalecientes. Este sistema está sujeto a impactos naturales o industriales por el hombre, que de alguna forma influyen en la composición de especies, su abundancia y su distribución, y por lo tanto, en la estructura y función del sistema. (Tapia y Gutierrez, 1998) (Figura 3).



Figura 3. Área de estudio indicando el campo pesquero de Chipecua, Salina Cruz, Oaxaca.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 FASE DE CAMPO

Los muestreos se realizaron semanalmente desde Septiembre de 2004 a Junio de 2006 en el campo pesquero de Chipehua en el área de Salina Cruz, Oaxaca, obteniéndose las muestras a partir de pesquerías artesanales. Para la toma de datos biológicos, se contó con un formato previamente elaborado en el cual se tuvo en cuenta:

- ✿ **Especie:** se identificaron los organismos con base a las claves para identificación de tiburones realizadas por Espinosa *et al.* (2004), Compagno (1984), Castro (1983), Compagno *et al.* (1995).
- ✿ **Longitud total:** los ejemplares fueron medidos con una cinta métrica (centímetros) desde la punta del hocico hasta la punta terminal del lóbulo superior de la aleta caudal (Compagno, 1984).
- ✿ **Sexo:** se diferenciaron por la presencia de gonopterigios (órganos copuladores) en machos.

- ✿ **Estadio:** se evaluó de acuerdo al criterio de Castro (1983):
 - **Embrión** pre-eclosión o pre-parto en el caso de los vivíparos;
 - **Neonato** organismo recién nacido que en el caso de las especies vivíparas la característica más sobresaliente es la conexión umbilical, cuya abertura se presenta en diferentes modalidades dependiendo del tiempo de nacido: abierta, iniciando la cicatrización y ya cicatrizada.
 - **Juveniles:** Aquí se incluyen desde los organismos que presentan rasgos de la cicatriz umbilical, ya cerrada. Las características físicas de los machos se evidencian por el temprano desarrollo de los gonopterigios. En una etapa

avanzada de esta fase, los órganos sexuales internos se aprecian delgados, pálidos y rígidos, tanto en hembras como en machos.

- **Adulto:** Los machos presentan los gonopterigios completamente calcificados, vascularizados y con capacidad de rotación hacia la parte anterior del animal. Los testículos grandes y completamente vascularizados, los ductos deferentes se caracterizan por presentar varias vueltas sobre sí mismos con presencia de fluido seminal, el cual se detectó al hacer un corte transversal en varios puntos del epidídimo e incluso en la vesícula seminal. Las hembras muestran los ovarios de gran tamaño con aspecto granuloso y presencia de folículos maduros.
- **Gravidez:** Esta fase fue asignada a todas las hembras que mostraban evidencias de cicatriz de cópula (mordidas) en diversas partes de su cuerpo, especialmente en la región de las aletas pectorales. Así mismo los órganos internos como ovario, útero, y oviductos con rasgos de gravidez. Se detecta la presencia de óvulos maduros en el útero como indicadores de preñez, así como en estados más avanzados la presencia de fetos y/o embriones en desarrollo.

- ✿ Método y localidad de la colecta, arte de pesca, tipo de carnada utilizada, profundidad y distancia a la costa del lugar de captura.

Para determinar la madurez sexual se tuvo en cuenta los criterios establecidos por Springer (1960) y Clark & von Schmidt (1965): Para los **machos**, una de las medidas es la longitud de los gonopterigios, para esto se mide desde la parte posterior de la cloaca hasta la parte distal de éstos, así como el grado de calcificación, considerando sexualmente maduros a los machos con gonopterigios calcificados,

con rotación, apertura del rifiodón (punta distal del gonopterigio) y con esperma en los ductos deferentes (Figura 4).

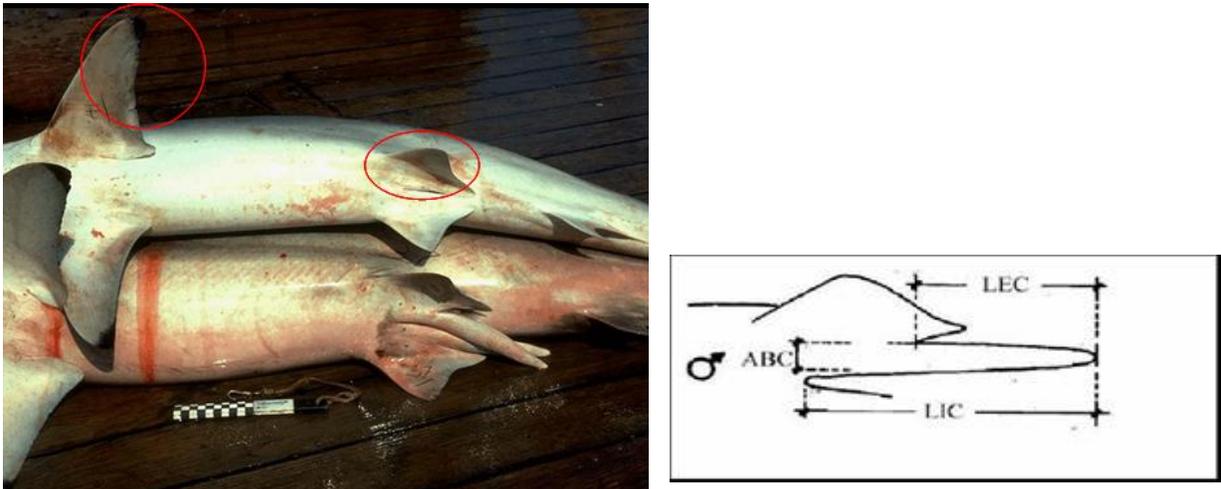


Figura 4. Medidas del gonopterigio. LEC= longitud exterior; ABC= ancho de la base y la utilizada en el estudio LIC= longitud interna (Compagno, 2002).

En las **hembras** se observó si tenían el himen roto y si presentaron oocitos maduros en el ovario o huevos y/o embriones en el útero. También se tuvo en cuenta la presencia de heridas en las aletas pectorales (marcas de dientes) causadas por el cortejo (Figura 5).



Figura 5. Características sexuales secundarias en hembras de *S. lewini*

El tamaño y condición de los órganos internos de ambos sexos fueron observados y medidos. Se realizó una incisión desde la cloaca hasta el centro de las aletas pectorales para permitir el acceso a la cavidad corporal. Se extrajeron las estructuras reproductivas para ser fijadas en formol al 10% para su posterior análisis (glándulas oviducal y en los machos los testículos, epidídimo, ductos deferentes y vesícula seminal) (Figura 6).

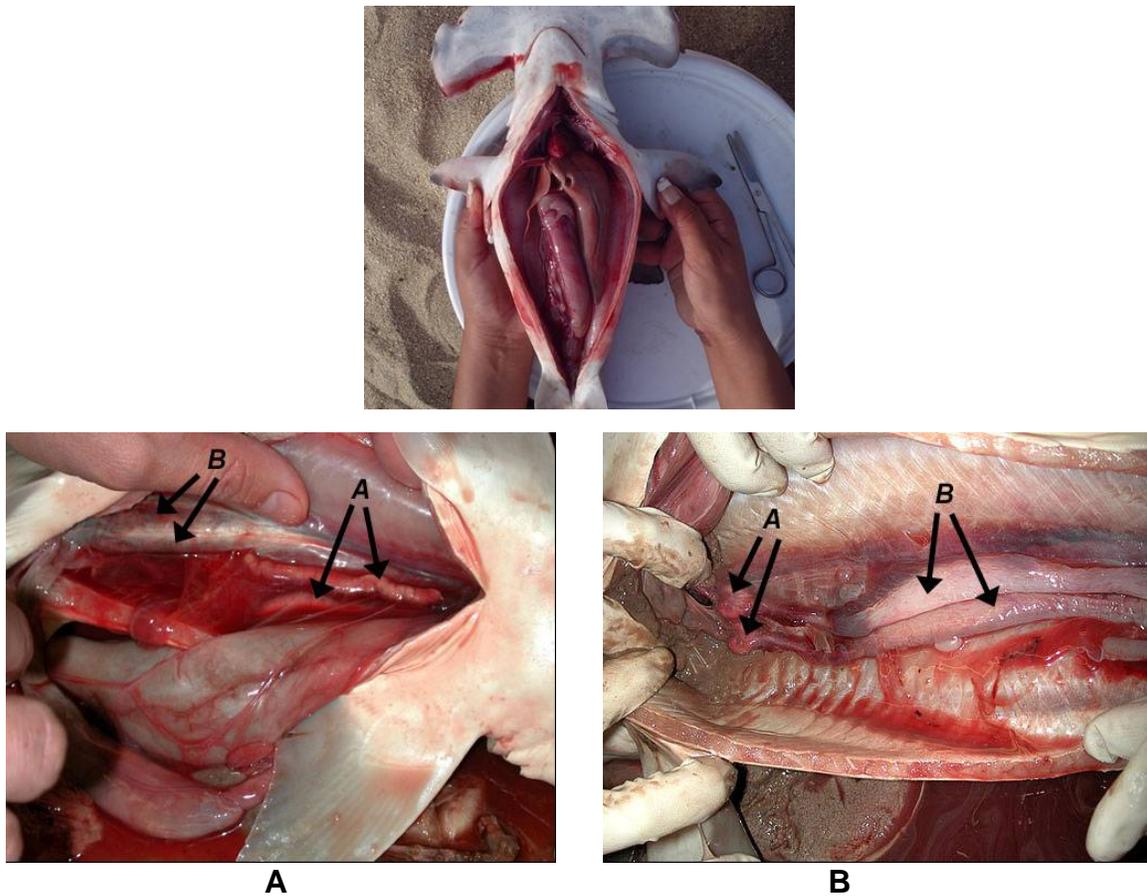


Figura 6. Estructuras reproductivas recolectadas en campo: A). Machos; B). Hembras

6.2 FASE DE LABORATORIO

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron lavadas con agua corriente durante 6 a 8 horas con el fin de eliminar el exceso de arena, posteriormente se preservaron las estructuras nuevamente en formol al 10% (Pratt, 1979).

Cada muestra fue revisada para su descripción morfológica. En el caso de las **hembras**, se midió el diámetro del oocito más grande y el ancho de las glándulas oviducal, se realizaron cortes histológicos en la parte media y posterior de la glándula oviducal; los embriones se contaron, midieron y sexaron. En los **machos**, se midieron el largo y ancho de los testículos, se hicieron cortes histológicos en la parte media del testículo, en el epidídimo, conductos deferentes y vesícula seminal para observar el almacén de esperma y determinar el estado de madurez (Pratt y Tanaka, 1994) (Figura 7).



Figura 7. Medidas de las gónadas: A). Hembras; B). Machos

El análisis histológico se realizó en el Laboratorio de Morfofisiología del CICIMAR y se tuvo en cuenta la técnica descrita por Martoja y Martoja (1970); para esto las muestras fueron lavadas para eliminar el exceso de formol y se colocaron en alcohol al 70% durante 2 o 3 días. Una vez transcurrido este tiempo, se deshidrataron mediante cambios sucesivos de alcohol a concentraciones crecientes en un procesador de tejidos e incluidas en Paraplast. Los cortes transversales fueron de un grosor de 5 a 7 μ m con un micrótopo para ser colocadas en los portaobjetos; para

la tinción con Hematoxilina – Eosina se colocaron las muestras previamente en una estufa con el fin de fundir la parafina excedente para luego teñirlas para su posterior análisis en el microscopio óptico.

6.3 FASE DE GABINETE

La distribución temporal se analizó de acuerdo al número de organismos capturados en los días de muestreo durante el tiempo de estudio; para obtener la composición de tallas entre ambos sexos, se agruparon dichos datos en tablas de frecuencia con intervalos (Daniel, 2002) y mediante histogramas. Asimismo, para determinar la proporción de sexos se tuvo en cuenta el número total de organismos de cada sexo para dividir el número total de hembras entre el número de machos, se utilizó una X^2 para comprobar si existe diferencia significativa en la proporción.

Asimismo, para observar si existía relación entre el largo del gonopterigio con la longitud total, así como el grado de calcificación, se realizó un análisis de regresión lineal ya que de acuerdo con Pratt (1979), esta relación es un índice de madurez. Para las hembras se realizó el mismo análisis con el ancho de la glándula oviducal y la longitud total, indicando así el comienzo del periodo de madurez (Natanson y Cailliet, 1986).

La talla de primera madurez se determinó cuando el 50% de los individuos son sexualmente maduros (Pratt y Otake, 1990). La fecundidad se determinó por medio del conteo de embriones (Pratt, 1979).

7. RESULTADOS

7.1 ASPECTOS PESQUEROS

La totalidad de las capturas de tiburones desembarcados en el campo pesquero de Chipehua (Oaxaca) provienen de embarcaciones menores tipo “lancha” de fibra de vidrio de 6 y 7 metros de eslora con una capacidad de 800 Kg. Emplean motores fuera de borda de 48, 60, 75 y 90 hp, por cada embarcación hay una cantidad de 5 pescadores que la abordan (Figura 8).



Figura 8. Embarcaciones utilizadas para la captura de tiburón en Chipehua, Oaxaca.

Los principales equipos de pesca utilizados para la captura de *Sphyrna lewini* en la zona son cimbra (palangre de fondo), red agallera y trasmallo. Los pescadores emplean las cimbras o palangres como principal arte de pesca para la captura de *Carcharhinus limbatus*, *C. limbatus*, *C. obscurus* y *C. leucas*, *Sphyrna lewini*, *Galeocerdo cuvier* y *Alopias pelagicus*, ya que son especies de dimensiones mayores que las utilizadas por las redes agalleras.

Las cimbras son de tipo fondo compuesta por una línea madre con una longitud que va de los 800 a los 1000 metros, unidos a ella entre 160 y 200 reinales, la distancia entre reinales es de aproximadamente 5 m., la longitud de éstos abarcan de los 120 centímetros a los 180 centímetros, algunos reinales presentan en la parte final inferior una pequeña línea de metal llamado “alambradas”, el cual sostiene al anzuelo

con mayor fuerza. El número de anzuelos empleados va de los 160 a 200 y 400, de tipo rectos, noruego y garra de águila, (Figura 9) del número 4 y 5; la línea madre esta sujeta a un par de orinques en cada extremo de donde se coloca los flotadores y los grampines para que quede fijo en el lugar. Las cimbras son caladas a una profundidad entre los 50 y 70 m de profundidad. Con este arte se capturaron la mayoría de los organismos (443 individuos) cuyos intervalos de talla oscilan entre los 110 a 286centímetros de longitud total.



Figura 9. Palangre de fondo y anzuelos garra de águila número 1 y 2, respectivamente (Tomado de Cifuentes *et al.*, sin año; Jiménez, manuscrito).

Asimismo, las redes empleadas son las agalleras de material nylon de 200m x 6m x 150mm; 200m x 9m x 75mm; 200m x 10m x 120mm; 300m x 4m x 127mm, además las de 3 ½, 3, 5 y 2 ½ pulgadas de luz de malla (Figura 10). Este arte de pesca es empleado principalmente para la captura de especies de escama, pero de acuerdo a las temporadas del año en donde los cazones abundan en la zona los pescadores emplean las redes agalleras para su extracción, alejándose un poco más de la costa para su captura. Solo 70 organismos fueron capturados con redes agalleras; sin embargo si variaron las tallas, obteniéndose así individuos de 70 a 100 centímetros de longitud total, con poca variación con respecto a las longitudes obtenidas con el trasmallo (79 a 106 centímetros de longitud total), donde la captura fue significativamente menor respecto a los otros dos artes de pesca empleados (19 organismos) (Figuras 11 y 12).



Figura 10. Red de enmalle para captura de tiburón (Tomado y modificado de Arana, 2000).

