



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL TIBURÓN
MAMÓN PARDO *Mustelus henlei* (Gill, 1863) EN
LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA
SUR, MÉXICO.**

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

PRESENTA:

JOAO ROBERTO SILVA SANTOS

LA PAZ, B.C. S., JUNIO DEL 2012.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 17 del mes de Mayo del 2012 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 titulada:

"BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL TIBURÓN MAMÓN PARDO *Mustelus henlei* (GILL, 1863)
EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

Presentada por el alumno:

SILVA

Apellido paterno

SANTOS

materno

JOAO ROBERTO

nombre(s)

Con registro:

B	1	0	1	3	3	3
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA
Director de Tesis

DRA. ROSA ISABEL OCHOA BÁEZ
2º. Directora de Tesis

DR. LEONARDO ANDRÉS ABITTA CÁRDENAS

DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS

DRA. MARIBEL CARRERA FERNÁNDEZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ





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

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 30 del mes Mayo del año 2012
el (la) que suscribe BIÓL. JOAO ROBERTO SILVA SANTOS alumno(a) del
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS
con número de registro B101333 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 DRA. ROSA ISABEL OCHOA BÁEZ
y cede los derechos del trabajo titulado:

"BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL TIBURÓN MAMÓN PARDO *Mustelus henlei* (GILL, 1863)
EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, 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. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: joaosilvabiol@gmail.com - fgalvan@ipn.mx - rochoa@ipn.mx

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

BIÓL. JOAO ROBERTO SILVA SANTOS

nombre y firma

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi familia, quienes me dieron esa fuerza que solo reside en el núcleo familiar y que siempre, pero siempre creyó en mí.

A ROBERTO SILVA RIVERA, quien siempre ha sido mi ídolo y de quien aprendí mediante el ejemplo del día a día, que la paciencia y la tranquilidad, son dones que te brinda un mejor panorama de la vida, que si vas a hablar es porque dirás una solución al problema no volverte parte de él. Apa sabes que siempre te admire y nunca tendré como pagarte el que me hayas enseñado el valor de un padre, solo espero algún día poder ser como tú.

A MARIA BARBARA SANTOS JIMÉNEZ, la mujer que lleno este corazón de sonrisa, la que con sus nobles sentimientos me enseñó a creer en el amor, a defender a antes que nada a tu familia y de quien aprendí a dejar el aliento en la batalla y no el remordimiento en tu corazón por rendirte. Ama muchas gracias por este corazón y mas por mantenernos juntos, gracias por aguantarme tanto tiempo, gracias por ser mi madre, sabe que siempre será mi gran amor el as di mi baraja, mi sonrisa.

A JOANDAD NANCY SILVA SANTOS, la cosita loca de mi corazón, esa persona en quien deposite toda mi fe, porque verte crecer era el único motivo por el que me levantaba cada día. Sé que llegarás más lejos que yo y por favor nunca te detengas; y en caso de hacerlo recuerda que siempre estaremos juntos, siempre tendrás un hermano que dejaría todo por ti. Mamis no sé si sea bueno enseñándote el mejor camino en esta vida, pero sé que siempre peharemos juntos, siempre SS.

A ANGELA ARAUJO GARCÍA, esa persona con quien espero culminar un sueño que comenzó con un simple beso y que anhelo de corazón que culmine con una charla de amor y recuerdos a los 90 años sentados en dos mecedoras. Peke muchas gracias por dejarme cumplir mi sueño y por albergar mis ilusiones, por darme tu corazón y por darme ese brillo en los ojos que solo se obtiene cuando realmente amas a alguien.

Sé que nunca podre decirles todo lo que valen para mí, pero también sé que nunca olvidaran que mi corazón es el reflejo de todas sus virtudes y defectos.

“Siempre piensa en quien amas, porque el hogar de uno se encuentra en el corazón de quien nunca dejan pensar en ti.”

Por eso siempre se donde esta mi hogar, está en ustedes mi familia.

Los AMO.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al **Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN)**, por la oportunidad de realizar el presente trabajo.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** y al programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) por el apoyo brindado para la realización de ésta tesis.

Al proyecto que hizo posible los muestreos para la obtención de datos para el presente estudio: **Estudios biológicos de tiburones y rayas de Baja California Sur (2000-2010)**, del CICIMAR-IPN.

A mis directores, el **Dr. Felipe Galván Magaña**, por la oportunidad de cumplir mi sueño de regresar y formar parte de su excelente grupo de trabajo y a la **Dra. Rosa Isabel Ochoa Báez** por todos los consejos, conocimientos y apoyo brindados para llevar a cabo el trabajo histológico, a ambos directores muchas gracias, fue un honor trabajar con ustedes.

Al comité revisor: **Dra. Maribel Carrera Fernández, Dr. L. Andrés Abitia Cárdenas, Dr. Rogelio Gonzales Armas y Dr. Agustín Hernández Herrera**, por haber estado presentes en cada seminario, por el apoyo y las contribuciones brindadas para mejorar esta tesis.

A IEMANYA-OCEANICA, que mediante **Surizaray Espinoza García y Rodrigo Rangel**, por el apoyo en los muestreos de Punta Lobos y San Lázaro, así como el aporte de muestras para la realización de esta tesis.

Al **LCP. Humberto Ceseña y César Casas**, por todo el tiempo y paciencia que me otorgaron durante estos dos años en cada trámite, pero más que nada por la amistad que se dio a través de este tiempo.

Al **Dr. René Torres** por su paciencia y apoyo en la obtención de imágenes, a **Nancy** por la ayuda en la elaboración de las laminillas y al **Dr. Marcial Villalejo** por su amistad y orientación en los estadísticos de reproducción.

Al Laboratorio de Ecología de Peces, **Itzigueri, Andres, Peggy, Fabián, Chayo, Lalo, Yassir, Vennesa, Liz y Berenice** por el apoyo y los buenos momentos de los muestreos y en el procesamiento de las muestras. A **Don Francisco y Xchel** por la amistad incondicional y por el apoyo que semestre a semestre nos impulso a continuar. A **Ricardo García**, por los el tiempo y la paciencia que me ayudo a comprender los cambios oceanográficos de la zona de muestreo. A los chicos de la UMAR, **Gaby, Jessica, Anna, Mildred, Beto** y en especial a **Tatiana** por la colaboración directa en el procesamiento de los datos que hicieron posible esta tesis y por su gran amistad. A **Janneth Padilla** por la elaboración del mapa de la zona de muestreo.

A los Pescadores de San Lázaro por su paciencia, confianza y por el apoyo incondicional que nos otorgaron día con día. **Paty** muchas gracias por todas esas deliciosas comidas, **Don Manuel y Cosme** muchas gracias por la experiencia y por dejarme conocer un poco más sobre el arte de la pesca de tiburón. Gracias a **Don Japo, su familia y su equipo** de trabajo por apoyarnos tanto en la extracción de muestras como en el comportamiento de esta especie en la zona.

A todos los **pescadores y fileteadores** de la zona de Punta lobos que nos dieron la oportunidad de extraer muestras y conocimientos. Gracias por su confianza y amistad.

A la familia paceña: **Maribel Carrera Fernández**, por ser el núcleo de esta familia, por formarme como investigador, por alentarme cada semestre pero más importante porque siempre vamos a tener esta bonita amistad. **Ofelia Escobar**, gracias por dejarme conocerte y por considérame un amigo de verdad eso vale mucho para mí. **Lavinia Flores**, por su amistad y por aguantarme estos dos años, porque de verdad hiciste muchas cosas por mí que nunca podre pagártelas, gracias por todas esas sonrisas. **Surizaray** por tu amistad y por enseñarme con el ejemplo que siempre se puede seguir luchando por lo que quieres. **Javier Carrera**, gracias por tu amistad y por invitarme a jugar futbol. **Derek Said**, por considerarme el tío favorito y por ser la alegría de esta familia. A todos muchas gracias por estos momentos tan bellos, que espero sigan en aumento.

Al cardumen: **Jatziry Gracian** por el apoyo y aliento que me brindo para ser mejor cada día. **Monica Ruiz** por ser quien nos motivo a hacer las cosas correctas. **Marcela Valdovinos**, por ser el alma de fiesta que siempre nos motivo a salir. **Rocío Vega de la Vega y Vega**, por esta linda enamistad que espero sea para siempre. **Lavinia Flores**, gracias por dejarme contar contigo siempre. **Margarita**, gracias por considerarme tu amigo a pesar de conocernos muy poco. **Eduardo Alvarez**, gracias por enseñarnos que el trabajo y el esparcimiento pueden ir de la mano si se hacen bien. **Fabián Escobar**, gracias por ser el ejemplo a seguir y por tu invaluable amistad. **Andrés Granados**, gracias por estar conmigo desde el comienzo y hasta el final. A todos les deseo suerte y gracias por cada sonrisa, por cada enojo, por cada felicidad, por cada problema y principalmente por su amistad.

A **Doña Regina** por su cariño y por enseñarme que el trabajo se hace con gusto.

Un agradecimiento muy especial a un gran amigo y persona, **† Iván Cruz Estudillo (11-06-1984 a 11-24-2012)**, que al igual que yo pensaba que en la ciencia no existían envidias y que la vida sería difícil pero eso nos impediría ser felices.

Muchas Gracias a todos ustedes, porque sin ustedes esto no hubiera sido posible.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABLAS	II
GLOSARIO	III
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
4. OBJETIVO GENERAL	7
4.1 OBJETIVOS PARTICULARES	8
5. METODOLOGÍA.....	8
5.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	8
5.2 TRABAJO DE CAMPO	10
5.3 TRABAJO DE LABORATORIO Y ANÁLISIS HISTOLÓGICO.....	11
5.4 ANÁLISIS DE DATOS.....	12
6. RESULTADOS	14
6.1 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y DE TALLAS	14
6.2 PROPORCIÓN DE SEXOS	18
6.3 DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DEL APARATO REPRODUCTOR DE LOS MACHOS Y LA GLÁNDULA OVIDUCAL DE LAS HEMBRAS	19
6.3.1 MACHOS	19
<i>TESTÍCULO</i>	19
<i>EPIDÍDIMO</i>	22
<i>VESÍCULA SEMINAL</i>	24
6.3.2 HEMBRAS	26
<i>GLÁNDULA OVIDUCAL</i>	26
6.4 DESCRIPCIÓN A NIVEL MACROSCÓPICO DEL APARATO REPRODUCTOR Y LOS ESTADIOS DE MADUREZ EN AMBOS SEXOS	31
6.4.1 MACHOS	31
<i>TESTÍCULOS</i>	32
<i>EPIDÍDIMO</i>	32

<i>VESICULA SEMINAL</i>	33
<i>ESCALA DE MADUREZ EN MACHOS</i>	36
6.4.2 HEMBRAS	37
<i>OVARIO</i>	38
<i>GLÁNDULA OVIDUCAL</i>	39
<i>ÚTERO</i>	40
<i>ESCALA DE MADUREZ</i>	43
6.5 CICLO REPRODUCTIVO.....	44
6.6 DESARROLLO EMBRIONARIO	46
6.7 FECUNDIDAD	51
6.8 TALLA DE MADUREZ L_{50} PARA MACHOS Y HEMBRAS	52
7. DISCUSIÓN	53
7.1 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y COMPOSICIÓN DE TALLAS	53
7.2 PROPORCIÓN DE SEXOS	55
7.3 DESCRIPCIÓN MICROSCOPICA DEL APARATO REPRODUCTOR DE LOS MACHOS Y LA GLÁNDULA OVIDUCAL DE LAS HEMBRAS.	56
7.3.1 MACHOS	56
7.3.2 HEMBRAS	58
7.4 DESCRIPCIÓN A NIVEL MACROSCÓPICO DEL APARATO REPRODUCTOR Y LOS ESTADIOS DE MADUREZ EN AMBOS SEXOS	62
7.4.1 MACHOS	62
7.4.2 HEMBRAS	64
7.5 CICLO REPRODUCTIVO.....	66
7.6 DESARROLLO EMBRIONARIO	68
7.7 FECUNDIDAD	71
7.8 TALLA DE MADUREZ L_{50} PARA MACHOS Y HEMBRAS	73
7.9 POSIBLES FACTORES QUE MODIFICAN LOS PARAMETROS REPRODUCTIVOS	75
8. CONCLUSIÓN.....	77
9. RECOMENDACIONES	79
10. LITERATURA CITADA	80
11. ANEXO	95

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Mapa de distribución de <i>M. henlei</i>	2
FIGURA 2. Tiburón mamón pardo <i>M. henlei</i>	3
FIGURA 3. Área de estudio mostrando la ubicación de los campos pesqueros	9
FIGURA 4. Cortes histológicos en la glándula oviducal	11
FIGURA 5. Distribución temporal por localidades de <i>M. henlei</i>	15
FIGURA 6. Distribución temporal de machos y hembras de <i>M. henlei</i>	15
FIGURA 7. Composición de tallas de <i>M. henlei</i> en ambos sexos.....	16
FIGURA 8. Frecuencia de tallas de <i>M. henlei</i>	17
FIGURA 9. Frecuencia de tallas de <i>M. henlei</i> por sexo en la localidad de San Lázaro.	17
FIGURA 10. Frecuencia de tallas de <i>M. henlei</i> por sexo en la localidad de punta lobos.....	18
FIGURA 11. Desarrollo de la espermatogénesis en <i>M. henlei</i>	19
FIGURA 12. Magnificación de la espermatogénesis en el testículo de <i>M. henlei</i>	21
FIGURA 13. Análisis histológico del epidídimo.....	23
FIGURA 14. Análisis histológico de la vesícula seminal	24
FIGURA 15. Disección de la glándula oviducal en un corte transversal.....	26
FIGURA 16. Magnificación de la periferia de la zona "baffle"	27
FIGURA 17. Magnificación de la liberación de la tercera membrana en la zona "baffle"	28
FIGURA 18. Organización estructural de los túbulos de almacén de esperma en la glándula oviducal de <i>M. henlei</i>	29
FIGURA 19. Fertilización simultanea en la glandula oviducal de hembras de <i>M. henlei</i>	30
FIGURA 20. Morfología del aparato reproductor masculino del tiburón <i>M. henlei</i>	31
FIGURA 21. Testículo de <i>M. henlei</i>	32
FIGURA 22. Epidídimo de <i>M. henlei</i>	33
FIGURA 23. Vesícula seminal del tiburón <i>M. henlei</i>	33
FIGURA 24. Relación de la longitud total con la longitud del gonopterigio en machos de <i>M. henlei</i>	34

FIGURA 25. Relación de la longitud total con el largo del testículo en machos de <i>M. henlei</i>	35
FIGURA 26. Relación de la longitud total con el ancho del testículo en machos de <i>M. henlei</i>	35
FIGURA 27. Morfología del aparato reproductor de una hembra de tiburón <i>M. henlei</i>	37
FIGURA 28. Ovario de una hembra de <i>M. henlei</i>	38
FIGURA 29. Glándula oviducal una hembra de <i>M. henlei</i>	39
FIGURA 30. Úteros de una hembra de <i>M. henlei</i>	40
FIGURA 31. Relación del ancho del útero con la longitud total en hembras de <i>M. henlei</i>	41
FIGURA 32. Relación de la glándula oviducal con la longitud total en hembras de <i>M. henlei</i>	42
FIGURA 33. Relación del diámetro de los oocitos con la longitud total en hembras de <i>M. henlei</i>	42
FIGURA 34. Ciclo reproductivo de <i>M. henlei</i> en la costa occidental de Baja California Sur.....	45
FIGURA 35. Periodo cero del desarrollo embrionario de <i>M. henlei</i>	46
FIGURA 36. Embrión de <i>M. henlei</i> en el periodo uno.....	47
FIGURA 37. Embrión de <i>M. henlei</i> en el periodo dos.....	48
FIGURA 38. Embrión de <i>M. henlei</i> en el periodo tres.....	49
FIGURA 39. Embrión de <i>M. henlei</i> en el periodo cuatro.....	50
FIGURA 40. Número de huevos uterinos y embriones por hembra de <i>M. henlei</i>	51
FIGURA 41. Talla de madurez L_{50} para machos de <i>M. henlei</i>	52
FIGURA 42. Talla de madurez L_{50} para hembras de <i>M. henlei</i>	52

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Muestras de tiburones <i>M. henlei</i> de la costa occidental de B.C.S del 2007-2011.....	14
TABLA 2. Comparación de parámetros reproductivos de <i>M. henlei</i>	76

GLOSARIO

Embrión: animal en proceso de desarrollo a partir del huevo fecundado. El embrión se encuentra contenido en las membranas del huevo en las especies ovíparas y en las vivíparas se encuentra en el útero de la madre (Ruíz-Durá, 1988).

Espermatogénesis: Proliferación de células germinales masculinas a partir de la división mitótica de las espermatogonias y posteriores divisiones meióticas (Naghama, 1983).

Espermatozeugmata compuesto: Es cuando los espermatozoides periféricos, tienen los flagelos expuestos delimitando la agrupación con una capa externa, mientras que en la matriz cohesiva hay otros espermatozoides con los flagelos dirigidos hacia el centro formando proyecciones irregulares o capas internas (Pratt y Tanaka, 1994),

Espermatozeugmata simple: son organizaciones de masas de espermatozoides desnudos unidos a una matriz cohesiva que forma masas ovoides o subesféricas (Pratt y Tanaka, 1994).

Espiráculo: Abertura respiratoria localizada detrás de los ojos (Scott, 1993).

Fecundación: Es el fenómeno por el cual se fusionan los gametos femeninos y masculinos (Ruíz-Durá, 1988).

Fecundidad: Es la capacidad reproductiva de un organismo, basada en la tasa de producción de huevos en especies ovíparas y el número de embriones en los úteros de especies vivíparas (Dood, 1983).

Fijación: La fijación es la conservación de los tejidos y órganos en la forma más cercana posible a su estado natural (Deleon, 1970).

Glándula oviducal: La morfología general de la glándula oviducal varía entre las especies, pero en general se compone de dos mitades similares dorsoventrales aplanados rodeados de tejido conectivo (Knight *et al.*, 1996).

Gonopterigios: Órganos copuladores del macho, los cuales son modificaciones de los bordes internos de las aletas pélvicas y se prolongan hacia atrás y son característicos de los elasmobranquios (Álvarez del Villar, 1978).

Inclusión: Es cuando el tejido se coloca en un pequeño recipiente ó caja de papel, que ya está lleno de parafina derretida y el conjunto se enfría (Humason, 1979).

Oviparidad: es un modo lecitotrófico de reproducción, donde todos tiburones depositan los huevos exteriormente, estos son correosos, de estructura compleja y con una cascara dura (Hamlett y Koob, 1999).

Ovogénesis: Maduración de las células sexuales femeninas. Formación de los óvulos (Ruíz-Durá, 1988).

Tinción: es la utilización de sustancias que en histología se llaman colorantes para lograr el contraste suficiente entre los distintos componentes de la célula y los tejidos, para así poderlos diferenciar con el microscopio (Ham y Cormack, 1986).

Vitelo: Reservas del oocito formadas de lipoproteínas y fosfoproteínas, derivadas principalmente de la vitelogenina (Tayler y Sumpter, 1996).

Vitelogénesis: periodo de crecimiento del oocito durante el cual las proteínas de origen extraovárico son acumuladas en el oocito (Tyler y Sumpter, 1996).

Viviparidad: Las formas vivíparas conservan sus embriones en el útero durante todo el período de desarrollo. Por lo tanto, los embriones nacen completamente desarrollados, como copias en miniatura de los adultos (Carrier *et al.*, 2004).

Viviparidad aplacentada: No se forma una conexión placentaria entre la madre y las crías. La reciente viviparidad aplacentaria anteriormente era llamada ovoviviparidad, que es un término tomado de la literatura de vertebrados (Carrier *et al.*, 2004).

Viviparidad placentada: Es cuando la superficie del saco vitelino toca la pared del útero, provocando que los tejidos de la madre y las crías entran en contacto por medio de la placenta, formada por el saco vitelino (Carrier *et al.*, 2004).

RESUMEN

El tiburón mamón pardo *Mustelus henlei* es una especie importante en la pesquería artesanal de la costa occidental de Baja California Sur. No hay información biológica de su reproducción en esta zona, y podría ser diferente a la reportada en el norte del Golfo de California. El objetivo del estudio fue describir la biología reproductiva de *M. henlei* en la costa occidental de Baja California Sur, México. Las muestras biológicas proceden de tres campos pesqueros: Punta Lobos (PL), Las Barrancas (LB) y San Lázaro (SL); recolectadas desde 2007 hasta 2011. Se registro la longitud total (LT) y el sexo de los tiburones. Del aparato reproductor de ambos sexos se obtuvieron submuestras fijadas en formol al 10 % para el análisis histológico. Se registraron 935 tiburones, 484 machos y 451 hembras, capturados durante los meses de marzo a noviembre. El intervalo de tallas estuvo entre 42 a 104 cm LT para ambos sexos. La proporción de sexos en Punta Lobos fue de 1M:1H; mientras que en San Lázaro la mayoría de las capturas estuvo dominada por los machos con una proporción de 4M: 1H para adultos y en juveniles de 1.16M:1H. El tiburón *M. henlei* presentó un ciclo reproductivo anual, el cual inicia con la actividad reproductiva en abril y posiblemente termine en junio, meses en los que se realiza el apareamiento, la fecundación y el nacimiento de las crías en la población. El ciclo ovárico es simultáneo con el periodo de gestación, el cual se realiza durante aproximadamente once meses. Durante la gestación se observaron cuatro fases embrionarias y la fecundidad modal fue de diez embriones. En ambos sexos hubo una correlación de la LT con el desarrollo de las estructuras reproductivas. Los testículos presentaron un desarrollo de tipo diamétrico y espermatozeugmata en la vesícula seminal. Las hembras contenían esperma almacenado en la glándula oviducal. La talla de madurez L_{50} fue de 64 cm LT en machos y 68 cm LT para hembras.