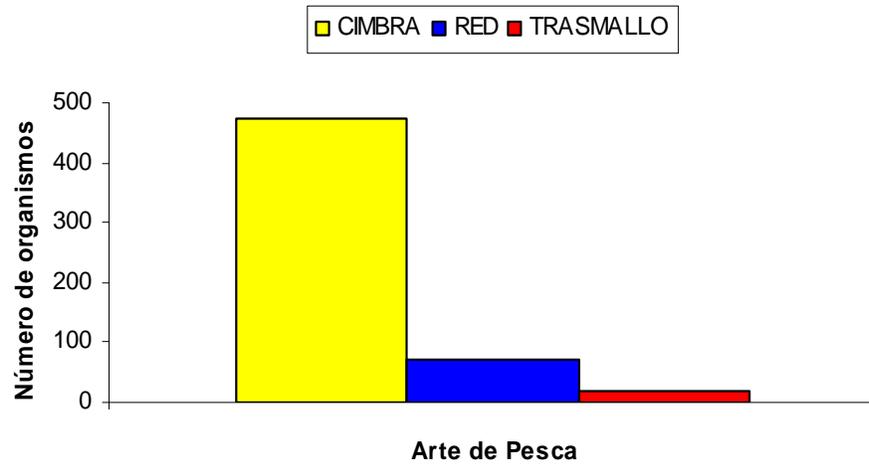


Figura 11. Número de organismos de *Sphyrna lewini* capturados con las diferentes artes de pesca.

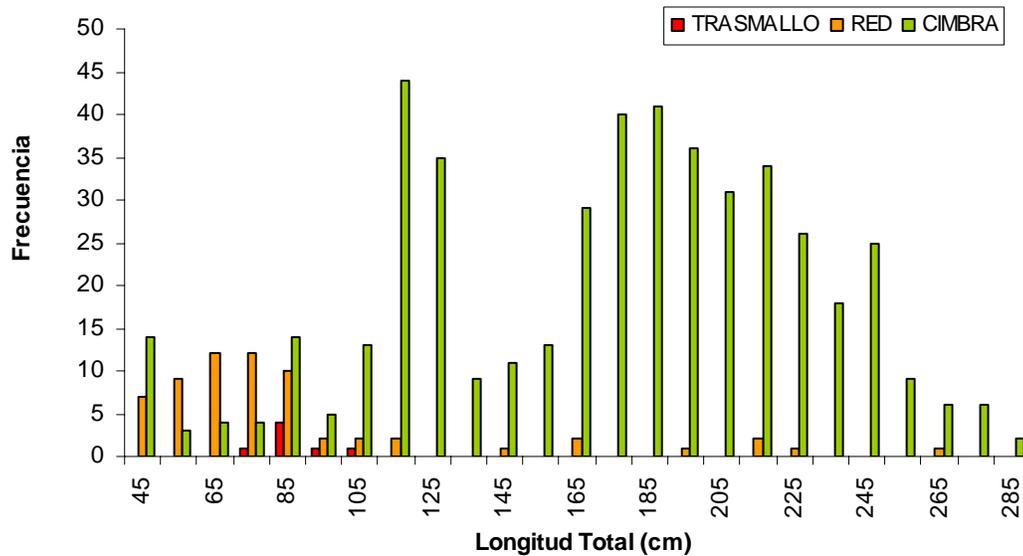


Figura 12. Longitud total de *Sphyrna lewini* y su relación con las diferentes artes de pesca usadas para su captura.

7.2 COMPOSICIÓN DE LA CAPTURA DE TIBURÓN Y FRECUENCIA DE *Sphyrna lewini* EN LAS CAPTURAS

Durante el periodo de estudio (septiembre de 2004 a junio de 2006) se registró un total de 1233 tiburones representados por nueve especies: *Sphyrna lewini* (64%), *Rhizoprionodon longurio* (19%), *Carcharhinus falciformis* (18%), *Nasolamia velox* (7%), *Carcharhinus limbatus* (6%), y *Carcharhinus leucas*, *Carcharhinus obscurus*, *Alopias pelagicus* y *Galeocerdo cuvier* (1%), siendo *S. lewini* la especie más representativa y más abundante de la captura, y por lo tanto la que soporta la pesquería para esta zona del Golfo de Tehuantepec (Figura 13).

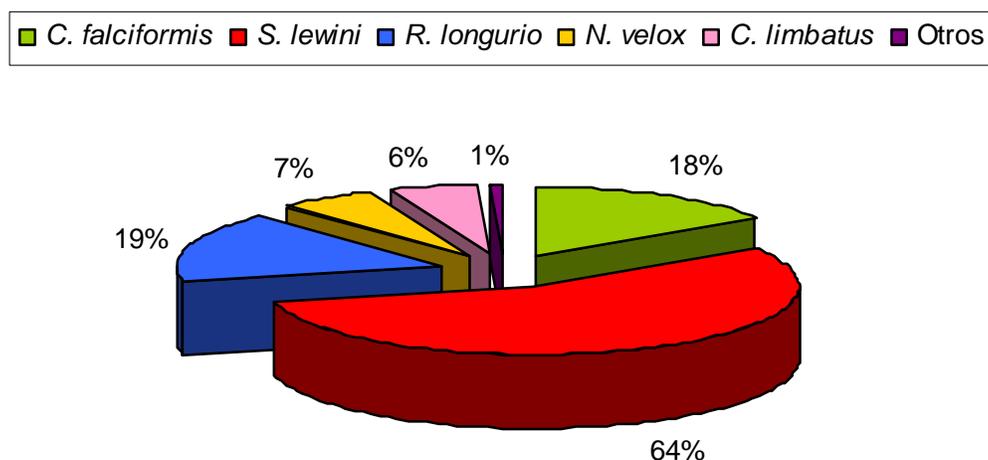


Figura 13. Composición específica de tiburón en las capturas en Chipehua, Oaxaca.

En comparación con el estudio realizado por Campuzano (2002) en el estado de Chiapas, *Sphyrna lewini* también soportó la pesquería con un 47.10% de las capturas, seguido por *Carcharhinus falciformis* con 43.26%. Asimismo el INP (2000) en el análisis de abundancia de capturas en Chiapas, indica que la pesquería está soportada principalmente por dos especies, *C. falciformis* y *S. lewini*, que representan el 89.3% de la captura total. El 10.7% remanente se distribuye entre las 16 especies restantes, sobresaliendo *C. limbatus*, *M. lunulatus* y *N. velox* que suman 7.5%.

7.3 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL

Se registraron un total de 991 tiburones martillo, de los cuales, 342 fueron hembras y 649 fueron machos. De septiembre a noviembre de 2004 se registraron 67 tiburones, durante 2005 se registraron 749 organismos y de enero a junio de 2006 175 tiburones (Tabla 1). El alto número de organismos en el año 2005 se debe a que las capturas se realizaron durante todo el año, mientras que en el 2004 los muestreos iniciaron en septiembre y los de 2006 llegaron hasta junio.

El tiburón martillo estuvo presente durante todo el estudio, registrándose las mayores capturas en los meses de mayo a julio (Figura 14), época donde se presentaron las hembras grávidas.

Tabla 1. Distribución temporal del tiburón martillo *Sphyrna lewini* durante el muestreo.

AÑO	HEMBRAS	MACHOS	TOTAL
2004	17	50	67
2005	233	516	749
2006	92	83	175
TOTAL	342	649	991

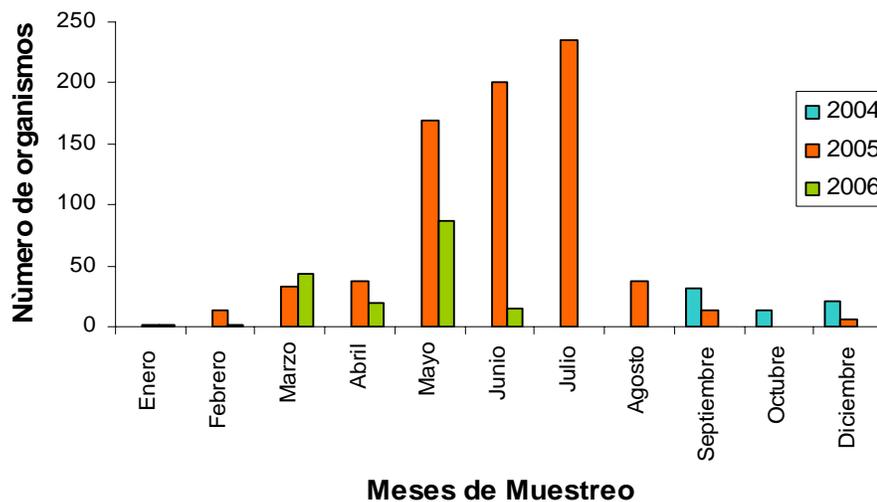


Figura 14. Distribución temporal del tiburón martillo *Sphyrna lewini* durante el periodo de estudio.

7.4 COMPOSICIÓN DE TALLAS Y PROPORCIÓN DE SEXOS

Se observó un intervalo de tallas entre 45 y 288 cm de longitud total, tanto en machos como en hembras. Esta composición muestra una distribución bimodal, indicando así dos grupos bien diferenciados: una de neonatos y juveniles (entre 45 a 160 cm de longitud total) y otra de adultos (entre 170 a 288 cm de longitud total) (Figura 15).

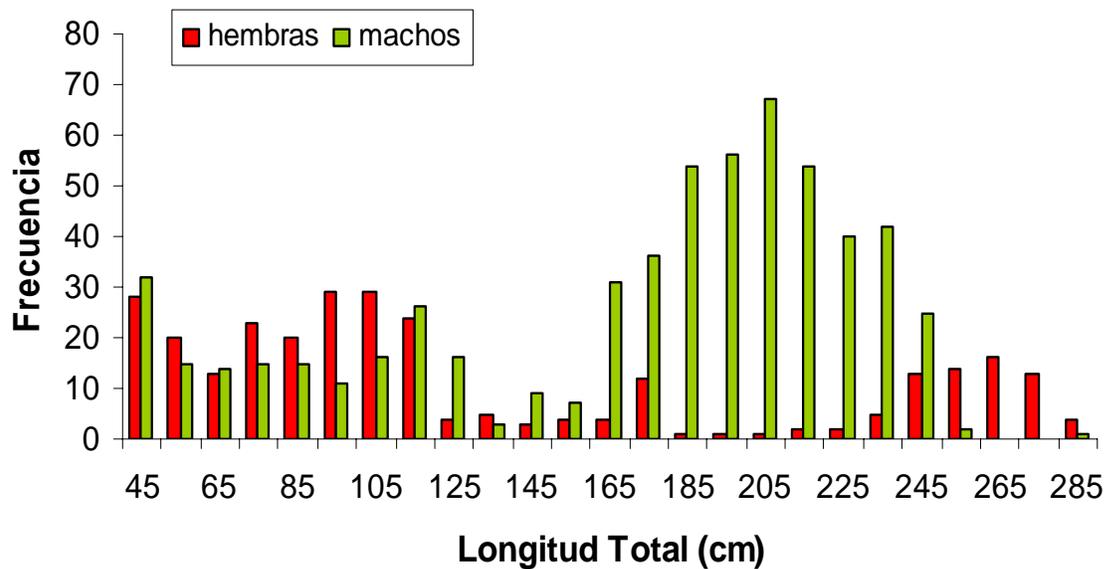


Figura 15. Composición de tallas para machos y hembras de tiburón martillo, *Sphyrna lewini*.

Como se observa en la figura 15, los machos adultos de 170 a 250 cm de longitud total fueron los más abundantes, y en menor abundancia hembras adultas de 180 a 230 cm de longitud total. Asimismo, la cantidad de juveniles en ambos sexos es similar. Un número importante de hembras (50) se encontraban en estado de gravidez en el periodo de mayo a julio, de la misma manera, se encontraron neonatos a partir de julio y agosto. Sin embargo la captura de los machos fue mayor durante esos meses de muestreo, estando en la etapa entre juveniles y adultos.

Durante el muestreo los machos fueron más abundantes que las hembras, indicando una proporción de sexos de 1H:2M ($n= 991$, 342 hembras:649 machos) y la prueba de hipótesis indicó que existen diferencias significativas entre las proporciones

($\chi^2 < 125$; $p > 0.05$) (Figura 16 A). Los juveniles presentaron una proporción de sexos de 1H:0.75M ($\chi < 9.46$; $p > 0.05$); mientras que la proporción de sexos en los embriones fue de 1H:1M ($\chi < 0.17$; $p > 0.05$), siendo ésta no significativa (Figura 16 B).

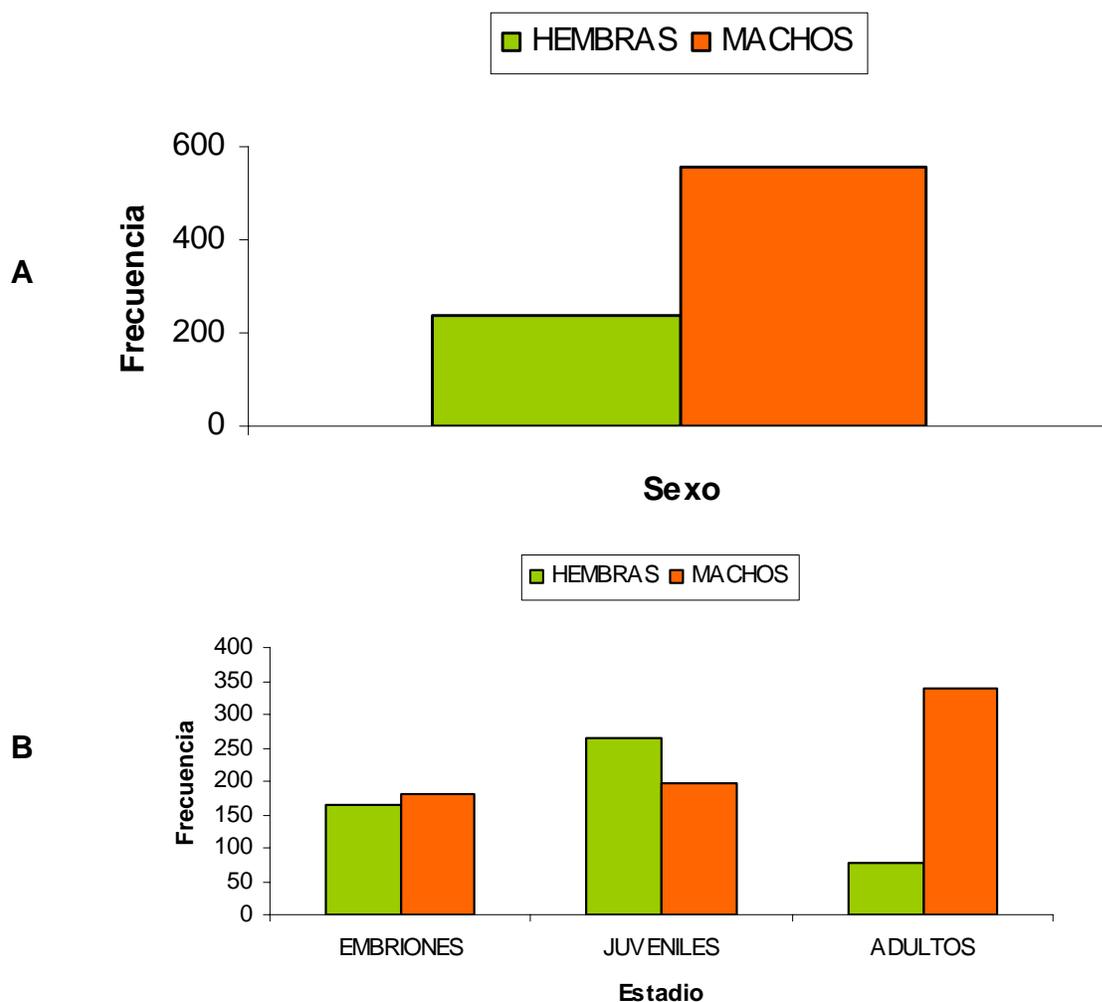


Figura 16. Proporción de sexos en el tiburón martillo *Sphyrna lewini* (a) por sexos, (b) por estadio.

Respecto a la estacionalidad, se observó que son más abundantes los machos durante todo el muestreo. Así, en el año 2004 las frecuencias son bajas dado a que se comenzó el muestreo en septiembre del mismo año, sin embargo la proporción de machos es mayor que la de las hembras. Contrario ocurrió en el 2005 donde se obtuvieron muestras durante todo el año, siendo mayor la presencia de machos principalmente en primavera y verano. Para 2006, solo se contó con organismos

hasta el mes de junio teniéndose la mayoría de organismos en primavera y cuya proporción fue similar tanto para hembras como para machos (Figura 17).