Palabras claves: *Mustelus henlei*, almacén de esperma, fecundidad, desarrollo embrionario, madurez.

ABSTRACT

The shark *Mustelus henlei* is an important species in the artisanal fishery of the west coast of Baja California Sur. However, there is no biological information about reproduction in this area and this may be different from that reported in the northern Gulf of California. The aim is to describe the reproductive biology of *M. henlei* on the west coast of Baja California Sur, Mexico. Biological samples were obtained of fishing camps of Punta Lobos (PL), Las Barrancas (LB) and San Lazaro (SL), from 2007 to 2011. We recorded the total length (TL) and sex of sharks, the reproductive tract of both sexes were collected and fixed in formalin 10% for histological analysis. We recorded 935 sharks, 484 males and 451 females, during March to November of different years. The sizes were 42 to 104 cm TL for both sexes. The adult sex ratio in Punta Lobos was 1M:1H; while in San Lázaro was dominated by males with a ratio of 4M:1H in adults and 1.16M:1H in youngs. The shark *M. henlei* showed an annual reproductive cycle; the mating, ovulation, fertilization and births were observed during April to June. The ovarian cycle occurs simultaneously with the gestation period, both lasting about eleven months. During pregnancy, we observed four embryonic stages and fecundity was obtained with a mode of ten embryos. Both sexes presented correlation of the total length with the development of the reproductive organs. The males had a diametric type development in the testes and espermatozeugmata of a single layer in the seminal vesicle, whereas females had stored sperm in the oviducal gland. The size at maturity L_{50} was 64 cm in males and 68 cm for females.

Keywords: *Mustelus henlei*, store sperm, fecundity, embryonic development, maturity.

1. INTRODUCCIÓN

Los tiburones integran uno de los grupos de vertebrados más primitivos del océano, los cuales pertenecen a la clase Chondrichthyes y presentan dos líneas evolutivas relacionadas, que incluyen las rayas y las quimeras. Presentan como característica compartida la presencia de un esqueleto cartilagenoso, el cual se desarrolló como una adaptación que les permite reducir su densidad corporal y mantenerse a nado sin hundirse, debido a la carencia de una vejiga natatoria (gaseosa) característica de los peces óseos (Parker y Parker, 2002).

Los tiburones del género *Mustelus* pertenecen a la familia Triakidae, existen alrededor de 25 especies a nivel mundial (Heemstra, 1997) y están ampliamente distribuidos en mares tropicales, templados y fríos, desde aguas someras hasta profundidades moderadas (200 m). Las especies distribuidas en el Océano Pacífico mexicano son: *M. henlei*, *M. lunulatus*, *M. californicus* y en la zona norte del Golfo de California una especie nueva llamada *M. hacat* descrita en 2005 por Pérez-Jiménez *et al.* (2005), aunque Castro- Aguirre *et al.* (2005) comenta que es sinónima de *M. albipinnis*. Todas estas especies de *Mustelus* tienen importancia comercial (Castro, 1996) y son conocidas en el noroeste de México como tiburones “mamones o tripa”.

M. henlei es una especie distribuida desde las costas de California en Estados Unidos hasta las costas de Perú incluyendo el Golfo de California, entre los 43° N a los 18° S y de 126° O a 72° O (Fig. 1) (Fishbase, 2011), se encuentran desde la zona intermareal hasta profundidades de 200 metros (Ebert, 2003). Se alimentan de invertebrados bentónicos especialmente crustáceos, pero también de moluscos, poliquetos, peces óseos pequeños y huevos de peces (Compagno *et al.* 1995) y se puede diferenciar de las otras especies de *Mustelus* por presentar bordes posteriores de las aletas dorsales y caudal deshilachados, con una banda oscura conspicua (Fig. 2) y dientes con una cúspide central alta y aguda acompañada de dos cúspides laterales más pequeñas (Pérez-Jiménez, 2006).



Figura 1. Mapa de distribución de *Mustelus henlei*, la línea roja es la zona donde existe mayor número de reportes sobre la especie y la amarilla donde existen menos (Fishbase, 2012).

Los tiburones son de gran interés para el hombre debido a que se considera un recurso pesquero importante al ser capturados por sus aletas, carne, piel, dientes, hígado y cartílago (Pratt y Casey, 1990). La pesquería del tiburón *M. henlei* en México se realiza en la pesquería artesanal de la costa oriental de Baja California (B.C.), con las mayores tasas de captura en los meses de otoño con 2.4 ± 0.8 (Smith *et al.*, 2009). A pesar de que la pesca artesanal de elasmobranquios se realiza en ambas costas del estado de B.C.S., actualmente esta actividad se realiza con mayor frecuencia en la costa occidental de la entidad, debido principalmente a la sobrepesca de tiburones en el Golfo de California efectuada hasta 1998 (Galván-Magaña, 2009), donde las tres especies más abundantes en las capturas para las redes fueron la raya *Rhinobatos productus* (28.6%; Captura por unidad de esfuerzo (CPUE)=9.18;), el tiburón *M. henlei* (24.2%; CPUE=7.8;) y la raya *Myliobatis californica* (11%; CPUE=3.5;), observándose para estas especies la tendencia de ser capturados en grupos numerosos (Ramírez-Amaro, 2011).



Figura 2. Tiburón mamón pardo *M. henlei*.

Una de las razones por lo que estas pesquerías sobre tiburones no es sustentable es debido a que los tiburones tienen tasas de crecimiento lento y tasas bajas de reproducción (Walker, 1998). Sin embargo en algunos países se capturan especies de tiburones bajo estrictas normas pesqueras, en Australia algunas especies de tiburones pueden ser capturadas y manejadas de manera racional, principalmente las especies pequeñas que maduran sexualmente más rápido y tienen un mayor número de crías por ejemplo, la pesquería del gummy shark (*Mustelus antarcticus*) se mantiene en niveles sustentables (Musick, 2005). El éxito en la pesquería de este tiburón es debido al amplio conocimiento biológico que se tiene de la especie, así como las estrictas medidas de manejo, principalmente en la regulación del tamaño de luz de malla de las redes (Walker, 1998; Stevens, 1999).

Para poder gestionar un buen manejo pesquero es necesario el conocimiento de la reproducción y el desarrollo de los elasmobranquios, debido a que son importantes para el desarrollo de estrategias de gestión responsable (Saïdi *et al.*, 2009). Aunque se conoce que *M. henlei* presenta una variante de la vivíparidad, llamada vivíparidad placentada (Carrier *et al.*, 2004) y un número considerable de crías, es necesario para un mejor manejo, proporcionar conocimiento sobre la talla de primera madurez, tamaño al nacer, fecundidad, ciclo reproductivo (Saïdi *et al.*, 2009), proceso de gametogénesis, tipo de almacén de espermatozoides, tiempo que está almacenado el espermatozoide en la glándula oviducal 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 mediante el uso de la histología (Carrera-Fernández, 2004) .

2. ANTECEDENTES

Se han determinado varios tipos de reproducción en los elasmobranquios caracterizados por la fecundación interna. De acuerdo al tiempo que las hembras retienen los huevos fertilizados, se pueden dividir en dos grupos: ovípara y vivípara (Luer y Gilbert, 1991; Carrier *et al.*, 2004). En el género *Mustelus* se ha reportado nueve especies como placentadas (*M. griseus*, *M. canis*, *M. mustelus*, *M. norrisi*, *M. higmani*, *M. dorsalis*, *M. californicus*, *M. y henlei* *M. fasciatus*) y seis como aplacentadas (*M. antarcticus*, *M. palumbes*, *M. lenticulatus*, *M. manazo*, *M. schmitti* y *M. mento*) (Vooren, 1992;. Storrie *et al.*, 2009), de las restantes no hay información disponible.

Con base en lo anterior varios autores han generado información de la biología reproductiva de varias especies del género *Mustelus*. En áreas como el Mar Mediterráneo, Saïd *et al.*, (2009), obtuvo para *M. punctulatus* un rango de crías por camada de 12-27 por hembra, el cual se encuentra dentro del número de crías reportadas para el género *Mustelus* que varía de 1 a 31 (Conrath y Musick, 2002). En Argentina (Sidders *et al.*, 2005; Cortés, 2007) encontraron que las hembras de *M. schmitti* son de tamaño más grande que los machos y que cualquier manejo pesquero debe considerar su aporte reproductivo. En Costa Rica, Rojas (2006), observó que *M. dorsalis* necesita alcanzar entre el 76 y el 90 % del tamaño total para madurar. En Colombia para *M. lunulatus* el tamaño de los especímenes fluctuó entre 50 y 125 cm, la proporción sexual fue 1:1 y la relación longitud-peso fue de tipo isométrico, descrita por la relación $WT = 0.005 \cdot LT^{2.92}$ (Navia, 2006). En Uruguay Segura y Milessi (2009), realizaron el primer estudio de la estimación del estado de madurez de *M. schmitti* en la plataforma interna (<50 m), mostrando el mayor tamaño de la madurez en las hembras. Para *M. lenticulatus* en las zonas de Kaikoura y Nelson en Nueva Zelanda, se observó que la abundancia relativa de machos y hembras cambió a medida que avanzaba la temporada. En las dos localidades mencionadas, las hembras superaron a los machos por 3 a 1; sin embargo la proporción de machos aumentó durante febrero (Francis y Mace, 1980).

Lenanton *et al.* (1990), encontraron en *M. antarcticus* diferencias en algunos aspectos de la biología reproductiva entre las poblaciones del suroeste y sureste de Australia, obteniendo que la zona suroeste tiene un periodo de gestación menor, una fecundidad mayor y difiere en el ciclo reproductivo, sin embargo la talla de madurez en ambas zonas fue similar. En Japón (Teshima, 1974; Yamaguchi *et al.*, 2000.) encontraron diferencias en los parámetros reproductivos de *M. manazo* en cinco localidades en Japón y Taiwán, ya que los organismos de la zona norte presentaban una fecundidad y tallas mayores con respecto a los tiburones de la zona sur. Así mismo en *M. lunulatus* y *M. californicus* en el norte del Golfo de California y de la costa de California, también se encontraron diferencias en la longitud de madurez de hembras y machos, periodo de gestación y longitud de nacimiento (Pérez-Jiménez y Sosa-Nishizaki, 2010).