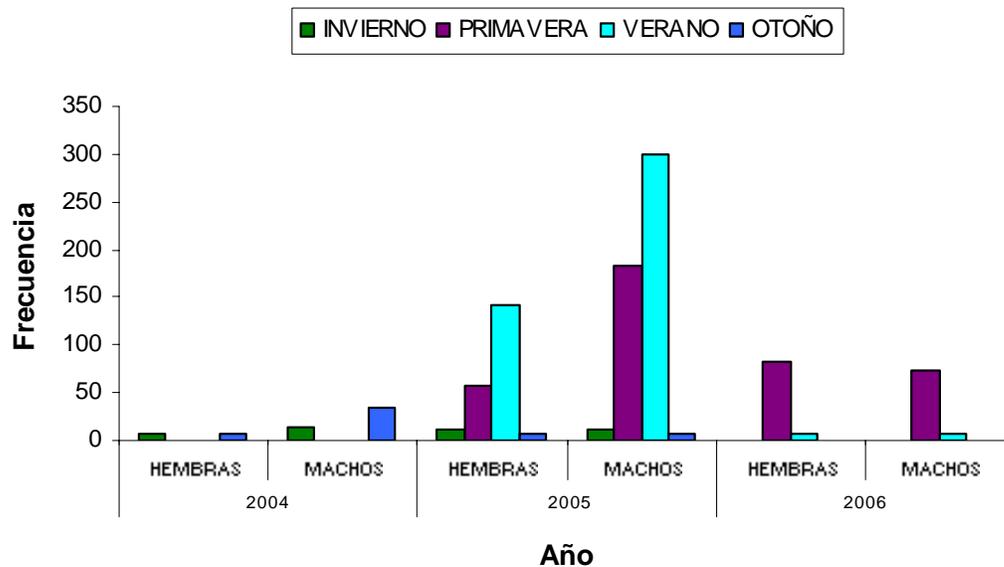


Figura 17. Proporción de sexos del tiburón martillo *Sphyrna lewini* por estaciones.

7.5 MADUREZ SEXUAL EN MACHOS

7.5.1 CARACTERES SEXUALES SECUNDARIOS

El sistema genital en condriktios está especializado para la fertilización interna. Los gonopterigios son apéndices pareados especializados; es por esto que el carácter sexual secundario externo más importante son los gonopterigios u órganos asociados con la intromisión del semen. Los gonopterigios representan márgenes modificados de las aletas pélvicas y consisten en un par de apéndices alargados por debajo de la cloaca que poseen un esqueleto de cartílago. Se abren próximamente a un saco muscular especializado (saco sifonal) facilitando así la transferencia del esperma.

En la punta distal del gonopterigio se encuentra el rifiodón el cual es una estructura que sirve para anclarlo a la cloaca de la hembra en el momento del apareamiento (Figura 18) (Dodd, 1983).



Figura 18. Gonopterigios de *Sphyrna lewini* adulto, la fecha indica el rifiodón.

Basados en el crecimiento y calcificación de los gonopterigios se obtuvo la madurez sexual en machos. Los machos con tallas de 63.5 a 100 cm de longitud total presentaron gonopterigios sin calcificar con longitudes de 2.2 a 8 cm ($\bar{x} = 4.1$). A medida que incrementan los machos su talla se incrementa la longitud de los gonopterigios, observándose gonopterigios semicalcificados de 8 a 17.2 cm en organismos con tallas de 110 a 170 cm de longitud total.

Los machos con gonopterigios calcificados presentaron longitudes del órgano copulador de 16 a 23 cm y tallas de 180 cm a 188 cm ($\bar{x} = 22$). Esto indica que una vez que el órgano copulador adquiere los 16 cm, los organismos alcanzan su desarrollo ya que presentan una calcificación completa, fácil rotación y abertura del rifiodón. Considerando la longitud del tiburón inmaduro más grande y la longitud del macho maduro más pequeño, se tiene que la longitud de madurez para los machos de *Sphyrna lewini* es de 178 centímetros de longitud total.

Como se observa en la figura 19, existe una relación directamente proporcional entre el crecimiento del gonopterigio y la longitud total del tiburón, es decir, el crecimiento de los gonopterigios es gradual.

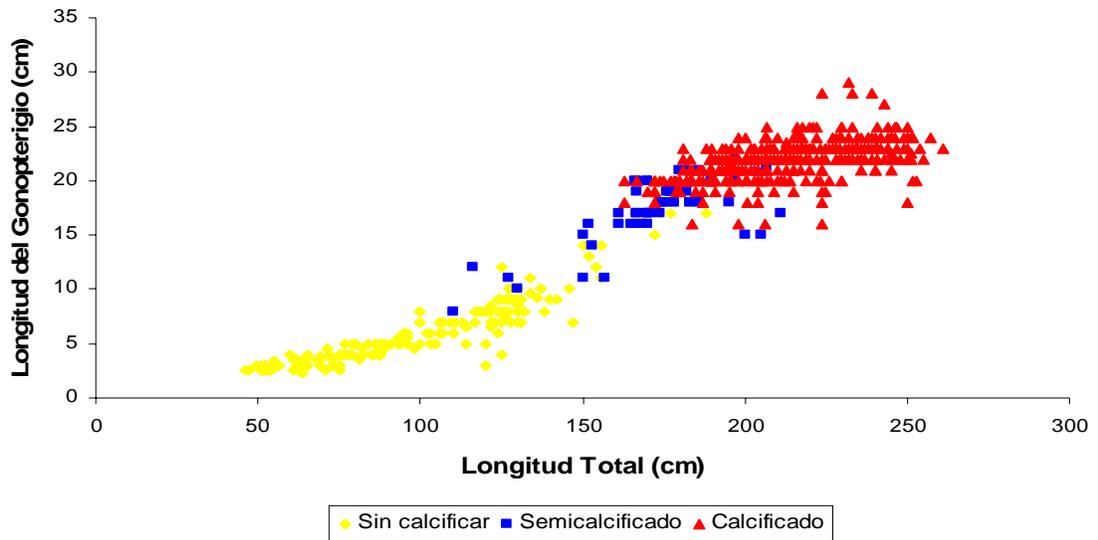


Figura 19. Relación Longitud Total y Longitud del Gonopterigio en diferentes condiciones reproductivas.

7.5.2 TALLA DE PRIMERA MADUREZ EN MACHOS

El 50% de los machos que presentaron gonopterigios calcificados y espermatozoides en sus testículos alcanzan su talla de madurez sexual a los 178 cm de longitud total (Figura 20).

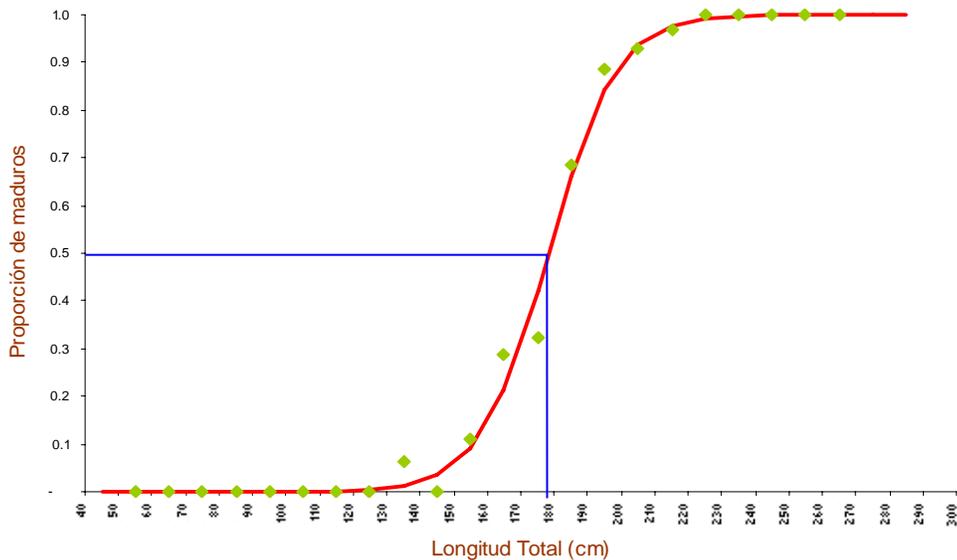


Figura 20. Talla de primera madurez en machos de *Sphyrna lewini*.

Con respecto a la relación de longitud total, largo y ancho de los testículos, se observó que su tamaño varió bastante, encontrándose ejemplares de 152 cm de longitud total con testículos de 25.6 cm y de 169 cm de longitud total con testículos de 13 centímetros de largo; sin embargo, a partir de los 180 centímetros de longitud total, los testículos fueron incrementando su tamaño con respecto al crecimiento del organismo (Figuras 21 y 22).

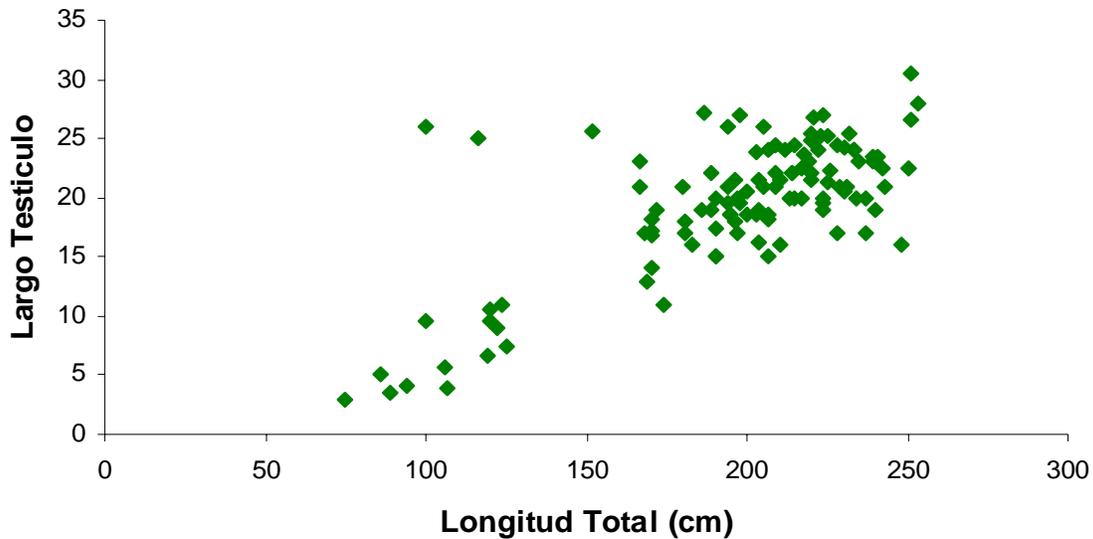


Figura 21. Relación largo del testículo y longitud total de *Sphyrna lewini*

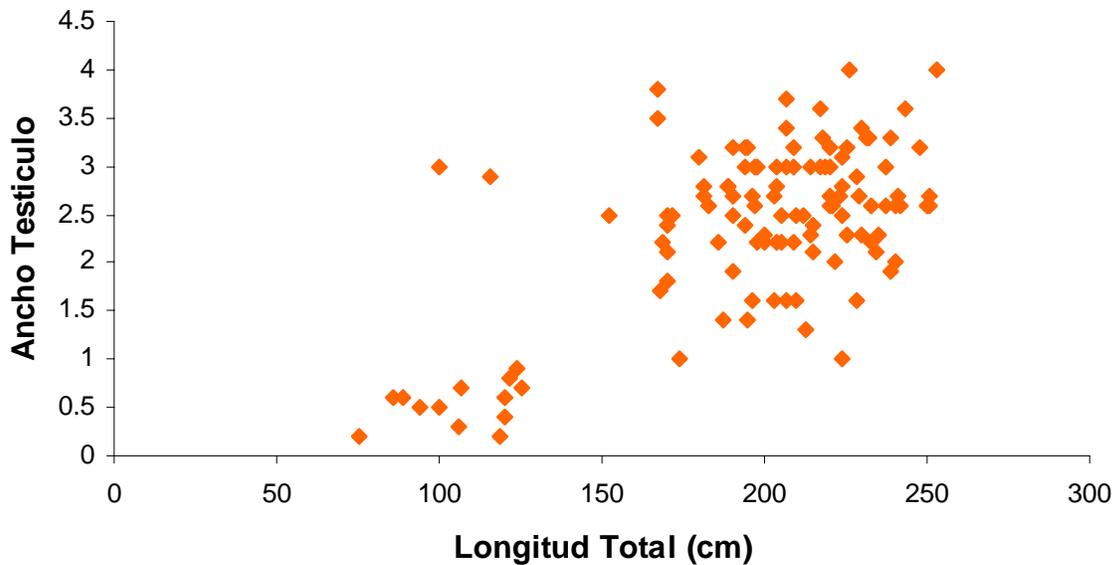


Figura 22. Relación largo del testículo y longitud total de *Sphyrna lewini*

7.5.3 MORFOLOGÍA DEL APARATO REPRODUCTOR EN MACHOS

La anatomía del aparato reproductor en *Sphyrna lewini* se ajusta a la de los demás tiburones: se presenta de manera anteroposterior y se sitúa en la región dorsal de la cavidad abdominal unido a la columna vertebral.

El aparato reproductor en machos consta de un par de testículos, el epidídimo y el órgano epigonal que se encuentran en pares; conductos deferentes y vesícula seminal. Los testículos son pareados, alargados, se encuentran en la parte anterior de la cavidad abdominal, embebidos en el órgano epigonal, que se continúa hacia la parte anterior para llegar a las gónadas y por otro lado un par de conductos genitales que se encuentran embebidos en el riñón hacia la porción posterior. En la parte anterior del mesenterio están los conductos eferentes a través de los cuales corren los espermatozoides desde el testículo al epidídimo. Ambos testículos son funcionales.

En organismos juveniles de tiburón martillo *Sphyrna lewini*, los testículos son alargados, aplanados dorso centralmente, de color crema y se encuentran en la parte anterior de la cavidad abdominal. A nivel microscópico, se observan fases de la espermatogénesis aunque los espermatozoides no están formados aun. En los adultos, éstos son más gruesos y su coloración se acentúa, haciéndose más oscura (café); microscópicamente, al hacer el corte transversal se observan claramente las diferentes fases de desarrollo de la espermatogénesis (Figura 23).

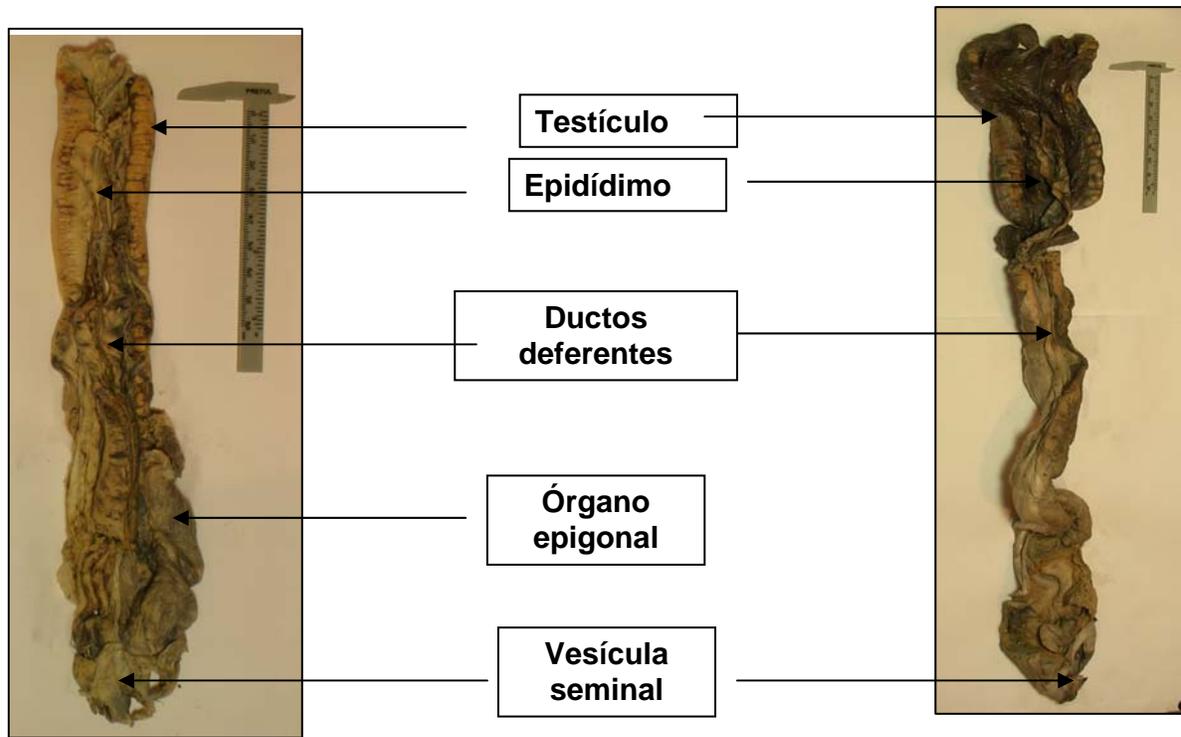


Figura 23. Anatomía del aparato reproductor en machos de *Sphyrna lewini*.

Pratt (1988) identificó tres tipos de desarrollo del testículo en elasmobranquios: radial, diamétrico y compuesto, definidos por su patrón del origen de los folículos seminíferos y su propagación. En *Sphyrna lewini* los folículos presentan un desarrollo tipo **diamétrico** que va de la zona germinal hacia la periferia. Se observan folículos maduros con espermatozoides en la región media, entre la zona germinal y la zona distal del testículo. Los espermatozoides son transportados al epidídimo a través de los conductos eferentes (Pratt, 1988) (Figura 24).

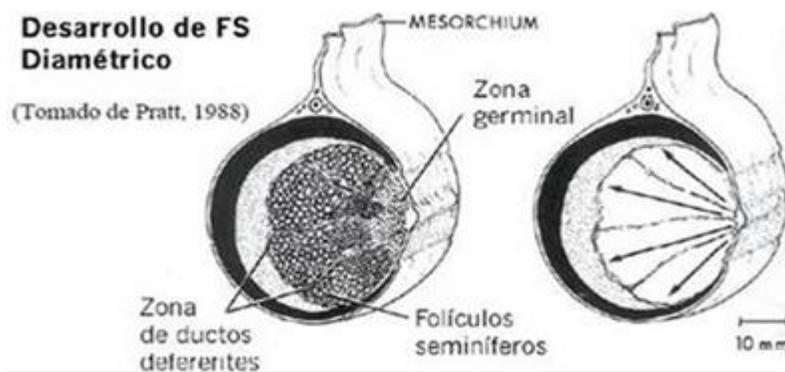


Figura 24. Esquema de un testículo tipo diamétrico (Tomado de Pratt, 1988).

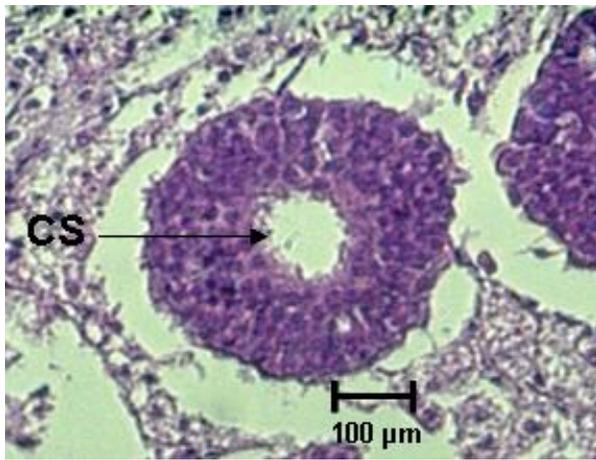
7.5.4 FASES DEL DESARROLLO DE LOS FOLÍCULOS SEMINÍFEROS:

ESPERMATOGÉNESIS

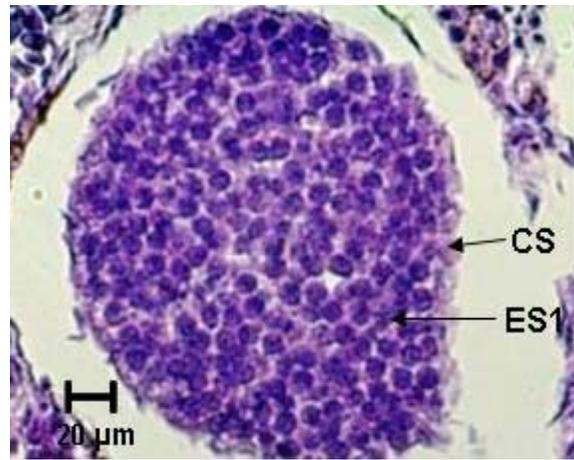
Al realizar un corte transversal del testículo, se observan las diferentes fases de desarrollo del mismo. En las primeras fases, en la zona germinal del testículo, hay dos tipos de células: las **espermatogonias** (grandes y esféricas, con núcleos ricos en cromatina) que se encuentran en la periferia de los folículos y las **Células de Sertoli** (pequeñas y fusiformes, con núcleos pobres en cromatina) que delimitan el lumen central del folículo. Ambos tipos de células pasan por numerosas divisiones mitóticas hasta que se encuentran en dos capas concéntricas: las células de Sertoli alrededor del lumen central y las espermatogonias en la periferia (Figura 25 A).

Luego, dichas espermatogonias se encuentran en su primera división meiótica; después de estas subdivisiones, cada célula de Sertoli acaba su migración hacia la periferia convirtiéndose en **espermaticitos primarios**, los cuales abarcan todo el folículo e incrementan su tamaño considerablemente; su núcleo toma un aspecto particular, tiene lugar la profase de la primera división meiótica. En seguida, el espermaticito primario da lugar a dos células parecidas, **los espermaticitos secundarios** cuyo tamaño es menor al de los primarios y constituyen una fase de corta duración (Figura 25 B y C).

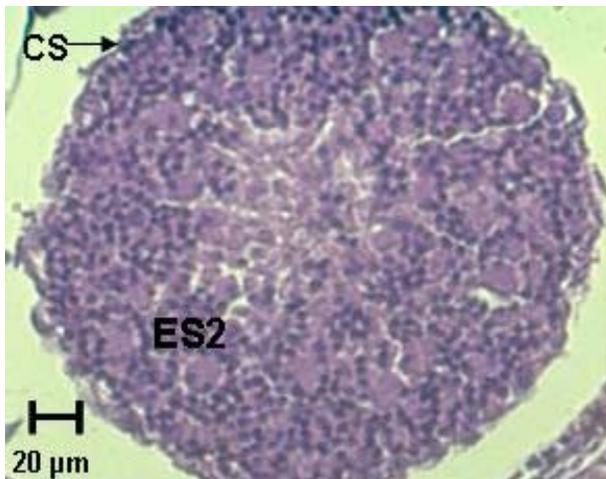
En la segunda división meiótica, cada espermaticito secundario da origen a dos **espermátidas** iguales que se encuentran en la periferia (Figura 25 D). A partir de este momento inicia la espermiogénesis que es donde se lleva a cabo la diferenciación de los espermatozoides (Hoyos, 2003 y Carrera, 2004).



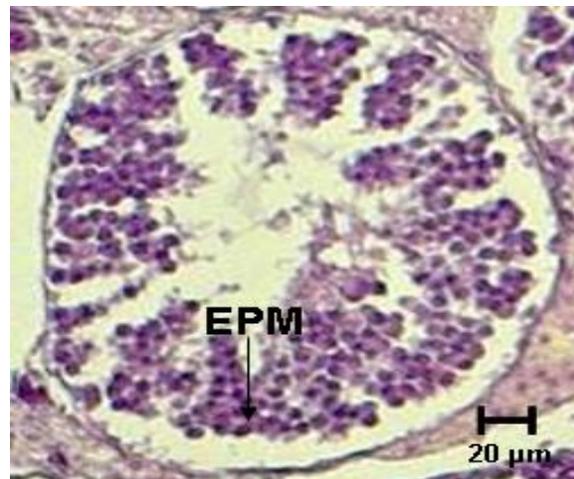
A



B



C



D

Figura 25. Fases del desarrollo de los folículos seminíferos: Espermatogénesis. A. Espermatogonias. B. Espermatocitos primarios. C. Espermatocitos secundarios. D. Espermátidas. (CS: Células de Sertoli). 100X, 400X, Tinción H-E.

ESPERMIOGÉNESIS

El desarrollo del folículo continúa con la espermiogénesis. Se observan claramente los espermatozoides formados y coincidiendo con las células de Sertoli, donde sus cabezas están embebidas en el citoplasma de Sertoli y dirigidas hacia la periferia así como los flagelos están dentro del lumen y se dirigen hacia el centro. Posteriormente los espermatozoides se compactan más y presentan un arreglo espiral para posteriormente ser liberados (Figura 26).

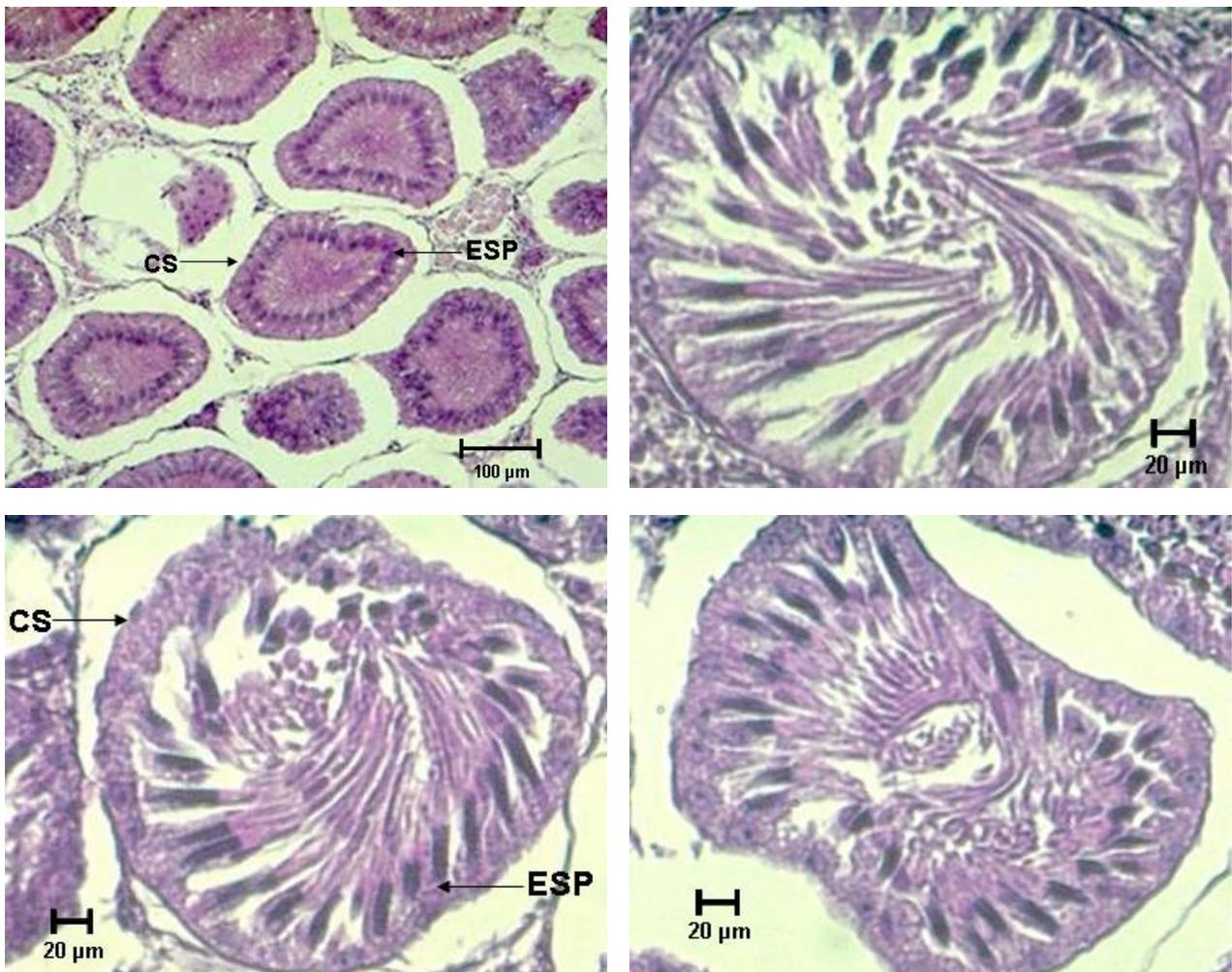


Figura 26. Espermiogénesis: arreglo espermático coincidiendo con las células de Sertoli (CS: células de Sertoli, ESP: espermatozoides). 100X, 400X, Tinción H-E.

Respecto a los organismos de estudio, se encontró que en aquellos que presentaron tallas por encima de 181 centímetros de longitud total, fue posible encontrar todas las fases de desarrollo del testículo descritas anteriormente. Esto concuerda con las determinaciones de madurez encontradas en las características sexuales secundarias, confirmando una talla de primera madurez hacia los 180 centímetros de longitud total.

7.5.5 CONDUCTOS DEFERENTES

Los conductos deferentes son la continuación del epidídimo. En organismos adultos es el lugar donde se almacena el esperma, incrementando su grosor a medida que se acerca a la parte posterior del aparato reproductor. En *S. lewini*, el epitelio es pseudoestratificado ciliado; en su interior se encuentran agregaciones de espermias (Figura 27).

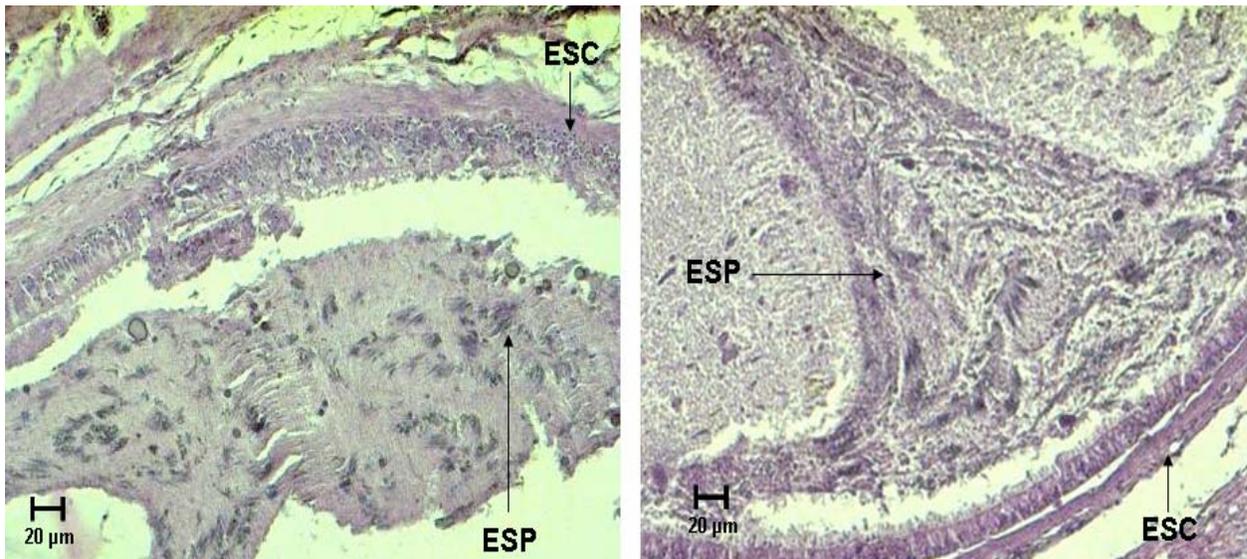


Figura 27. Conductos deferentes de *Sphyrna lewini*. 400X, Tinción H-E.

7.5.6 VESÍCULA SEMINAL

La vesícula seminal, es la parte posterior donde desembocan los conductos deferentes. En *Sphyrna lewini*, esta constituida por epitelio pseudoestratificado ciliado. En juveniles ésta es muy delgada uniéndose al epitelio mediante unos pliegues, mientras que en los adultos es alargada y al realizar el corte es circular. En esta estructura los espermatozoides forman paquetes o grupos conocidos como espermatozeugmata. También se observan pliegues que incrementan la superficie para el intercambio de nutrientes (Carrera-Fernández, 2004) (Figura 28).

Almacén de esperma.

El almacenamiento de esperma es una ventaja en especies nómadas ya que las oportunidades de apareamiento son escasas, entonces así se asegura que los productos sexuales sean usados de manera eficiente (Pratt y Tanaka, 1994).

Los espermatozeugmata están compuestos de varios cúmulos de esperma fusionados y reformados dentro de una compleja matriz con material eosinófilo. Los espermatozoides crean formas delimitadas con las cabezas hacia la parte interna del paquete; mientras que los flagelos se encuentran expuestos (Figura 28).