Actualmente es más común utilizar el análisis histológico como un complemento indispensable para estudiar la reproducción, ya que aporta registros morfofisiológicos y microscópicos del aparato reproductor, como en el caso de los cambios morfológicos de los úteros de hembras grávidas de *M. schmitti* realizado por Galindez *et al.* (2010), donde se describe morfológicamente las tres diferentes zonas del útero: el istmo, que delimita la transición entre la glándula oviducal y el cuerpo uterino, el útero mismo y una zona del esfínter, llamado cuello del útero, que conecta con el seno urogenital. Las mismas cuatro capas están presentes en todo el órgano: mucosa, submucosa, muscular y serosa. En *M. canis* en el cual, además de su biología reproductiva se determinó que las hembras almacenan esperma en la glándula oviducal y los machos presentan principalmente espermatozoides maduros de marzo a junio (Conrath y Musick, 2002). En *M. antarcticus* se hizo una revisión microscópica de la glándula oviducal observándose claramente las cuatro zonas (zona club, papilar, “baffle” y terminal) enfocándose en la zona terminal y en el almacenamiento de los espermatozoides (Storrie *et al.*, 2008).

Sobre *M. henlei* existen algunos estudios sobre su distribución (Compagno 1984; Castro, 1996; Ebert, 2003), hábitos alimentarios (Russo, 1975; Talent, 1982;

Haeseker y Cech, 1993), edad y crecimiento (Yudin y Cailliet, 1990 y Méndez-Loeza, 2008) y demografía (Smith *et al.*, 1998).

En relación con la biología reproductiva de la especie, Bustamante (2007), describe aspectos reproductivos de *M. henlei* en aguas colombianas; mientras que en la parte norte del Golfo de California, Pérez-Jiménez (2006) menciona que *M. henlei* presenta un ciclo ovárico anual, la ovulación sucede entre marzo y junio con un periodo de gestación de 10 meses y el alumbramiento es entre febrero y mayo. La talla de madurez para los machos se ha estimado entre los 55 y 56 cm LT y para las hembras es entre 57 y 66 cm LT. La fecundidad de 1 a 21 crías, con un promedio de 10. La longitud de nacimiento de *M. henlei* es de alrededor de 28 cm LT.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años la explotación indiscriminada de elasmobranquios, ha generado una preocupación a nivel mundial debido a la gran reducción en las especies, llevándolas a estados críticos (Watts y Wu, 2005). Según registros del 2004, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), evaluó un número de 262 especies de tiburones y rayas, de las cuales 56 se agruparon como especies en riesgo a nivel mundial entre los rangos de amenazada y vulnerable. Esto es preocupante ya que se sabe que estos individuos son componentes fundamentales en los ecosistemas marinos debido a su papel dentro de los niveles superiores de la cadena trófica; a esto se suman sus características biológicas en general como tener un crecimiento lento, su madurez sexual a tallas grandes, baja fecundidad y potencial reproductivo reducido, con estas condiciones son vulnerables a la sobrepesca (Bonfil, 1994).

M. henlei forma parte de las especies capturadas con fines comerciales en la costa occidental de Baja California Sur. Pero sus capturas no están bien definidas debido a que puede confundirse con otras dos especies del género *Mustelus* presentes en la misma área, esto ha dificultado la generación de información precisa sobre esta especie.

En México solo existe un trabajo acerca de la biología reproductiva de *M. henlei*, en la zona norte del Golfo de California, donde se describen algunos aspectos del ciclo reproductivo, la edad de madurez, la fecundidad y la variación de los parámetros reproductivos de esta especie con respecto a organismos de California, obteniendo que los del norte del golfo de california presentan una mayor fecundidad y una madurez tardía con respecto a la costa de California, cabe mencionar que en esta zona no se conocía el ciclo reproductivo (Pérez-Jiménez y Sosa-Nishizaki, 2008).

M. henlei también se encuentra en la costa occidental de B.C.S. y no hay ningún estudio sobre su biología en esta área, por lo cual el presente estudio aportaría información biológica de la costa occidental de Baja California Sur, así mismo amplía el conocimiento de la biología de la reproducción de esta especie poco estudiada, mediante la investigación de la talla de primera madurez, el tamaño de nacimiento, la fecundidad y el ciclo reproductivo.

Con base en lo anterior se plantea la siguiente hipótesis:

De acuerdo con la variación regional observada en los parámetros reproductivos de algunas especies del género *Mustelus*, se espera que los parámetros reproductivos de los tiburones *Mustelus henlei* capturados en la costa Occidental de Baja California Sur, presenten diferencias con respecto a los presentados por de esta especie en el norte del Golfo de California.

4. OBJETIVO GENERAL

Describir la biología reproductiva del tiburón *Mustelus henlei* en la costa occidental de Baja California Sur, México.

4.1 OBJETIVOS PARTICULARES

- 1.- Describir la distribución temporal y composición de tallas de los tiburones capturados.
- 2.- Registrar la proporción de sexos en embriones, juveniles y adultos.
- 3.- Describir a nivel microscópico el aparato reproductor de los machos y la glándula oviducal de las hembras.
- 4.- Describir a nivel macroscópico el aparato reproductor y los estadios de madurez en ambos sexos.
- 5.- Determinar el ciclo reproductivo.
- 6.- Describir el desarrollo embrionario.
- 7.- Determinar la fecundidad
- 8.- Determinar la talla de madurez L_{50} para machos y hembras.

5. METODOLOGÍA

5.1 ÁREA DE ESTUDIO

Los muestreos se realizaron en el periodo de septiembre del 2007 a noviembre del 2011. Las muestras biológicas provienen de los campos pesqueros de (1) Las Barrancas (LB) ($26^{\circ} 04' N$ y $112^{\circ} 16' W$) localizado al sur de La Purísima (2) San Lázaro (SL) ($24^{\circ}45' N$; $112^{\circ} 8' W$) localizado en Isla Magdalena y (3) Punta Lobos (PL) ($23^{\circ} 25' N$ y $110^{\circ} 15' W$), ubicado al sur de Todos Santos, en la costa occidental de Baja California Sur (Fig. 3). La pesca artesanal de elasmobranquios se realiza a lo largo del litoral marino con embarcaciones menores, de menos de 10.5 m de eslora, localmente llamadas pangas, con motor fuera de borda y utilizando una red de mono filamento con una luz de malla de 5-6 pulgadas, en ambas zonas la pesca se realiza en un intervalo de 1 a 5 millas de la costa.

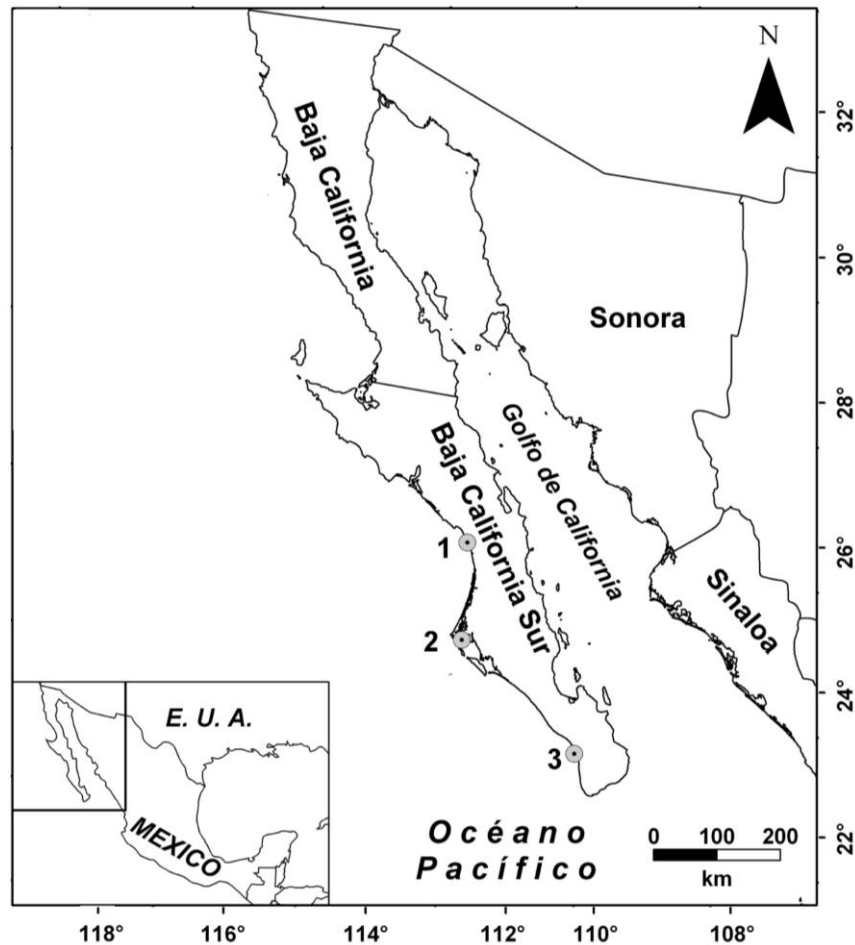


Figura 3. Área de estudio mostrando la ubicación de los campos pesqueros.
(Ilustración: Padilla-Saldivar, 2012).

Estas localidades incluye la parte más sureña del Sistema de la Corriente de California (SCC), que forma el margen oriental del gran giro oceánico del Pacífico norte y una de las importantes zonas de surgencia costera por viento. El SCC se extiende a lo largo de unos 20° de Latitud e incluye la Corriente de California (CC) con un flujo superficial (hasta 300 m de profundidad) que transporta agua subártica del Pacífico hacia el ecuador, desde alrededor de los 48° N hasta 25°N aproximadamente con mezcla de agua del centro del Pacífico norte que penetra desde el oeste. Una contra corriente profunda penetra por su límite austral acarreando agua del Pacífico ecuatorial hacia el norte en el otoño-invierno (Lynn y Simpson, 1987). Además estacionalmente las surgencias por viento incorporan a la superficie aguas subsuperficiales, frías, ricas en nutrientes a lo largo de la costa (Huyer, 1983).

En la zona costera, la isoterma de 18° C se desplaza en mayo desde Bahía Magdalena (24°N) hasta la cuenca de Santa Barbará, cerca de 34°N durante agosto y septiembre. Las surgencias por viento (son permanentes) son más fuertes hacia mediados de año, durante abril-mayo en Bahía Magdalena y desfasándose hasta julio en el extremo norte del sistema alrededor de 45°N, la mayor intensidad se presenta en la cuenca de Santa Barbará. En la parte sur del SSC tanto las surgencias como los movimientos de advección, las dos fuentes principales de enriquecimiento superficial, ocurren durante la primavera al mismo tiempo que se presentan los mínimos promedios del nivel medio del mar, que corresponden con la intensidad máxima de la CC. Evidentemente, son los meses más fríos en la zona al conjuntarse los vientos, surgencias y advección del norte. Por otra parte, la CC se debilita notablemente durante el verano-otoño, mientras que la corriente costera (CCC) se intensifica y acarrea agua de origen tropical hacia el norte, calentando considerablemente toda el área (Lluch-Belda *et al.*, 2000).