De acuerdo la clasificación de Pratt y Tanaka (1994), el tiburón martillo presenta **espermatozeugmata de tipo compuesto**, al igual que otros carcharhinidos como *Rhizoprionodon terraenovae* y *Prionace glauca* donde los espermatozoides periféricos tienen los flagelos expuestos delimitando la agrupación con una capa externa (CE). De acuerdo con Pratt (1979), este tipo de agrupaciones de esperma es útil para su almacenamiento y nutrición, así como en la fertilización interna para evitar la pérdida de éste al momento de la cópula. (Pratt y Tanaka, 1994). En contraste, *Carcharhinus falciformis*, *C. limbatus*, *C. obscurus*, y *C. plumbeus*, presentan espermatozeugmata de una sola capa, es decir, las cabezas de los espermatozoides van dirigidas hacia adentro y las colas hacia el exterior.

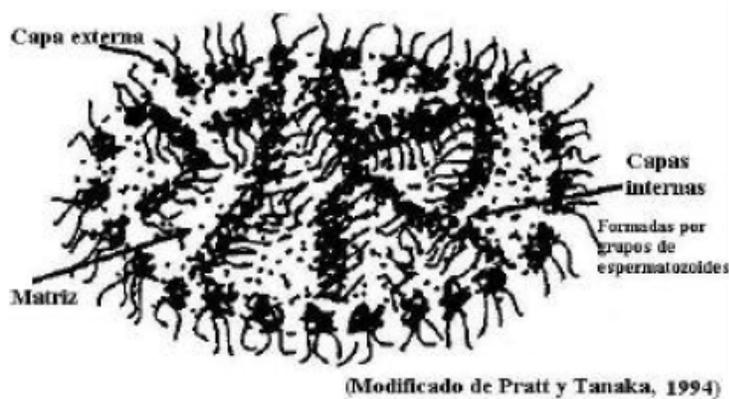


Figura 28. Esquema de espermatozeugmata de tipo compuesto (Tomado de Pratt y Tanaka, 1994).

En este estudio fueron revisados 40 machos cuyas longitudes oscilaban entre 181 centímetros y 251 centímetros de longitud total, capturados en septiembre de 2004 y mayo, junio y julio de 2005; todos con grandes cantidades de espermatozeugmata. Una vez más se confirma que a partir de los 180 centímetros de longitud total, los machos se consideran maduros sexualmente.

En *S. lewini* se observan los espermatozoides con sus flagelos hacia la periferia y dentro de la matriz se encuentran otros espermatozoides con los flagelos dirigidos hacia el centro formando capas internas con núcleos eosinófilos y rodeados de epitelio pseudoestratificado ciliado (Figura 29).

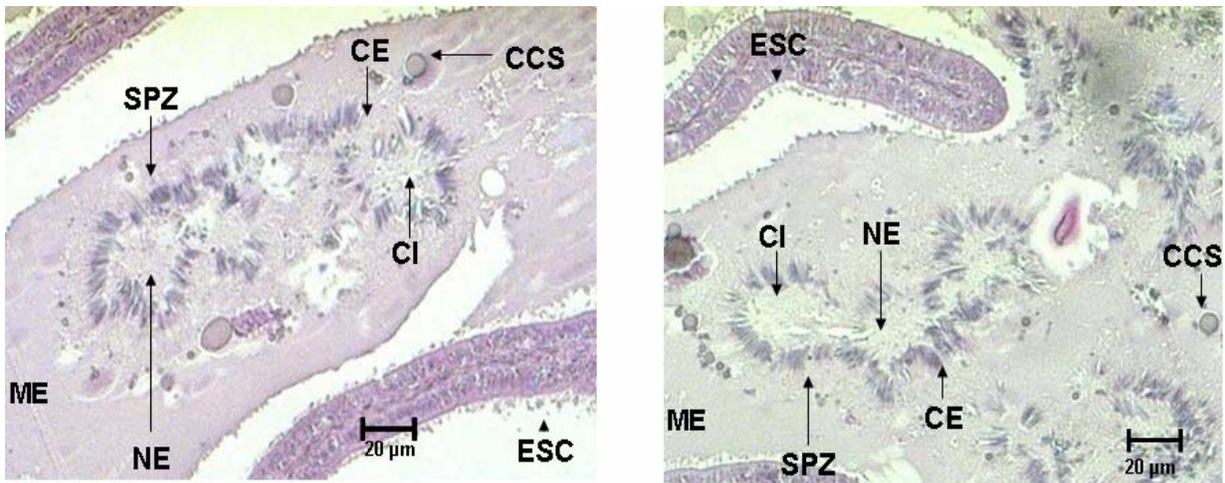


Figura 29. Almacén de espermatozeugmata de *Sphyrna lewini*: Espermatozeugmata de tipo compuesto (ESC: epitelio pseudoestratificado ciliado; CI: Capa interna; NE: núcleo eosinófilo; CE: capa externa, CCS: citoplasma celular de Sertoli, SPZ: espermatozeugmata) 400X, Tinción H-E.

7.6 MADUREZ SEXUAL EN HEMBRAS

7.6.1 CARACTERÍSTICAS SECUNDARIAS EXTERNAS

A diferencia de los machos, para determinar el estado de madurez en las hembras externamente se tienen en cuenta características como abultamiento en el abdomen indicando que la hembra está en estado de gestación, marcas de apareamiento las cuales se caracterizan por la presencia de cicatrices en las aletas pectorales y presencia de semen en la cloaca (Figura 30).



Figura 30. Hembras maduras de *Sphyrna lewini* indicando caracteres secundarios externos.

Teniendo en cuenta dichas características se obtuvo la madurez sexual en las hembras de tiburón martillo. De 342 hembras obtenidas durante el estudio, 79 eran maduras y sus tallas fueron de los 200 cm a 288 cm de longitud total.

7.6.2 TALLA DE PRIMERA MADUREZ EN HEMBRAS

A nivel interno, se tomó como criterio para determinar la madurez sexual, el diámetro de los oocitos con respecto a la longitud total de la hembra, los cuales oscilaron entre 1 y 3 cm; el ancho de la glándula oviducal, así como la presencia y número de embriones en cada útero.

Al examinar los ovarios se observó que las hembras con tallas menores a 220 cm de longitud total presentaron oocitos muy pequeños (0.5 cm) además sus ovarios no estaban desarrollados, lo que dificultó su conteo. Una vez que las hembras aumentaban de tamaño, se apreciaban oocitos de diámetros mayores y diferenciados aunque no tienen ninguna relación directa con la talla de la hembra (Figura 31).

La mayoría de los oocitos contabilizados y medidos comprendieron los meses de mayo, junio y julio de 2005 con diámetros entre 1 y 3 cm en hembras cuyas longitudes oscilaban entre 228 y 259 cm de longitud total, sin embargo una hembra de 253 cm de longitud total presentó los oocitos de mayor tamaño (6.5 cm) durante el mes de agosto de 2005. Comparando estos diámetros con los resultados obtenidos por Torres (1999), se observan valores similares ya que en su estudio encontró hembras con tallas entre 212 y 307 cm de longitud total cuyos oocitos presentaban diámetros entre 0.8 y 3.8 cm.

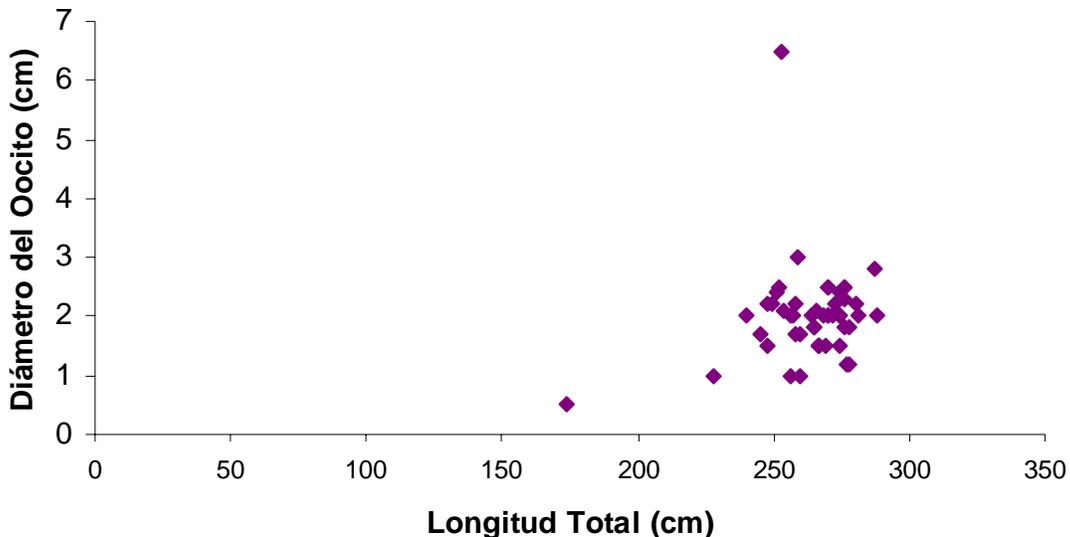


Figura 31. Relación diámetro del oocito con longitud total de *Sphyrna lewini*.

Respecto a la relación del ancho de la glándula oviducal con la longitud total de la hembra, se observó que en *S. lewini* la glándula no presentó un crecimiento

relacionado a la talla de la hembra ya que se encontraron glándulas oviducal de diámetros de 4 cm en hembras de 240 cm de longitud total y de 3.3 cm de diámetro en una de 256 cm de longitud total (Figura 32). Dadas estas características, se determinó que la talla a la cual las hembras alcanzan su madurez sexual es de 220 cm de longitud total.

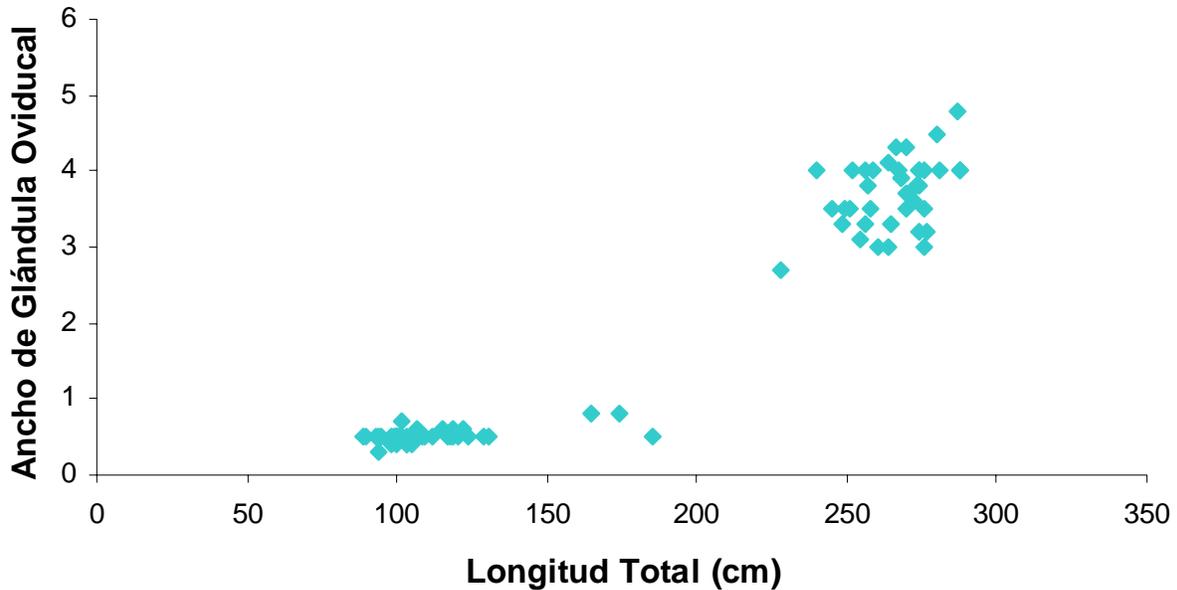


Figura 32. Relación ancho de la glándula oviducal con longitud total de *S. lewini*.

Dado que la mayoría de las hembras capturadas son inmaduras y al tener tan pocos datos de hembras maduras, se dificultó obtener la talla de primera madurez por el método logístico. Con los datos presentados, y teniendo en cuenta la longitud total de la hembra madura más pequeña (220 cm de longitud total) y el valor obtenido por la curva logística (234 cm de longitud total), se sugiere que las hembras alcanzan su talla de madurez sexual a los 220 cm de longitud total.

7.6.3 MORFOLOGÍA DEL APARATO REPRODUCTOR EN HEMBRAS

El aparato reproductor de las hembras presenta dos ovarios, cuya forma es oval y aplanada y están situados en la parte anterior del órgano epigonal (Figura 33). El mesenterio une al órgano epigonal con el oviducto a todo lo largo de la estructura reproductiva.

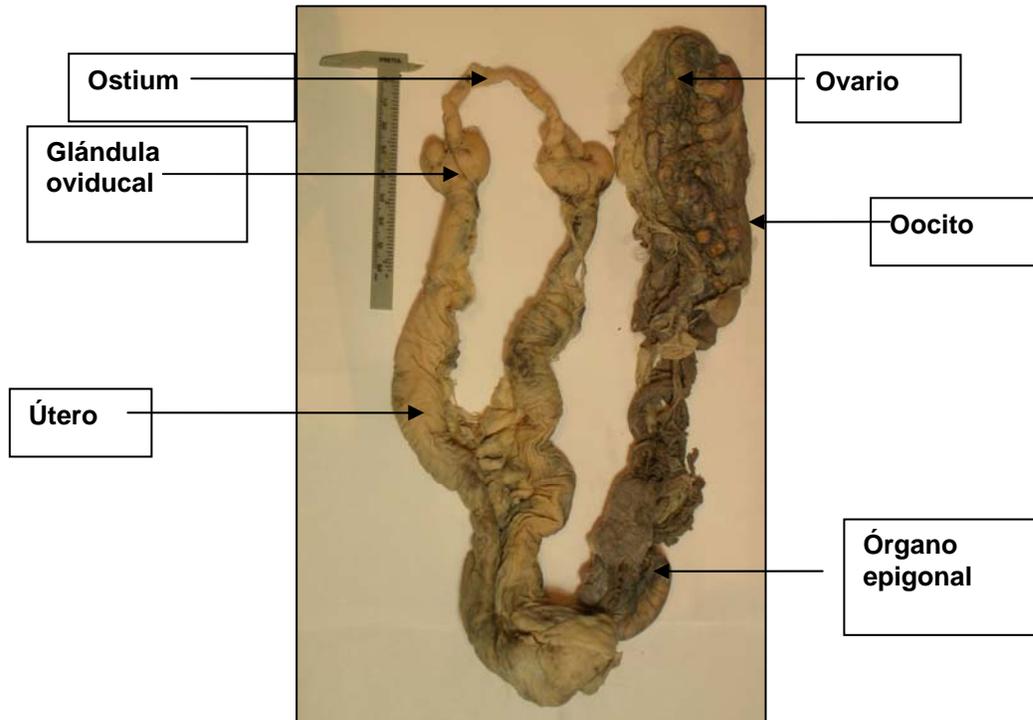


Figura 33. Anatomía del aparato reproductor en hembras de *Sphyrna lewini*.

Por lo general, en algunos organismos vivíparos el ovario derecho es el funcional y el ovario izquierdo es ausente o rudimentario, como en *Carcharhinus*, *Prionace*, *Pristophorus*, *Galeus*, *Mustelus* y *Sphyrna* (Chen *et al.*, 1988), sin embargo en otras especie los dos ovarios son funcionales, como en *C. angineus*, *S. acanthias*, *S. brevirostris* (Hamlett, 1999). En *Sphyrna lewini* el ovario derecho es funcional y es el que genera oocitos. En organismos juveniles, éste es pequeño, de color blanquecino y sus oocitos no están bien diferenciados, mientras que en los adultos, éste se torna de color rosa y los oocitos ya adquieren un tamaño diferenciado y se encuentran expuestos, así mismo se observa que los oocitos más desarrollados se

encuentran en la parte posterior y los menos desarrollados en la parte anterior del ovario.

Continuando con la descripción del aparato reproductor de *S. lewini*, encontramos en ostium que es una estructura con forma de embudo, el cual recibe al oocito y lo transporta a través del oviducto hacia la glándula oviducal, donde se lleva a cabo la fecundación y el encapsulamiento del huevo. La glándula oviducal esta presente hacia la región anterior del tracto reproductivo de las hembras (Figura 33).

Por tratarse de una especie cuyo modo de reproducción es vivíparo, el tamaño y forma de la glándula oviducal corresponde al tamaño y complejidad de la cápsula que se produce (Hamlett, 1999). En el tiburón martillo, el tamaño de la glándula oviducal oscila alrededor de 5 mm en hembras juveniles y de 3-5 cm de diámetro en hembras adultas donde ésta tiene siempre forma de corazón y cumple con tres funciones: almacenar esperma, fertilizar a los oocitos y dar cubierta al huevo (Carrera, 2004) (Figura 34).

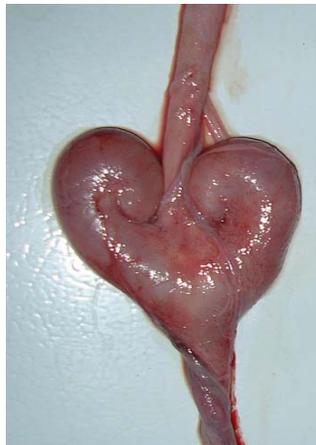


Figura 34. Glándula oviducal de hembra madura de *Sphyrna lewini*.

Una vez que el huevo ha sido fecundado en la glándula oviducal continúa su camino hacia la parte posterior del oviducto que se diferencia como útero donde se llevará a cabo la gestación del embrión (Soria, 2003).

Almacén de Esperma

Como en otros animales con fertilización interna donde numerosos huevos son fecundados en una sola cópula, el esperma debe ser almacenado o retenido al menos hasta que la ovulación tenga lugar. La glándula oviducal con sus túbulos largos y delgados provee esta capacidad a ciertas especies de elasmobranquios (Pratt, 1993).

Hasta el momento no se ha encontrado almacén de esperma en las glándulas oviducal de las hembras examinadas (Figura 35). Sin embargo, Pratt (1993) encontró que *S. lewini*, a diferencia de otras especies, puede almacenar esperma en densas masas en túbulos durante varios meses a años.

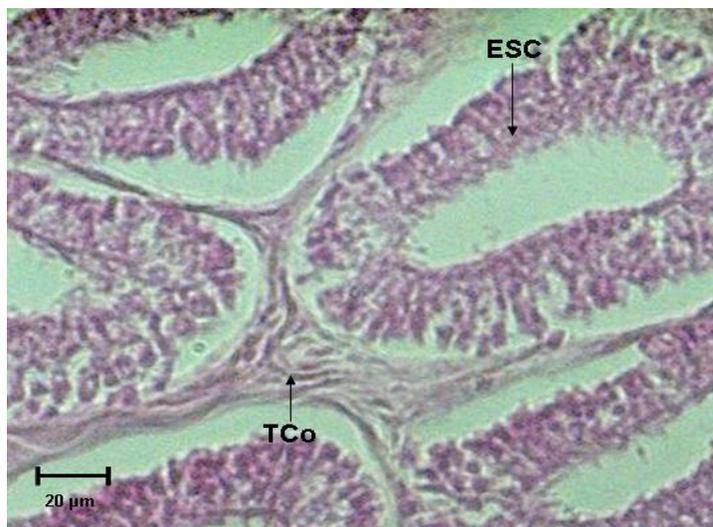


Figura 35. Corte transversal de la glándula oviducal de *S. lewini*. 400X, Tinción H-E.

Respecto a los **úteros**, fueron pocos los que se pudieron medir ya que se dificultó al momento del muestreo por la rapidez con que los pescadores desvisceraban los ejemplares. Sin embargo se observó la diferencia entre los estadios. En hembras inmaduras, se encontraron úteros cuyas longitudes variaban de 0.3 a 0.5 cm (99 cm y 165 cm de longitud total respectivamente). A partir de 220 cm de longitud total se observaron hembras con úteros que iban aumentando de tamaño conforme la hembra iba creciendo. Por ejemplo, una hembra de 256 cm de longitud total presentó un útero de 18 cm, mientras que el útero más grande, fue de 70 cm de largo

por 19 centímetros de ancho en una hembra posparto de 276 cm de longitud total, éste se encontraba totalmente distendido con restos de material placentario. En hembras grávidas, los úteros alcanzaban medidas hasta los 52 cm de largo por 17 cm de ancho ya que contenían huevos uterinos o embriones (Figura 36).



A **B**
Figura 36. Úteros de *Sphyrna lewini*: A). Hembra juvenil. B). Hembra grávida.

7.6.4 FECUNDIDAD

En general los embriones están acomodados dentro del útero con la cabeza hacia la parte anterior y separados por una delicada membrana placentaria (Figura 37), que como en otros tiburones vivíparos, es una extensión de la pared del útero (Carrera, 2004). Así, al nacer, lo hacen de cola para proteger su cabeza que es lo más vulnerable y desprendiendo su cordón umbilical. De las hembras grávidas encontradas, todos los embriones estaban a término de su formación (Figura 38), es decir, eran réplicas exactas del adulto y presentaban cordón umbilical con vellosidades, característico de esta especie, adherido al útero; no fueron encontrados embriones en diferentes fases de desarrollo.



Figura 37. Embriones de *Sphyrna lewini*: A) Acomodación dentro del útero, B). Membrana placentaria.



Figura 38. Embriones de *Sphyrna lewini* a término de nacer.

Se contó con un total de 50 hembras grávidas con tallas desde 239 cm a 288 cm de longitud total, con un amplio intervalo de fecundidad, de 6 a 40 embriones, siendo más frecuente de 14 a 30 por hembra y obteniéndose en total 1083 embriones. La relación de la talla materna y el número de embriones refleja que no existe relación alguna dado que su coeficiente de determinación es muy bajo ($R^2 = 0.33$) y además se encontraron hembras con 248 cm de longitud total que presentaban 25 embriones y una hembra con 270 cm de longitud total con 11 embriones (Figura 39).

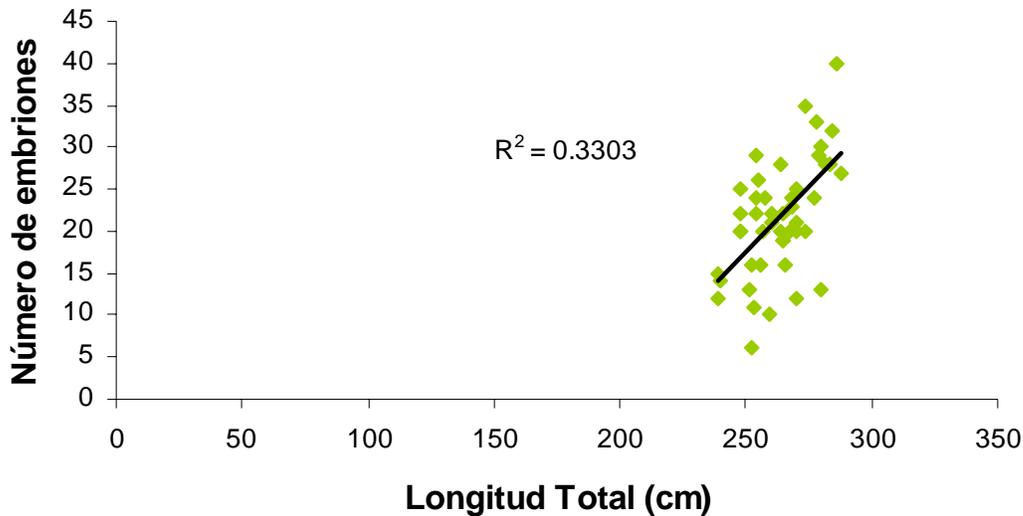


Figura 39. Relación Longitud Materna vs. Número de embriones de *S. lewini*.

Torres (1999) en su estudio obtuvo un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.20$, indicando que no existe relación entre la talla materna y el número de embriones. Por lo general, esta no relación está influenciada directamente con el estrés que provoca la captura, haciendo que las hembras expulsen a sus crías y ocasionando una variación en la fecundidad.

De todos los embriones registrados, solo fue posible medir 569 de ellos, encontrándose que las tallas con mayor frecuencia oscilan entre los 46 cm y 48 centímetros de longitud total (315 embriones) y el menor número fue de 11 embriones entre 52 y 55 cm de longitud total (Figura 40). La mayor fecundidad encontrada para este estudio fue de 40 embriones, un poco mayor a la encontrada por Che-Tsung *et al.* (1988) quienes reportan 38 embriones y Torres (1999) quien encontró 32 embriones, mientras que Campuzano (2002) encontró 43 embriones en una hembra de 380 cm de longitud total.

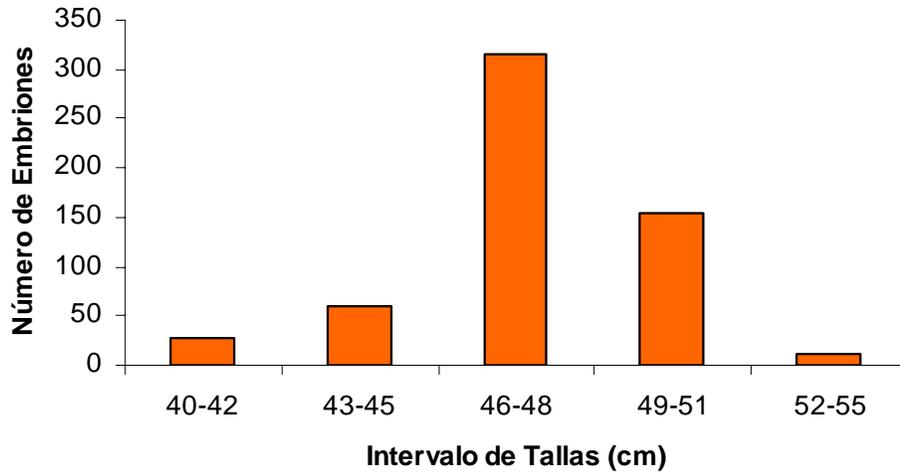


Figura 40. Frecuencia de tallas de los embriones de *Sphyrna lewini* analizados en el estudio.

Los embriones comenzaron a presentarse en los meses de abril a agosto de 2005, mientras que para el 2006 se obtuvieron pocos en los meses de marzo y mayo. Sin embargo, la mayor cantidad de embriones se encontraron en junio y julio de 2005 con 345 y 292 embriones, respectivamente (Figura 41), y en mayo de 2006 con 214 embriones (Figura 42). A partir de los meses de julio y agosto de 2005 se comenzaron a observar neonatos, concordando así con las observaciones de otros estudios realizados para la especie.

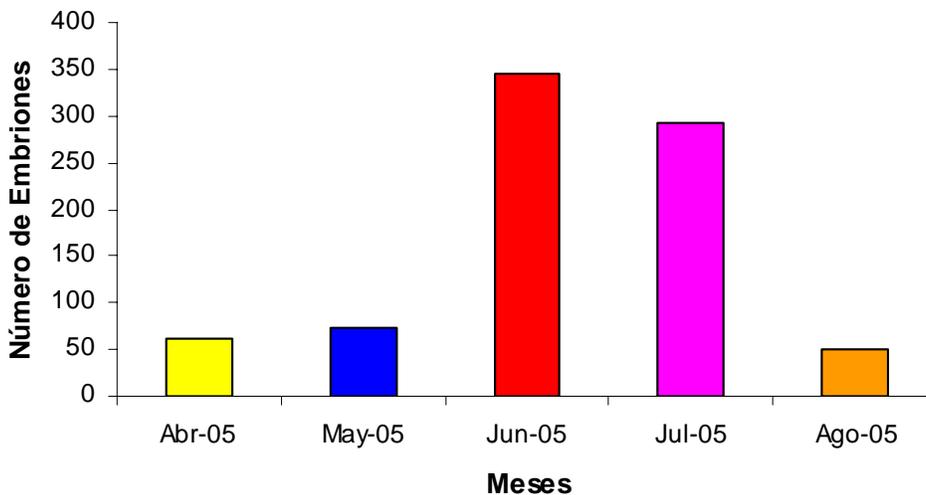


Figura 41. Distribución temporal de los embriones de *Sphyrna lewini* durante el año de 2005.

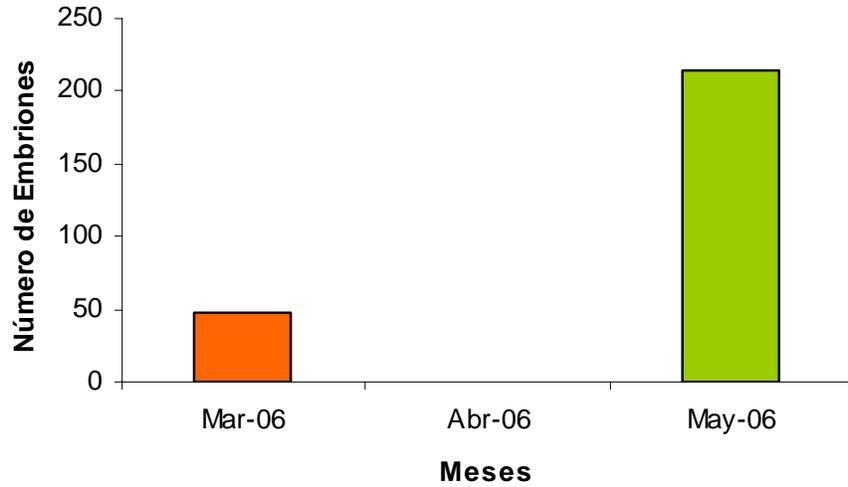


Figura 42. Distribución temporal de los embriones de *Sphyrna lewini* durante el año de 2006.

Se obtuvo una talla de nacimiento de 41 a 51 cm de longitud total (Figura 43 A). Longitudes similares fueron reportadas en los estudios de Clarke (1971), Che-Tsung *et al.* (1988) y Torres (1999). Los neonatos fueron capturados a partir de los 51 cm de longitud total y se diferencian de los embriones por la cicatriz umbilical que les queda al desprenderse del cordón umbilical (Figura 43 B).



A

B

Figura 43. A) Talla de nacimiento de *Sphyrna lewini*; B) Neonato, obsérvese la cicatriz umbilical.

7.6.5 CICLO REPRODUCTIVO Y PERIODO DE GESTACIÓN

Teniendo en cuenta el crecimiento de los oocitos y el nacimiento de las crías, se infiere que la época de apareamiento de esta especie en la zona de estudio es a finales de julio y principios de agosto; esto debido a que se observó que el crecimiento de los oocitos y el de los embriones es simultáneo y se capturaron adultos con señales de apareamiento, indicando así que luego de la expulsión de crías ocurre la copulación y la ovulación, por lo que el tiburón martillo *Sphyrna lewini* presenta un ciclo reproductivo anual con un periodo de gestación de 10 meses aproximadamente.

El ciclo anual es registrado por Che – Tsung *et al.* (1988) con un periodo de gestación de aproximadamente 10 meses y por Branstetter (1987) de 12 meses al noroeste del Golfo de México.

7.6.6 AREAS DE CRIANZA

Las áreas de crianza son rangos de áreas geográficas donde las hembras grávidas paren a sus crías y donde los neonatos pasan sus primeras semanas, meses o años de vida. El criterio utilizado para caracterizar estas áreas es la presencia simultánea de hembras grávidas, neonatos libres nadadores y juveniles pequeños.

De los 991 tiburones martillo capturados durante el periodo de estudio, 50 fueron hembras grávidas y 70 neonatos. De acuerdo a lo obtenido, la captura de neonatos presentó una distribución cercana a la costa, mientras que la de los adultos fue más alejada de ésta, excepto las hembras grávidas o posparto que fueron capturadas junto a los neonatos. Bass (1978) describe que aquellas áreas donde ocurre el parto y las crías viven por un corto tiempo en dicho lugar son áreas de crianza primarias.

Teniendo en cuenta lo anterior con las características batimétricas del área de estudio, cuya plataforma continental es estrecha y abarca de 4 a 6 kilómetros frente a las costas de Oaxaca (Figura 2), asimismo la alta productividad de sus aguas y características ambientales en general, y a la presencia de neonatos y de hembras grávidas con embriones en fase terminal de desarrollo en la misma temporada, se propone el área de Chipehua en Salina Cruz, Oaxaca, como un **área de crianza primaria** para el tiburón martillo *Sphyrna lewini*.