5.2 TRABAJO DE CAMPO

A cada uno de los especímenes se les midió la longitud total (LT) en cm, de la punta del morro a la punta de la aleta caudal (Castro, 1996). Se registró el sexo, diferenciándose los machos de las hembras por presentar en las aletas pélvicas los gonopterigios (órganos copuladores) (Álvarez del Villar, 1978).

Se midió la longitud de los gonopterigios y se observó la calcificación, rotación, apertura del rifiodón (puntal distal del gonopterigio), presencia de semen y hematomas (Clark y Von Schmidt, 1965; Aasen, 1966; Pratt, 1979). De acuerdo con Clark y Von Schmidt (1965), los machos fueron considerados como juveniles si tienen un gonopterigio relativamente corto y flexible, y como adultos si presentan calcificación del gonopterigio, rotación hacia el interior, apertura del rifiodón y presencia de semen.

Por otro lado, la obtención de gónadas se realizó mediante una incisión desde la cloaca hasta el centro de las aletas pectorales que facilitó la colecta de todo el

aparato reproductor, el cual fue colocado en formaldehído al 10% y llevado al laboratorio para su posterior análisis.

5.3 TRABAJO DE LABORATORIO Y ANÁLISIS HISTOLÓGICO

En el aparato reproductor de las hembras se tomaron las medidas sugeridas por Olsen (1954) y Springer (1960): el ancho de las glándulas oviducuales, el diámetro del oocito más grande, el número de oocitos y el ancho de los úteros. El útero fue examinado para determinar si los embriones o huevos uterinos están presentes. La categoría del estado de madurez se asignó para cada hembra con base en los datos obtenidos y se registro como inmadura, madura y grávida. En el aparato reproductor de los machos únicamente se midió el largo y el ancho del testículo.

Las muestras para el análisis histológico fueron seleccionadas con relación a la distribución de tallas de machos y hembras, en estas últimas también se consideró el estado de la hembra (juvenil, madura y grávida). Los cortes histológicos fueron realizados en la glándula oviducal de las hembras para buscar esperma almacenado (Pratt, 1993). Se utilizaron 60 glándulas oviducuales, a las cuales se les realizaron 60 cortes transversales en el último tercio de la glándula oviducal (Fig. 4A), mientras que a dos glándulas se les realizaron cortes longitudinales de cráneo a cola (Fig. 4B), y a cuatro muestras se les realizaron cortes sagitales obteniendo una parte anterior y una posterior de la glándula oviducal (Fig. 4C). En los machos los cortes histológicos se hicieron en la parte media del testículo (31), en el epidídimo (30) y en la parte posterior de la vesícula seminal (26) para observar el almacén de esperma (Pratt y Tanaka, 1994) y poder corroborar el estado de madurez.

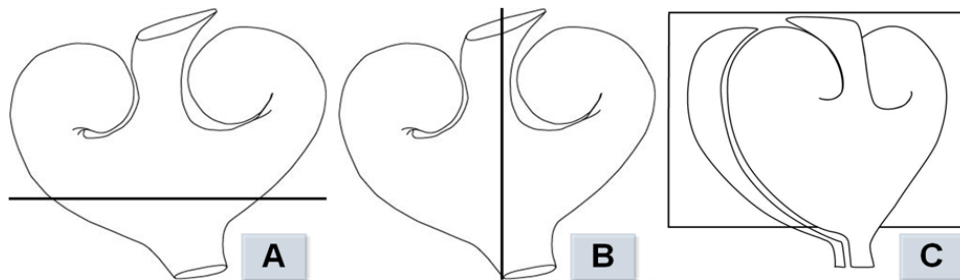


Figura 4. Cortes en la glándula oviducal. A) Corte transversal. B) Corte longitudinal y C) Corte Sagital.

A los cortes se les aplicó la técnica general descrita por Humason (1979). En la cual se lavaron las muestras con agua corriente de 6 a 8 horas, para eliminar el exceso de formol y urea, posteriormente fueron colocadas en alcohol al 70% durante dos o tres días. Una vez lavadas se realizó la deshidratación, esta consistió en someter los tejidos a cambios sucesivos de alcohol a diferentes concentraciones en un procesador de tejidos y por último se incluyeron en parafina.

Posteriormente se realizaron cortes de 3-5 μm de grosor, con un micrótomo rotatorio de tipo Minot y se colocaron en el portaobjetos. Se disolvió la parafina excedente colocando los portaobjetos en la estufa, después fueron teñidos mediante la técnica de tinción Tricrómica de Mallory. Por último las muestras se montaron con citoseal y la lectura de las laminillas se hizo con microscopio óptico (Carrera-Fernández, 2004).

5.4 ANÁLISIS DE DATOS

Los datos de tallas fueron agrupados en tablas de frecuencias con intervalos de 10 cm calculados con la regla de Sturges, en Daniel (2002), con esto se obtuvo la composición de tallas de la captura mediante histogramas de frecuencia para sexos combinados. Por otra parte la distribución se realizó analizando el número de organismos durante el periodo de estudio.

La proporción de sexos se determinó mediante un conteo total de organismos de cada sexo y se dividió el número de hembras entre el número de machos. Una vez obtenidas las proporciones se analizaron bajo la hipótesis nula de que existe una proporción de 1M: 1H, la prueba estadística que se utilizó fue la χ^2 . La regla de decisión se realizó con una confianza del 95% (Daniel, 2002).

En las hembras se aplicó el análisis de correlación, para determinar si existe relación entre la LT con las diferentes estructuras reproductivas (diámetro de los oocitos, el ancho de la glándula oviducal y el ancho del útero) (Natanson y Cailliet, 1986). En los machos también se realizó el mismo análisis de regresión lineal, para

observar si existe relación entre el largo del gonopterigio con respecto a la LT y el tamaño del testículo con la LT. (Pratt, 1979; Joung y Chen, 1995). Como los datos no se distribuyeron de forma normal se les aplicó la correlación de Spearman para determinar si existe correlación (Zar, 1996).

Se estimó la talla de primera madurez para machos y hembras cuando el 50% de los individuos son sexualmente maduros en la frecuencia de clase (Pratt y Otake, 1990). La talla de madurez del 50% se estimó para cada sexo, ajustando la proporción de individuos maduros en cada intervalo de tallas a una función logística, de acuerdo a los criterios establecidos por Somerton (1980), Gaertner y Laloe (1986) y Sokal y Rohlf (1996).

$$Y = \frac{1}{1 + e^{(a-bx)}}$$

En donde:

Y= Proporción de individuos maduros.

x = Marca de clase de la longitud de referencia.

a y b = constantes del modelo.

e = Base del logaritmo neperiano.

Linealizando la ecuación anterior, mediante una transformación logarítmica se tiene:

$$\ln\left(\frac{1}{Y} - 1\right) = a - bx$$

Se estiman los parámetros a y b por medio de mínimos cuadrados. Así, la longitud a la cual el 50% de la población se encontrara sexualmente madura ($X_{0.5}$) será a

$$X_{0.5} = \frac{a}{b}$$

La ecuación original se modifica para incluir $X_{0.5}$, obteniéndose:

$$H = \frac{12 \sum_{i=1}^k ni(\bar{R}_i - \bar{R})^2}{N(N+1)}$$

La fecundidad uterina fue determinada por medio del conteo de embriones o huevos fecundados por hembra. Para hacer más preciso este dato se determinó la fecundidad ovárica mediante el conteo de oocitos maduros en el ovario (Pratt, 1979). A través de la variación del tamaño de los embriones se obtuvo la estimación del período de gestación, utilizando el promedio de talla mensual de la camada por hembra como un indicador de crecimiento (Natanson y Cailliet, 1986; Francis y Stevens, 2000). El tamaño de nacimiento fue estimado de la comparación del tamaño máximo embrionario y el tamaño menor del tiburón registrado en las capturas (Liu *et al.*, 1999).

6. RESULTADOS

6.1 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y DE TALLAS

Se registraron 935 tiburones de la especie *M. henlei* de los cuales se seleccionaron 368 muestras para los análisis de reproducción (Tabla 1). El tiburón *M. henlei* se presentó en Punta Lobos (PL) a mediados de marzo y finales de junio; en San Lázaro (SL) desde mayo hasta principios de julio y en Las Barrancas durante los meses de septiembre y noviembre.

Tabla 1 Muestras de tiburones *M. henlei* de la costa occidental de B.C.S del 2007-2011

LOCALIDADES	ORGANISMOS REGISTRADOS	MACHOS	HEMBRAS	MUESTRAS PARA REPRODUCCIÓN	MACHOS	HEMBRAS
Punta Lobos	521	234	287	253	112	141
San Lázaro	375	247	128	106	80	26
Las Barrancas	39	3	36	9	0	9
TOTALES	935	484	451	368	192	176

La mayor abundancia fue observada en los meses de abril, mayo y junio (Fig. 5). Durante estos meses se presentaron ambos sexos incrementando su abundancia de marzo a julio, en los primeros meses (marzo y abril) se observó que las hembras son más dominantes, pero que se invierte su presencia en los últimos meses (junio y julio) donde los machos son más abundantes. A pesar de que todavía se capturan

algunos especímenes en julio, no es representativa la presencia de algún sexo en la zona de Punta Lobos y San Lázaro durante el otoño-invierno (Fig. 6).

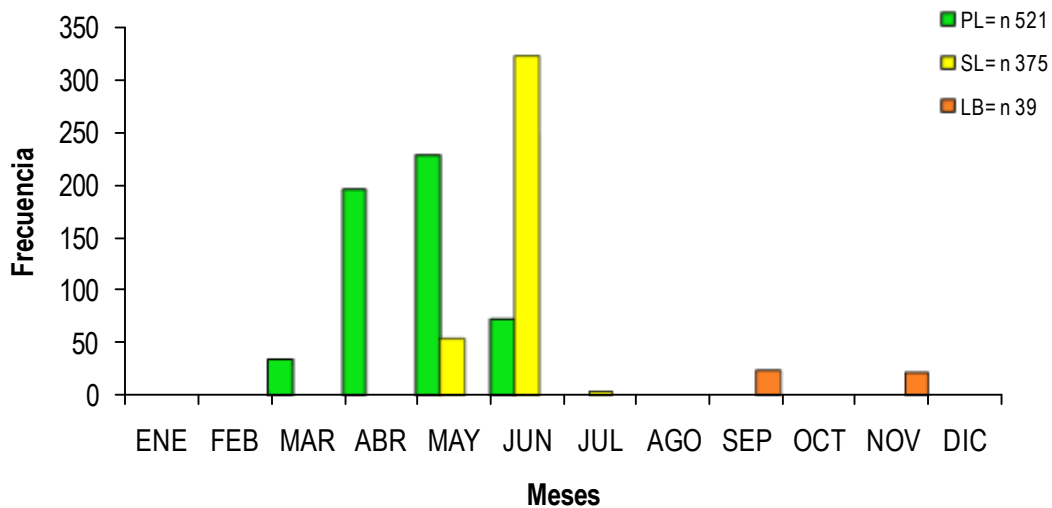


Figura 5. Distribución temporal por localidades de *M. henlei*. (PL) Punta Lobos, (SL) San Lázaro y (LB) Las Barrancas.