8. DISCUSIÓN

8.1 ASPECTOS PESQUEROS

De acuerdo al número de organismos obtenidos de *Sphyrna lewini* con los diferentes artes de pesca, se encontró que la mayoría de las capturas fueron realizadas con cimbra obteniéndose ejemplares juveniles y adultos en su mayoría; mientras que con las redes y el trasmallo fueron en menor cantidad y capturándose organismos de tallas menores como neonatos. Una posible explicación a este resultado esta relacionada con la preferencia de los artes que utilizan los pescadores de la zona ya que deben enfocar sus capturas a organismos de mayor tamaño dado al valor del tiburón en el mercado. Contrario ocurrió con lo encontrado por Campuzano (2002) y Torres (1999) donde la mayoría de las capturas se llevaron a cabo principalmente con redes y en una mínima proporción utilizaron anzuelos ya que el componente principal de las capturas eran neonatos y juveniles.

En cuanto a la captura de los juveniles y neonatos, ésta se realizó principalmente en los meses de mayo a julio. A pesar de que la cimbra fue el arte de pesca más utilizado, *Sphyrna lewini* es una especie altamente susceptible a ser capturada con redes (utilizadas principalmente para capturar mojarra y lisa), debido a la expansión lateral de su cabeza lo que facilita que se enrede con las mallas (Clarke, 1971).

8.2 ABUNDANCIA DE LA ESPECIE EN LA CAPTURA

De acuerdo con los resultados obtenidos, *Sphyrna lewini* permanece durante todo el año en aguas de Salina Cruz, Oaxaca, más abundante durante el verano, especialmente por hembras grávidas y neonatos. La especie forma parte del componente principal de las pesquerías en la zona, siendo la más explotada durante la época de estudio. Resultados similares han sido reportados por otros autores, por

ejemplo, Branstetter (1987), la reporto como el segundo tiburón más abundante en la pesca de altura del pez espada; Galván *et al.* (1989), indicaron que es una de las especies más capturadas en la Isla Cerralvo, Golfo de California. Para el Golfo de Tehuantepec, Sierra (1995), señala a *S. lewini* como el segundo componente principal de la pesquería, después de *C. falciformis* en Puerto Madero, Chiapas.

Torres (1999) reportó a esta especie como la más abundante en las capturas en el Golfo de California y Bahía Almejas; mientras que Anislado (2000) encontró que esta especie abarca el 60 por ciento de toda la biomasa capturada en la pesca artesanal de la costa de Michoacán. Asimismo, Campuzano (2002), indica que la pesca de tiburón en Puerto Madero, Chiapas, está soportada principalmente por *Sphyrna lewini* seguida por un porcentaje ligeramente menor por *Carcharhinus falciformis*.

8.3 COMPOSICION DE TALLAS Y PROPORCIÓN DE SEXOS

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observaron dos grupos bien formados: uno de juveniles y neonatos y otro de adultos, predominando los machos sobre las hembras sobre todo en tallas mayores a los 170 cm de longitud total. Para juveniles y neonatos, la proporción de sexos fue similar tanto en machos como en hembras.

La explicación a esta proporción y a este tipo de segregación sexual es explicada por Klimley (1987), donde establece que las hembras se mueven hacia aguas más profundas a tallas menores que los machos, debido a que éstas crecen más rápido para alcanzar la talla de madurez. De la misma manera, las hembras adultas registradas en verano llegan primero a esta agua para que los tiburones nazcan, y posteriormente llegan los machos para el evento reproductivo (Torres, 1999).

En el año 2005 se obtuvieron muestras durante todo el año, siendo mayor la presencia de machos adultos principalmente en primavera y verano; mientras que la mayoría de hembras grávidas y neonatos fueron obtenidos en verano. Para 2006,

solo se contó con organismos hasta el mes de junio teniéndose la mayoría de organismos en primavera y cuya proporción fue similar tanto para hembras como para machos.

En el estudio realizado por Torres (1999), las tallas juveniles de 67 a 121 cm de longitud total fueron las más abundantes y son las que sostienen la pesquería de tiburón en aguas del noroeste de México, mientras que las hembras y machos adultos se presentan en menor abundancia. Esto sucede cuando los adultos se alejan hacia aguas más profundas, quedando los neonatos y juveniles en mayor proporción cerca de la costa. De igual manera, la captura de neonatos y hembras adultas se registraron en verano. Al igual que el presente estudio, Anislado (2000) observó en una zona de la costa michoacana, neonatos, hembras grávidas, juveniles y machos adultos.

Con respecto a la diferencia de tallas en adultos en Salina Cruz, las hembras presentaron tallas mayores que los machos, siendo la mayor de 288 cm de longitud total; estos datos concuerdan con lo encontrado por Clarke (1971), Branstetter (1981), Torres (1999) y Campuzano (2002) quienes reportan que las hembras obtenidas en sus respectivos estudios son de mayor tamaño que los machos a pesar que su abundancia sea menor.

8.4 MADUREZ EN MACHOS

8.4.1 TALLA DE MADUREZ

Basados en el crecimiento y calcificación de los gonopterigios de los tiburones martillo capturados en Chipehua, Salina Cruz, se identificaron tres etapas de madurez sexual: inmaduros, juveniles y adultos. El proceso de madurez sexual en machos inicia alrededor de los 110 cm de longitud total aproximadamente, talla a la cual los gonopterigios se encuentran semicalcificados, alcanzando la madurez a los

178 cm de longitud total que es cuando todos los organismos presentan gonopterigios calcificados.

Esto se puede explicar por el hecho de que en ciertas épocas del año los testículos pueden aumentar de tamaño llegando incluso a representar el 4 % del peso total del macho (Dodd, 1983) por lo cual su tamaño depende de la condición reproductiva del organismo y no de su longitud total (Hoyos, 2003).

Tallas similares de madurez sexual han sido reportadas por diversos autores, por ejemplo, Clark *et al.* (1965) encuentra espermatozoides en los ductos deferentes de machos con tallas de 177 centímetros de longitud total en Florida. Asimismo, Castro (1983) y Compagno (1984), indican que los machos de *S. lewini* adquieren su madurez a los 180 centímetros de longitud total. Sin embargo, Che – Tsung *et al.* (1988) reportan tallas de madurez a los 198 centímetros de longitud total, lo que indica que en el Pacífico Oriental maduran a tallas menores.

Según Hoyos (2003) *Carcharhinus falciformis* se encuentra bajo una gran presión pesquera en aguas del Océano Pacífico de la costa occidental de América lo que conlleva a que maduren a tallas menores; sin embargo, desde la parte noroeste del Golfo de México hasta el Caribe, *C. falciformis* también representa una de las especies más importantes en la pesca del tiburón (Bonfil, 1987, Bonfil *et al.*, 1990; Branstetter, 1987). Algo similar puede estar ocurriendo con el tiburón martillo *Sphyrna lewini* en las costas de Salina Cruz, ya que es la principal especie explotada en la zona.

Para el Golfo de California, Torres (1999) determina que el proceso de madurez en machos inicia a los 142 cm de longitud total, alcanzando la madurez a los 173 cm de longitud total; esto concuerda con Klimley (1987) quien reporta tallas de madurez en machos de 177 cm de longitud total. Específicamente para la zona de Puerto Madero, Chiapas, Campuzano (2002) reporta una talla media de primera madurez sexual de 175.6 cm de longitud total.

Por su parte, para el Atlántico, Branstetter (1987) y Hazin *et al.* (2001) reportan una talla de madurez en machos en el Golfo de México y noroeste de Brasil, respectivamente de 180 cm de longitud total, lo cual concuerda con lo encontrado en el presente estudio.

8.4.2 FASES DEL DESARROLLO DE LOS FOLÍCULOS

De acuerdo con Chen *et al.* (1988), en *Sphyrna lewini* el órgano epigonal recubre parcialmente la gónada, contrario ocurre con otro tipo de tiburones como el mako (*Isurus oxyrinchus*) donde este órgano rodea completamente las gónadas, dificultando su observación a primera vista (Soria, 2003). En las diferentes especies de tiburón el número y tamaño de los folículos en desarrollo depende del estadio del ciclo reproductivo y el modo de reproducción, en las especies vivíparas el desarrollo del folículo es más diverso que en las ovíparas, esta diversidad en el desarrollo tiene que ver con la ovulación previa y la preñez (Hamlett y Koob, 1999).

Al efectuar un corte transversal del testículo en *Sphyrna lewini* se encontró un patrón de desarrollo de los folículos seminíferos de tipo diamétrico, lo cual concuerda con el tipo de desarrollo de otros tiburones tales como los carcharhinidos (tiburón azul), squalomorphos y galeomorphos (Pratt, 1988).

Similar a lo encontrado en el estudio de Soria (2003), en los folículos seminíferos se encontraron arreglos de espermatozoides, lo que sugiere que existen cambios acelerados en las fases de desarrollo de la espermatogénesis. A pesar que este autor no obtuvo machos adultos, describe que la presencia de etapas avanzadas de la espermatogénesis desde el periodo juvenil hace suponer que los tiburones serán aptos para la reproducción tan pronto como físicamente puedan efectuar la copula, siendo entonces uno de los mayores impedimentos la calcificación del gonopterigio.

En *Sphyrna lewini*, al explorar los folículos seminíferos maduros se encontró que las células de Sertoli se encuentran en la periferia del folículo y los espermatozoides están con las cabezas dirigidas hacia la periferia coincidiendo con una célula de Sertoli. Este mismo arreglo espermático se aprecia claramente en especies cercanas como el tiburón piloto, *Carcharhinus falciformis* (Hoyos, 2003) y el tiburón azul, *Prionace glauca* (Carrera, 2004).

El tipo de almacenamiento de esperma encontrado en *S. lewini* es espermatozeugmata de tipo compuesto. Este también ha sido descrito para otras especies de carcharhinidos como *Rhizoprionodon terranova* y *Prionace glauca*. Este tipo de almacenamiento puede facilitar un empaquetamiento sin eliminar la movilidad del esperma y su mantenimiento a la hora de la copulación (Pratt y Tanaka, 1994). El empaquetamiento y la nutrición del esperma pueden ser importantes en especies nómadas donde el encuentro para la cópula no es frecuente, especialmente en hembras adultas las cuales son menos numerosas en los lugares de apareamiento (Pratt, 1979).

8.5 MADUREZ EN HEMBRAS

8.5.1 TALLA DE MADUREZ

Las hembras examinadas a partir de los 220 cm de longitud total presentaron características secundarias que confirman su madurez sexual, entre éstas, la presencia de embriones en su útero, ovarios desarrollados, marcas de cortejo y, en algunos casos, presencia de semen en su cloaca. De acuerdo con Torres (1999), al parecer las características del hábitat influyen de manera diferente en las hembras, ya que a diferencia de los machos, las hembras del Pacífico oriental alcanzan la madurez a mayor talla que en el Pacífico occidental.

Comparando los resultados de este estudio con otros realizados con la misma especie, se han reportado tallas similares de madurez en las hembras para esta especie. Es así como Che-Tsung *et al.* (1988) y Torres (1999) reportan que las hembras maduran a partir de los 212 cm de longitud total en las costas de Sudáfrica, Taiwán y Golfo de California, respectivamente. Hazin *et al.* (2001) estimaron la talla de madurez a los 240 cm de longitud total en el nororiente de Brasil y Campuzano (2002) la reporta a los 215 cm de longitud total. Comparando estos resultados con los obtenidos en la investigación realizada en el Golfo de México por Branstetter (1987) se observan tallas mayores en la madurez, siendo ésta de 250 centímetros de longitud total.

Es evidente que las hembras maduran a tallas mayores que los machos a pesar de que presenten la misma condición sexual. Klimley (1987) afirma que el tamaño de una hembra gestante debe ser mayor en comparación por el requerido por un macho para la producción de espermatozoides para fertilizar los oocitos, explicando así lo anteriormente expuesto.

De acuerdo con Campuzano (2002), existen otros factores que pueden influir, tales como la zona y la temporada de captura ya que esta especie se segrega por sexos y tallas, igualmente el arte de pesca que puede ser selectiva para ciertas tallas.

8.5.2 ALMACEN DE ESPERMA

Al igual que en otros tiburones vivíparos, en *S. lewini* únicamente el ovario derecho es funcional (Schlernitzauer y Gilbert, 1966; Chen *et al.*, 1988). Con respecto a las glándulas oviducuales, se observó una notable diferencia en cuanto al tamaño en las hembras juveniles en relación a las hembras adultas. Existe una correlación entre el incremento en el tamaño de la glándula oviducal y el ciclo reproductivo alcanzando su máxima, antes de la ovulación (Hamlett *et al.*, 1988). En las hembras juveniles las glándulas oviducuales son casi del diámetro del oviducto y es difícil pensar que por

esas pequeñas estructuras puedan atravesar oocitos maduros de algunos centímetros de diámetro (Soria, 2003).

La glándula oviducal es una estructura que permite almacenar el esperma. En especies vivíparas, éstas secretan una delicada membrana que sirve para separar un embrión de otro.

En este estudio no fue posible encontrar esperma almacenado en las glándulas oviducal debido quizá a una ineficiente preservación dado que eran de gran tamaño. Así, existen tres tipos de almacenamiento de esperma: almacén con inseminación inmediata, de corto plazo y de largo plazo. Para *Sphyrna lewini* ha sido reportado el tipo de almacén de esperma de largo plazo, es decir, que esta especie puede almacenar esperma en densas masas en túbulos durante varios meses a años (Pratt, 1993).

Esta estrategia de almacenamiento es típica de especies nómadas ya que así pueden incrementar las posibilidades de asegurar una reproducción exitosa. Al igual que *S. lewini*, este tipo de almacén de esperma se presenta en algunas especies de carcharhiniformes como *Carcharhinus obscurus* y *Prionace glauca* (Pratt, 1993).

8.5.3 FECUNDIDAD Y PERIODO DE GESTACIÓN

El tiburón martillo *Sphyrna lewini* es una especie de fecundidad intermedia (hasta 40 embriones en este estudio) comparado con otros tiburones de alta fecundidad como por ejemplo el tiburón azul *Prionace glauca* (hasta 100 embriones) o el tiburón tigre *Galeocerdo cuvier* (hasta 82 embriones) (Compagno *et al.*, 1995). Aunque son más fecundos que otros tales como los del género *Alopias* que generalmente tienen dos embriones o algunos *Carcharhinus* que mantienen una fecundidad de uno a 20 embriones (Torres, 1999).

En el presente estudio se obtuvo un amplio intervalo de fecundidad, entre 6 a 40 embriones, siendo más frecuente de 14 a 30 por hembra. No existen diferencias marcadas en cuanto al número de embriones encontrados en otros estudios; Chen *et al.* (1988) reportan hasta 38 embriones, Torres (1999) encuentra una fecundidad máxima de 32 embriones, mientras que Campuzano (2002) obtiene 43 embriones.

En ninguno de los estudios mencionados se ha encontrado relación de la longitud materna con respecto al número de embriones. Esta baja relación se puede explicar a que debido al estrés que provoca la captura, las hembras grávidas tienden a expulsar un gran número de embriones, siendo causa esto de la variación en la fecundidad ya que solo se encontraron los embriones que no eran expulsados por la hembra (Torres, 1999).

Al comparar los resultados del presente trabajo con otros estudios, se generaliza un periodo de gestación de 10 meses y una dependencia estrecha al movimiento de presencia de corrientes cálidas para su apareamiento y parto (Compagno, 1984; Branstetter, 1987; Chen *et al.*, 1988; Last y Stevens, 1993), reflejándose en los máximos de captura.

8.5.4 ÁREAS DE CRIANZA

En México han sido identificadas numerosas áreas de crianza para diferentes especies de tiburones, principalmente en la zona del Caribe cuyas características ambientales las hacen propicias para que las crías tengan suficiente alimento y puedan crecer lo necesario para salir a aguas más profundas (Hoyos, 2001).

Los periodos en los que se capturan los neonatos de *S. lewini* en Salina Cruz, Oaxaca, concuerda con los reportes de nacimientos de la especie en otros sitios, indicando que las hembras liberan a sus crías durante el verano en los meses de

junio a agosto. Asimismo, las tallas de nacimiento son similares a las encontradas en los estudios mencionados con esta especie.

De acuerdo con Hoyos (2001), para considerar una zona determinada como un área de crianza, las hembras deben migrar hacia el lugar de nacimiento de crías al mismo tiempo que el área de crianza se encuentra en uso. Esto pudo confirmarse en el estudio ya que fueron capturadas hembras grávidas durante el periodo de mayo a agosto, época que concuerda con las épocas de nacimiento reportadas para esta especie.

Muchas áreas de crianza se encuentran en zonas de alta productividad tales como manglares, estuarios y ecosistemas de pastos marinos donde la gran abundancia de peces y camarones proveen alimento a los tiburones pequeños (Castro, 1993). El Golfo de Tehuantepec es una zona altamente productiva la cual cumple con dichos requerimientos ya que posee gran diversidad de ecosistemas y gran abundancia de recursos, haciéndolo un lugar propicio para la protección de los neonatos.

9. CONCLUSIONES

- ❏ El tiburón martillo está presente todo el año en Salina Cruz, registrándose las mayores capturas de mayo a julio incidiendo la pesca artesanal principalmente sobre organismos adultos.
- ❏ La proporción de sexos estuvo dominada por los machos (1H:2M), y la talla de primera madurez se encontró a los 178 cm de longitud total para machos y 220 cm de longitud total para hembras.
- ❏ Los machos presentan testículos con desarrollo diamétrico y almacén de esperma de tipo espermatozoides compuesto en la vesícula seminal.
- ❏ El tamaño de los gonopterigios está correlacionado positivamente con la talla del macho.
- ❏ El tamaño de la glándula oviducal no está correlacionado con el tamaño del organismo pero sí con la condición reproductiva ya que incrementa su tamaño durante la ovulación.
- ❏ El tiburón martillo presentó una fecundidad de 40 embriones como máximo, pero la moda fue de 14 a 30 embriones, con una talla de nacimiento de 41 - 51 cm de longitud total.
- ❏ No se observó relación entre la talla materna y el número de embriones.
- ❏ Se propone que la costa de Salina Cruz, Oaxaca, es un área de expulsión y de crianza primaria para el tiburón martillo.

10. RECOMENDACIONES

- ❏ Para conservar las existencias de estos depredadores es necesario conocer más sobre su biología y la dinámica de sus poblaciones, lo cual solo es posible mediante mayores apoyos a los proyectos de investigación sobre la materia.

- ❏ Crear conciencia a nivel social sobre la importancia de la explotación del recurso tiburón por medio de instituciones responsables.

- ❏ Determinar con precisión el área de crianza de Salina Cruz, Oaxaca mediante estudios más enfocados a su batimetría, características ambientales y biológicas de la especie.

- ❏ Plantear un programa de marcaje para observar las migraciones que realiza la especie y ahondar más su conocimiento en cuanto a patrones de movimiento y temporalidad.

- ❏ Realizar estudios genéticos para saber si son poblaciones distintas las que se encuentran en el Pacífico Mexicano.

11. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar-Castro, N. 2003. Ecología Trófica de juveniles de tiburón martillo *Sphyrna lewini* en el Golfo de California. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S, México. 82p.
- Alavez-Jiménez, C. 2006. Aspectos de la biología y pesquería de los tiburones sedoso (*Carcharhinus falciformis*) y pico blanco (*Nasolamia velox*), capturados por la flota artesanal pesquera de ensenada Chipehua, Oaxaca, durante el periodo 2004-2005. Tesis. Instituto Tecnológico de Salina Cruz. 84p.
- Anislado-Tolentino, V. 2000. Ecología pesquera del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) en el litoral del estado de Michoacán, México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Arana, P. 2000. Experiencias de pesca con red de enmalle en isles Robinson Crusoe y Santa Clara, Chile. *Inv. Mar.* Vol. 28. Valparaíso. Pp. 231-237.
- Arellano, E. 2003. Variación del patron de circulación superficial del Golfo de Tehuantepec determinado por el registro sedimentario de foraminíferos planctónicos durante el cuaternario tardío. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 68p.
- Arias, J.P. 2005. Oceanografía Pesquera del Golfo de Tehuantepec: El caso Atún Aleta Amarilla *Thunnus albacares* (Bonnaterre, 1788). Tesis Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S, México. 55p.
- Bass, A.J. 1978. Problems in studies of sharks in the southwest Indian Ocean. Pp. 545-594. In: E.S. Hodgson y R.F. Mathewson (ed). *Sensory Biology of Sharks, Skates and Rays*, Office of Naval Research, Departament of the Navy. Arlington.

- Bonfil, R. 1987. Status of shark resources in the southern Gulf of Mexico and Caribbean: Implications for management. *Fisheries Research* (Amsterdam) 29, 101-117.
- Bonfil, R., D. De Anda, and R. Mena. 1990. Shark Fisheries in Mexico: the case of Yucatán as an example. In: *Elasmobranchs as living resources: advantages in the biology, ecology, systematics, and the status of fisheries* (H.L. Pratt Jr., S.H. Gruber, and Taniuchi, eds.). p. 17-28. NOAA Tech. Rep. NMFS. 90.
- Bonfil, R., de Anda D., and Mena, A.R. 1993. Biological parameters of commercially exploited silky sharks from the Campeche Bank, Mexico. NOAA Tech. Rep. NMFS. 115: 73-86.
- Branstetter, S. 1987. Age, growth and reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*, and the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, from the northwestern Gulf of Mexico. *Environ. Biol. Fish.* (19) 3: 161-173.
- Branstetter, S. 1991. Shark life history: One reason sharks are vulnerable to overfishing. In: *Discovering sharks*. American Littoral Society. Special publication No. 14: 29-34.
- Cailliet, G. M. y Bedford, D. W. 1983. The biology of three pelagic sharks from California waters, and their emerging fisheries: A review. *CalCOFI Report*. 24: 57-68.
- Campuzano, J.C. 2002. Biología y pesquería del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834), en Puerto Madero, Chiapas, Estados Unidos Mexicanos. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 210p.

- Carrera-Fernández, M. 2004. Biología reproductiva del tiburón azul *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S, México. 82p.
- Castro, J.I. 1983. The sharks of North American waters. Texas. A & M University Press, College Station. 180p.
- _____. 1993. The shark nursery of Bull Bay, South Carolina, with a review of the shark nurseries of the southeastern coast of the United States. *Envir. Biol. Fish.* 38:37-48.
- Carranza, A., Morales de La Garza, E. y Rosales, L. 1998. Tectónica, sedimentología y geoquímica. Cap. 1:1-12. En: M. Tapia-García (Ed). *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*. Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa, México. 240p.
- Che-Tsung, C., Tzyh-Chang, J. y J. Shoou-Jeng. 1988. Notes on reproduction in the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, in northeastern Taiwan waters. *Fish. Bull.*, 86(2):389-393.
- Clark, E. y K. von Schmidt. 1965. Sharks of central gulf coast of Florida. *Bull. Mar.Sci.* 15: 13-83.
- Clarke, T.A. 1971. The ecology of the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, in Hawaii. *Pac. Sci.*,25(2):133-144.
- Compagno, L.J.V. 1984. *Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of sharks species known to date. Part I. Hexanchiformes to Lamniformes. Part II. Carcharhiniformes.* FAO Fisheries Synopsis. Vol. 4 (1): 249.; Vol. 4 (2): 655.

- Compagno, L.J.V., Krupp, F y Schneider. 1995. Tiburones En: Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E. y Niem, V. H (eds). Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca. Pacífico Centro-Oriental. Parte 1. Roma 2: 648- 685.
- Compagno, L.J.V., 2002. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Volume 2. Bullhead, mackerel and carpet sharks (Heterodontiformes, Lamniformes and Orectolobiformes). FAO Species Catalogue for Fishery Purposes. Roma. 269pp.
- Cortés, E. 2003. Conservación de elasmobranquios: perspectiva internacional. Resúmenes Jornada UNAM. <http://www.jornada.unam.mx/2003/ene03/030127/eco-cara.html>. (Fecha de consulta: Abril de 2004).
- Daniel, W. W. 2002. Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud. 4ª Edición. Editorial Limusa. México. 755p.
- Dood, J. M. 1983. Reproduction in cartilaginous fishes (Chondrichthyes). En: Fish Physiology. Hoar, W. S., D. J. Randall y E. M. Donaldson. (ed.). Academic Press, Inc. 9A:31-95
- Espinosa, E., Castro-Aguirre, J.L. y L. Campos. 2004. Listados Faunísticos de México: IX Catálogo Sistemático de Tiburones (Elasmobranchii: Selachimorpha). Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 134p.
- FAO. 1998. Plan de Acción Internacional para la Conservación y Ordenación de los Tiburones (PAI-Tiburones). Orientaciones Técnicas para la pesca responsable. No.4. Supl.1. Roma. 66p.

- Fernández, A., A. Gallegos y J. Zavala, 1992. Carta Oceanográfica física 1, masas de agua y mareas. Atlas nacional de México. Instituto de Geografía, UNAM, vol. II.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Inst. Geofís. UNAM. 246 p.
- Gilbert, C.R. 1967. A Revision of the Hammerhead Sharks (Family Sphyrnidae). Proceedings of the National Museum. Smithsonian Institution. 119 (3539):1-98. Washington, D.C., E.U.A.
- Hamlett, W. C. 1999. Male reproductive system. En: Sharks, skates and rays the biology of elasmobranch fishes. Hamlett, W. C. (Ed). The Johns Hopkins Univ. Press, E.U.A. 444-469pp.
- Hamlett, W.C. y T. J. Koob. 1999. Female reproductive system, 398-443. En: Hamlett, W.C. (Ed.) Sharks, skates and rays the biology of elasmobranch fishes. The Johns Hopkins Univ. Press, E.U.A.
- Hazin, F., Fischer, A. y Broadhurst, M. 2001. Aspects of Reproductive Biology of the Scalloped Hammerhead Shark, *Sphyrna Lewini*, off Northeastern Brazil. Environmental Biology of Fishes, 61: 151-159.
- Hoening, J.M. & S.M. Gruber. 1990. Life-history patterns in the elasmobranchs, implication for fisheries management. NOAA Tech. Rep. NMFS 90: 1-16.
- Holland, K., Wetherbee, B., Peterson, J., y Lowe, C. 1993. Movimientos y distribución de neonatos de tiburones martillo en sus áreas de crianza. En: Copeia (2) 495-502.

- Holden, M. J. 1974. Problems in the rational exploitation of elasmobranchs populations and some suggested solutions. En: Sea fisheries research. F. R. Harden Jones (ed.). Halsted Press, J. Wiley & Sons, New York. 117-137pp.
- Hoyos-Padilla, E. M. 2001. Las áreas de crianza de tiburones en el Caribe y Golfo de México, con un enfoque especial en la Laguna Yalahau, Quintana Roo. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 90p.
- Hoyos-Padilla, E. M. 2003. Biología reproductiva del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Bibron, 1839) de Baja California Sur. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S, México. 58p.
- Instituto Nacional de Pesca. 2000. La Pesquería del tiburón en el Golfo de Tehuantepec En: Sustentabilidad y Pesca Responsable en México: evaluación y manejo. Informe. México.
- Klimley, A.P. y Nelson, D.R. 1981. Schooling of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in the Gulf of California. *Fish. Bull.*, 79(2):356-360.
- Klimley, A.P. 1981. Grouping behaviour in the scalloped hammerhead. *Oceanus*, 24 (4):65-71.
- _____. 1982. Social organization of schools of the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini* (Griffith and Smith), in the Gulf of California. Doctoral Dissertation, University of California, San Diego, La Jolla, 341p.
- Klimley, A.P., y Nelson, R. 1984. Diel movement patterns of the Scalloped Hammerhead Shark (*Sphyrna lewini*) in relation to El Bajo Espiritu Santo: a Refuging Central Position Social System. In: Behavioral Ecology and Sociobiology. Springer-Verlag editor. 15:45-54.

- Klimley, A.P. 1985. Schooling in *Sphyrna lewini*, a Species with low risk of predation: a Non-Egalitarian State. In: Z. Tierpsychol. 70: 297-319.
- _____. 1987. The determinants of sexual segregation in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*. Environ. Biol. Fish. 18(1):27-40.
- Klimley, A.P., Cabrera-Mancilla, I. y L. Castillo-Geniz. 1993. Descripción de los movimientos horizontales y verticales del tiburón martillo *Sphyrna lewini*, del sur del Golfo de California, México. Ciencias Marinas, 19(1): 95-115.
- Last, P. y Stevens, J. 1993. Can shark resources be harvested sustainably? A question revisited with a review of shark fisheries. Marine and Freshwater Resources Institute. 49. Victoria, Australia.
- Marín – Osorno, R. 1992. Aspectos biológicos de los tiburones capturados en las costas de Tamaulipas y Veracruz, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana.
- Marquez – Farías, F. 2003. Aspectos fundamentales de la biología de los tiburones y su papel para la conservación y administración pesquera. En: OLDEPESCA. III Reunión Técnica sobre Instrumentos Internacionales de Pesca: aspectos técnico científicos del tiburón en la región. Guatemala.
- Martoja, R. y Martoja-Pierson, M. 1970. Técnicas de Histología Animal. Toray-Masson, S.A. Editores, Barcelona, España. 350p.
- Mejía, L. y Acero, A. 2002. Libro Rojo de Peces Marinos de Colombia. INVEMAR, MINAMBIENTE y Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 174p.

- Natanson, L. J. y Caillet, G. M. 1986. Reproduction and development of the pacific angel shark, *Squatina californica*, off Santa Barbara, California. *Copeia* (4):987-994.
- Pratt, H. L. Jr. 1979. Reproduction of the blue shark, *Prionace glauca*. *Fish. Bull.* 77: 445-470.
- Pratt, H. L. Jr. 1988. Elasmobranch gonad structure: a descriptive survey. *Copeia* (3): 719-729.
- Pratt, H. L., Jr. y Casey, J. G. 1990. Shark reproductive strategies as a limiting factor in directed fisheries, with a review of Holden's method of estimating growth-parameters. In: *Elasmobranchs as living resources: Advances in biology, ecology, systematics and status of the fisheries*. H. L. Pratt, Jr., S. H. Gruber, y T. Taniuchi, (Eds.), U.S. Dep. Comer., NOAA Tech. Rep. NMFS, 90, 97-109 p.
- Pratt, H.L., & T. Otake. 1990. Recommendations for work needed to increase our knowlrdge of reproduction relative to fishery management. NOAA Tech. Rep. NMFS 90: 509-510.
- Pratt, H. L. Jr. 1993. The storage of spermatozoa in the oviducal glands of western North Atlantic sharks. In: *The reproduction and development of sharks, skates, rays and rattfishes*. Wourms, J.P., Demski, L. S, (eds.). 38(1-3): 139-149.
- Pratt, H.L. y Tanaka, S. 1994. Sperm Storage in Male Elasmobranch: A Description and Survey. *Journal of Morphology*. 219: 297-308.
- Romeau, E. 2001. <http://www.conabio.gob.mx/biodiversitas/tiburón.htm>. (Fecha de consulta: Marzo de 2004).

- Saucedo, C.J. 1983. El tiburón: contribución al estudio de la pesquería de la zona sur de Sinaloa, México. *Ciencias del Mar*, 2:14-29.
- Simpfendorfer, C.A. 1992. Reproductive Strategy of Australian Sharpnose Shark, *Rhizoprionodon taylori* (Elasmobranchii: Carcharhinidae), from Cleveland Bay, Northern Queensland. *Austr. J. Mar. Freshwater Res.*, 43: 67-75.
- Soria, A. 2003. Descripción anatómica e histológica dl sistema reproductor de juveniles de tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834). Tesis Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Cicimar. La Paz, B.C.S. México. 89p.
- Soriano, S. y Acal, D. 2003. La pesquería del tiburón en Chiapas y su entorno socioeconómico. Resúmenes Jornada UNAM. <http://www.jornada.unam.mx/2003/ene03/030127/eco-i.html>. (Fecha de consulta: Abril de 2004).
- Springer, S. 1960. Natural history of the sandbar shark, *Eulamia milberti*. *Fish. Bull.* 61: 1-38.
- Tapia-García, M. y Gutierrez, B. 1998. Recursos pesqueros de los estados de Oaxaca y Chiapas, Cap. 11:149-162. En: M. Tapia-García (Ed). *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*, 240p. Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa, México.
- Torres, A.M. 1999. Observaciones sobre la biología reproductiva de la cornuda barrosa *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) (PISCES: SPHYRNIDAE) en aguas del noroeste de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 68p.

Torres, A.M. 2004. Distribución, abundancia y hábitos alimentarios de juveniles del tiburón martillo *Sphyrna lewini* Griffith y Smith (SPHYRNIDAE) en la costa de Sinaloa, México durante el evento Niño 1997-98. Tesis Maestría. Universidad del Mar. Oaxaca. 99p.

Wourms, J.P. 1981. Viviparity: The maternal fetal relationship in fishes. *Amer. Zool.* 21:473-515.