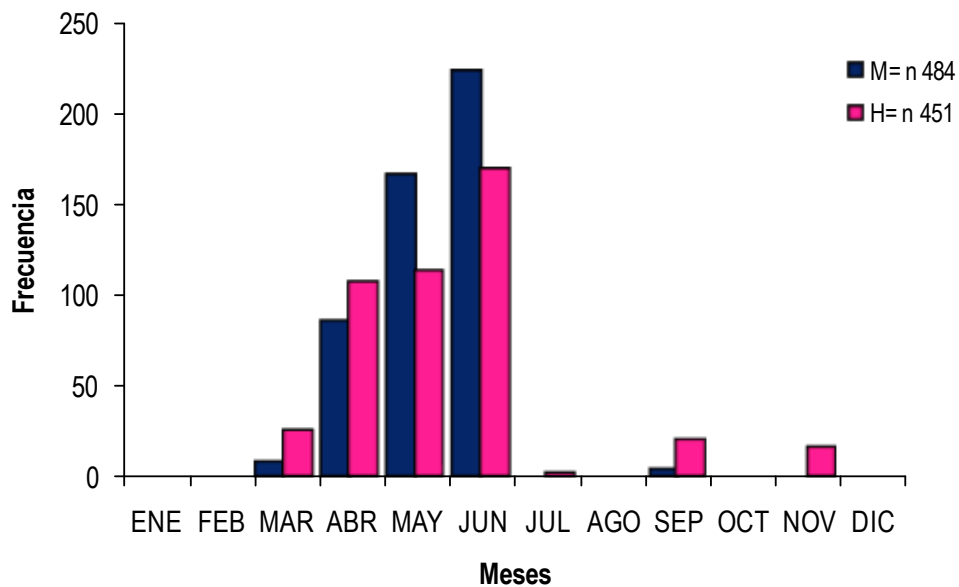


Figura 6. Distribución temporal de machos y hembras de *M. henlei*, en la costa occidental de BCS.

Los machos se encontraron en un intervalo de tallas de 42 a 104 cm de longitud total (LT); mientras que las hembras se encontraron entre 49 y 104 cm de

LT. La longitud máxima de ambos sexos fue similar, presentando tallas de organismos que sobrepasan los 100 cm. La tabla de frecuencia obtenida presentó intervalos de 9 cm en ambos sexos debido a que la variación de tallas entre sexos fue nula; sin embargo las hembras presentaron las tallas mayores en las capturas (>80 cm). Ambos sexos presentaron la mayor distribución de frecuencia de longitud en el intervalo de 71-80 cm (Fig. 7).

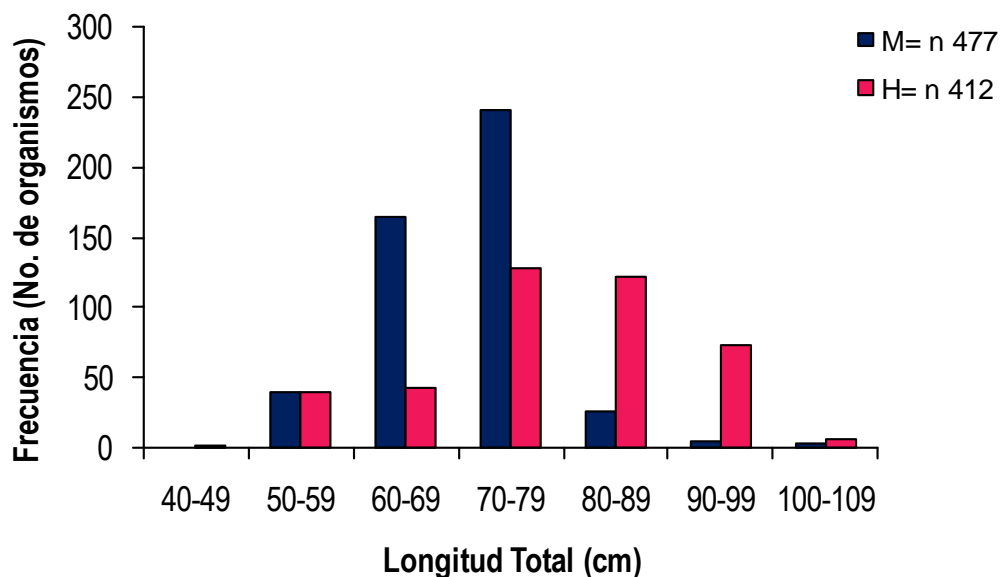


Figura 7. Composición de tallas de *M. henlei* en ambos sexos.

En San Lázaro se capturaron 375 tiburones (247 machos y 128 hembras) que se distribuyeron entre los intervalos de 42 a 100 cm, siendo esta la zona donde se encuentran los organismos de tallas menores (Fig. 8). En cuanto a la distribución de tallas por sexos en la localidad de San Lázaro se observa que a pesar de capturar organismos de todas las tallas, los organismos con mayor tamaño son hembras que sobrepasaron los 100 cm., mientras que los machos presentaron la mayor cantidad en los intervalos de 60-69 y 70-79 cm. Como se mencionó anteriormente esta es la zona donde se capturaron los organismos de tamaño pequeño con un intervalo de 40 a 50 cm, con una cantidad similar de hembras y machos capturados (Fig. 9)

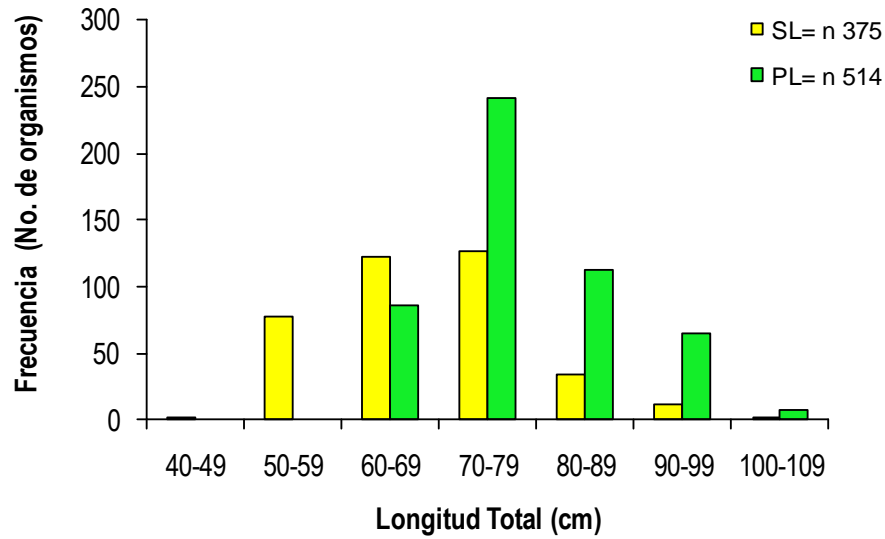


Figura 8. Frecuencia de tallas de *M. henlei* en las localidades de San Lázaro (amarillo) y Punta Lobos (verde).

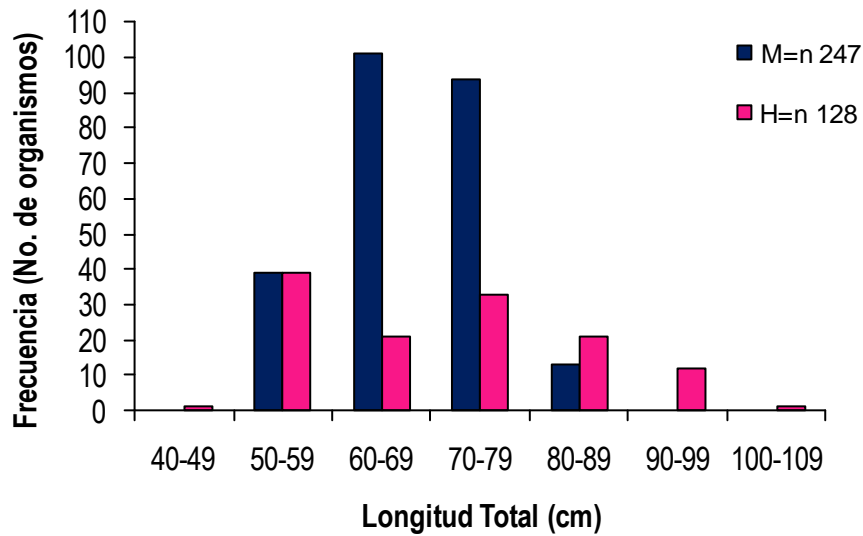


Figura 9. Frecuencia de tallas de *M. henlei* por sexo en la localidad de San Lázaro.

Por otro lado en Punta Lobos se capturaron 521 tiburones de los cuales 234 fueron machos y 287 hembras, sin reportarse organismos pequeños, ya que todos los especímenes capturados presentaron tallas mayores a 60 cm (Fig. 8). En Punta Lobos la distribución de tallas por sexos se encontró por encima de los 60 cm de LT en ambos sexos y al igual que en San Lázaro las hembras presentaron una mayor

abundancia sobre las tallas mayores a 70 cm, mientras que los machos su mayor abundancia la presentaron en los intervalos de 60-69 y 70-79 cm (Fig. 10).

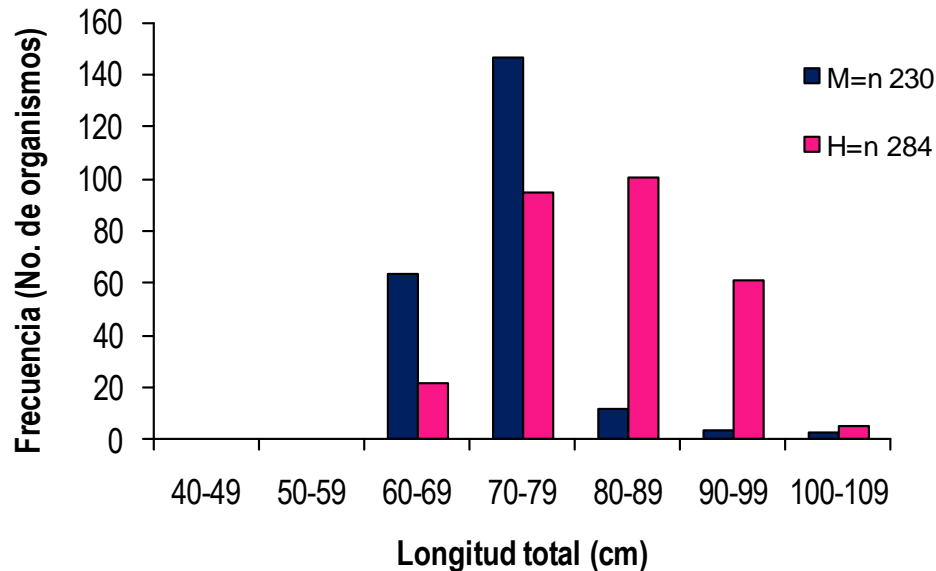


Figura 10. Frecuencia de tallas de *M. henlei* por sexo en la localidad de Punta Lobos.

6.2 PROPORCIÓN DE SEXOS

La proporción de sexos estimada para el tiburón *M. henlei* en la costa occidental de Baja California Sur (481 M y 415 H), sin utilizar las muestras de Las Barrancas por el bajo número de muestras, indicó que el número de machos fue mayor al de las hembras en estadios adultos con una proporción de 1.35 M: 1H ($\chi^2=15.63$, $\rho<0.05$). A pesar de que en San Lázaro los machos adultos tuvieron un dominio en la mayoría de las capturas con una proporción de 2.7 M:1H ($\chi^2=52.98$, $\rho<0.05$), la proporción anterior no se ve reflejada en los juveniles de la zona que presentaron una proporción de 1.16M:1H ($\chi^2=.59$, $\rho>0.05$). Por otro lado, en Punta Lobos se observó una cantidad mayor de hembras adultas en las capturas, pero no fue significativa ya que presentó una proporción de 0.89M:1H ($\chi^2=1.5$, $\rho>0.05$). Los juveniles de esta zona fueron muy escasos. Los embriones de las dos zonas presentaron una proporción cercana a uno (1.1M:1H) sin mostrar diferencias significativas ($\chi^2=1.5$, $\rho>0.05$).

6.3 DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DEL APARATO REPRODUCTOR DE LOS MACHOS Y LA GLÁNDULA OVIDUCAL DE LAS HEMBRAS

6.3.1 MACHOS

TESTÍCULO

En la anatomía microscópica interna los testículos mostraron la estructura de tipo diamétrico en el desarrollo de la espermatogénesis, característico del orden Carcharhiniforme (Fig. 11A). El proceso de la espermatogénesis inicia con el desarrollo de los folículos seminíferos en un extremo llamado zona germinal, la cual con la técnica Tricrómica de Mallory se tiñe de color azul debido al abundante tejido conectivo y termina en el lado opuesto donde se encuentra la llamada zona terminal que contiene espermatozoides completamente desarrollados teñidos de color rojo por el ADN que se encuentra en el acrosoma (Fig.11B).

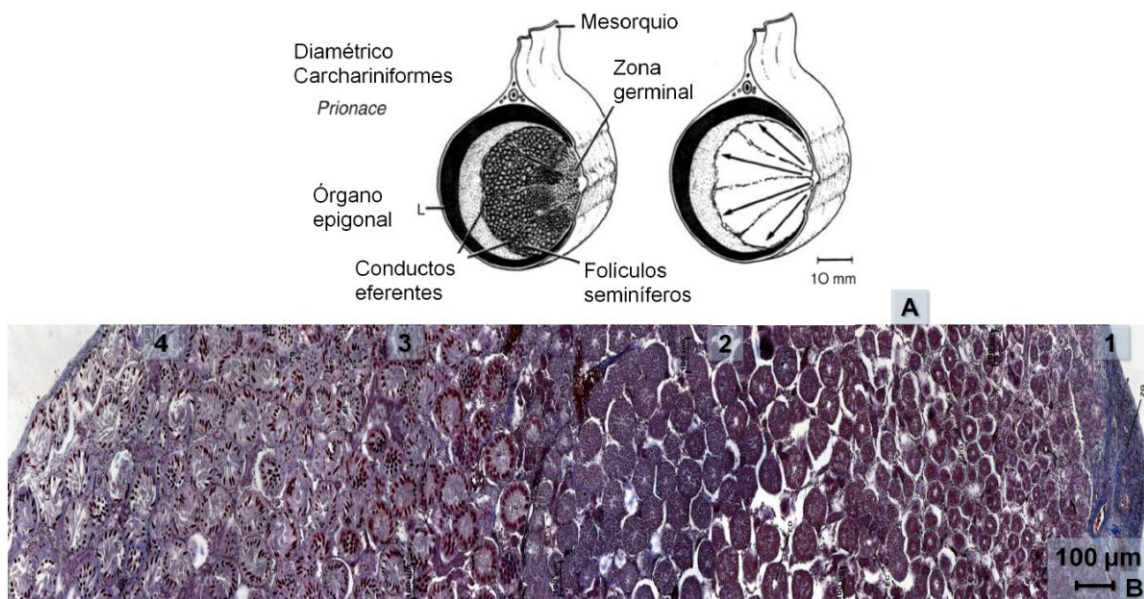


Figura 11. Desarrollo de la espermatogénesis en *M. henlei*. A) Esquema del desarrollo diamétrico del testículo tomado de Pratt (1988). B) Testículo de *M. henlei* visto al microscopio con un aumento de 10X, en la que se observa 1) la zona germinal, 2) zona intermedia, 3) zona terminal y 4) zona de liberación y reabsorción.

En el desarrollo de los folículos se observó la formación del espermatocisto en la zona germinal mediante la unión de una célula de Sertoli y una célula germinal. Las células de Sertoli son de color transparente con un núcleo central y las germinales de color morado (Fig. 12A). Las espermatogonias se encuentran generalmente después de la zona de germinación, en un inicio existe una cantidad similar de células de Sertoli y células germinales, pero en su estado maduro las espermatogonias presentan un hueco central y las células de Sertoli son menos se encuentran localizadas en la periferia (Fig. 12B). Los espermatocitos primarios se distinguieron por tener una estructura similar a las espermatogonias, pero se caracterizan por tener espacios vacíos debido a que se está multiplicando por medio de la primera meiosis (Fig. 12C). En cambio los espermatocitos secundarios son muy característicos de color morado, de mayor tamaño y no presentan espacios vacíos, ni huecos centrales en el folículo (Fig. 12D).

Las espermatidas que se forman en la última meiosis de los espermatocitos secundarios se presentan mayormente de color rojo debido a la condensación de la cromatina y se encuentran dirigidas todas hacia la periferia al iniciar la espermiogénesis (Fig. 12E). Como resultado final después de la espermiogénesis resultan los espermatozoides, en este estudio se distinguieron tres fases. En la primera se observaron como las espermatidas se van ovalando y se comienzan a formar las colas de los espermatozoides (Fig. 12F), en la segunda etapa están bien definidas la cola y la cabeza de los espermatozoides dirigidas hacia la periferia de manera individual donde se encuentran las células de Sertoli (Fig. 12G), en la última fase los espermatozoides se encuentran alineados en paquetes con las cabezas dirigidas hacia la periferia y las colas hacia el centro (Fig. 12H). En esta fase ya están listos para ser expulsados hacia el epidídimo, por eso en algunos casos se observaron folículos únicamente con células de Sertoli (Fig. 12I).

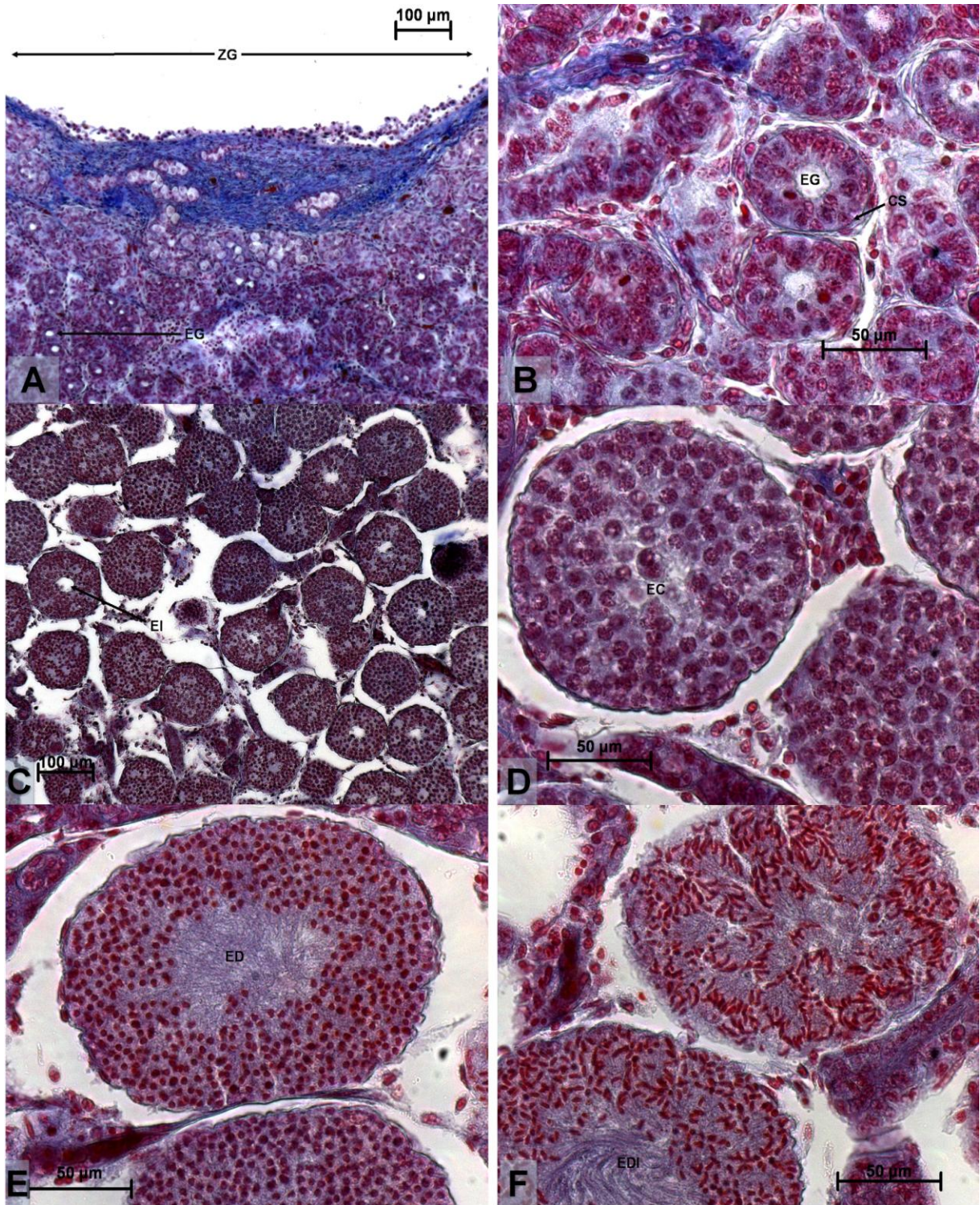


Figura 12. Magnificación de la espermatogénesis en el testículo de *M. henlei*. a) 10x Zona germinal con espermatogonias (EG) en su primera fase desarrollo. b) 40x Espermatogonias y células de Sertoli (CS). c) 10x Espermatocitos primarios (EI). d) 40x Espermatocitos secundarios (EC). E) 40x Espermátides comenzando el proceso de espermiogénesis. F) 40 x Espermátides en su fase terminal donde ya se diferencia la cabeza (rojo) y la cola (morada).

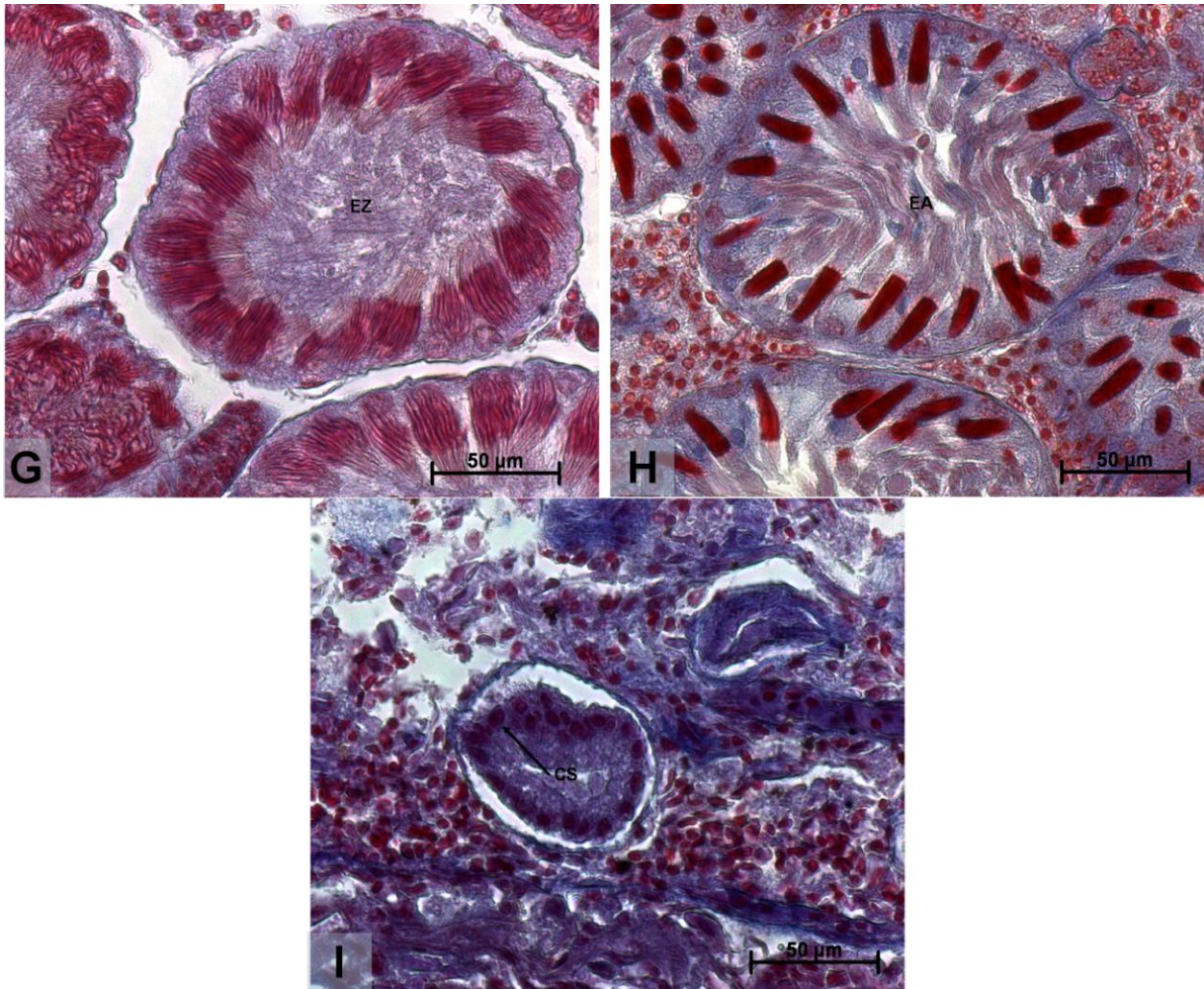


Figura 12. G) 40 x Espermatozoides en su estadio inicial (EZ) y células de Sertoli (S). H) 40x Espermatozoides maduros agrupados (EA) con la cabeza hacia la periferia donde se encuentran las células de Sertoli (S). I) 40x Folículos vacíos únicamente con células de Sertoli (CS).

EPIDÍDIMO

Una vez que los espermatozoides son liberados del testículo por los conductos eferentes, llegan al epidídimo ubicado por encima y a un lado de los testículos, donde son almacenados por un tiempo corto. En los organismos juveniles de 52-54 cm se observaron los conductos con el lumen vacío, con el tejido conectivo teñido de azul, de morado claro el epitelio columnar simple con vellosidades en el lumen y células secretoras inactivas transparentes multinucleadas (Fig. 13A). En algunos organismos de 61 a 71 cm se observaron conductos con epitelio columnar simple de color morado, un lumen más amplio que ya contenía secreciones realizadas por las células secretoras y pocos espermatozoides (Fig. 13B). Mientras que en los adultos

mayores de 64 cm se observaron conductos recubiertos de tejido conectivo, un epitelio columnar que presentaba cilios prolongados posiblemente para el movimiento de los espermatozoides, además de células secretoras, las cuales liberaban material hacia el lumen donde estaban los espermatozoides y espermatozoides en el lumen (Fig. 13 C y D).

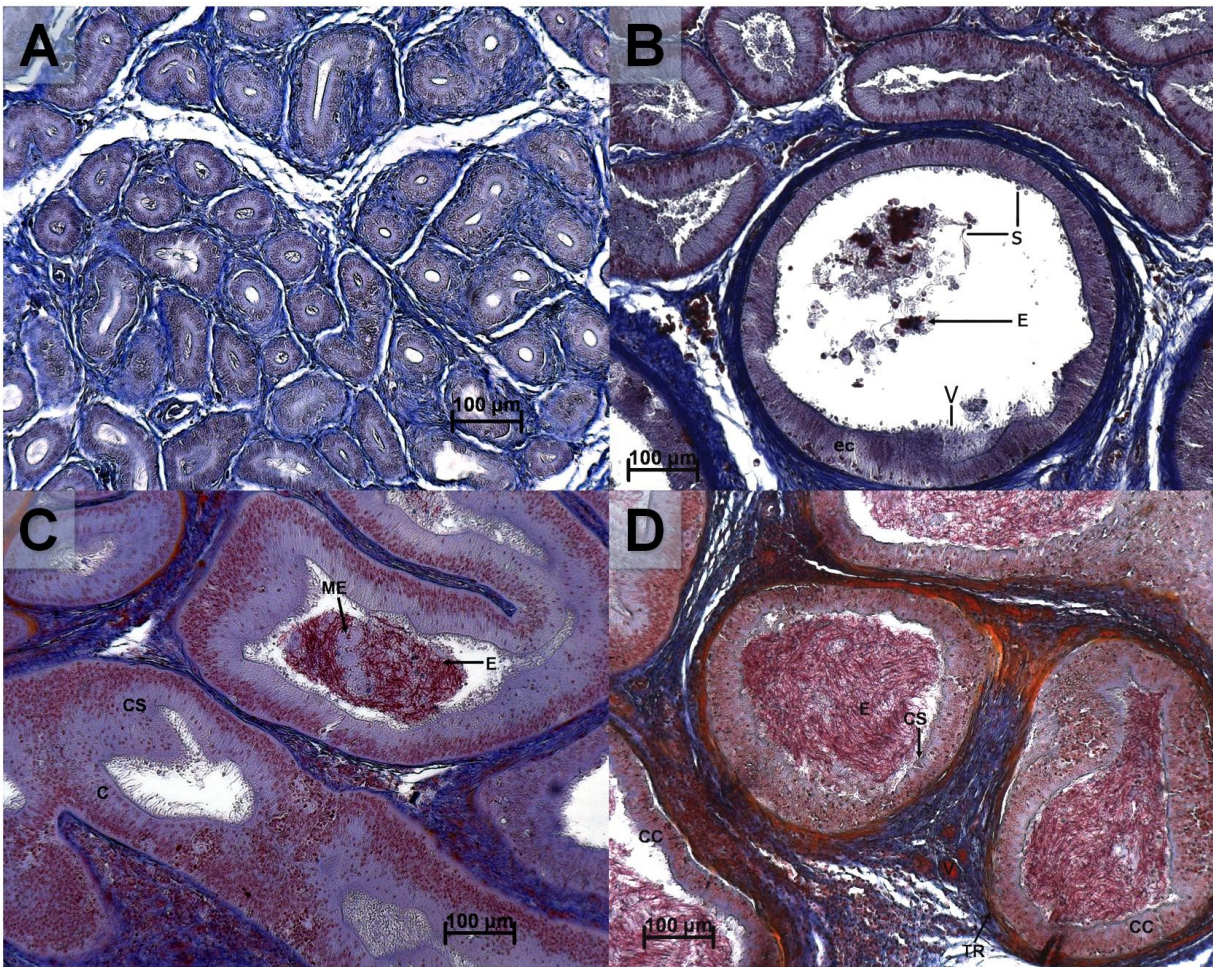


Figura 13. Análisis histológico del epidídimo de organismos juveniles y adultos de *M. henlei* tomado a 10x. A) Conductos del epidídimo juvenil de un organismo de 54 cm. B) Epidídimo de un organismo intermedio de 63.5 cm con vellosidades cortas (v) en el epitelio columnar (ec), material secretado (s) y espermatozoides. C) Epidídimo de un organismo maduro (72 cm) con epitelio columnar y grandes vellosidades (c), material secretado (ME) por las células secretoras (CS) y tejido conectivo rodeando todas los conductos 72 cm. D) Epidídimo de un organismo adulto de 74 cm en el cual se observa un llenado completo de espermatozoides (E) y abundantes células ciliadas (CC) junto con células secretoras (CS).

VESICULA SEMINAL

En la vesícula seminal se observó el almacén de los espermatozoides que vienen en los conductos deferentes desde el epidídimo, a excepción de los juveniles de 52-54 cm, sin embargo se observó un epitelio columnar de color morado que presentaba tanto células ciliadas como células secretoras y un tejido conectivo de color azul recubriendo la vesícula (Fig. 14A y B).

En los adultos se observó el epitelio cilíndrico junto con sus células secretoras y ciliadas, presentaron pliegues internos en donde se encuentran distribuidos los espermatozoides (Fig. 14C). En los adultos se encontraron tres formas de acomodo de los espermatozoides, en la primera fueron espermatozoides libres los cuales estaban presentes en todos los adultos (Fig. 14D), en dos tiburones que median 65.5 y 66 cm se observo el segundo acomodo, que fue un espiral de espermatozoides inmerso en el material secretado (Fig. 14E) y por ultimo en el tercer acomodo se encontraron los espermatozoides alineados con la cola hacia la periferia y sus cabezas hacia el centro unidas a una matriz cohesiva, este acomodo es llamado espermatozeugmata simple o de una sola capa (Fig. 14F).

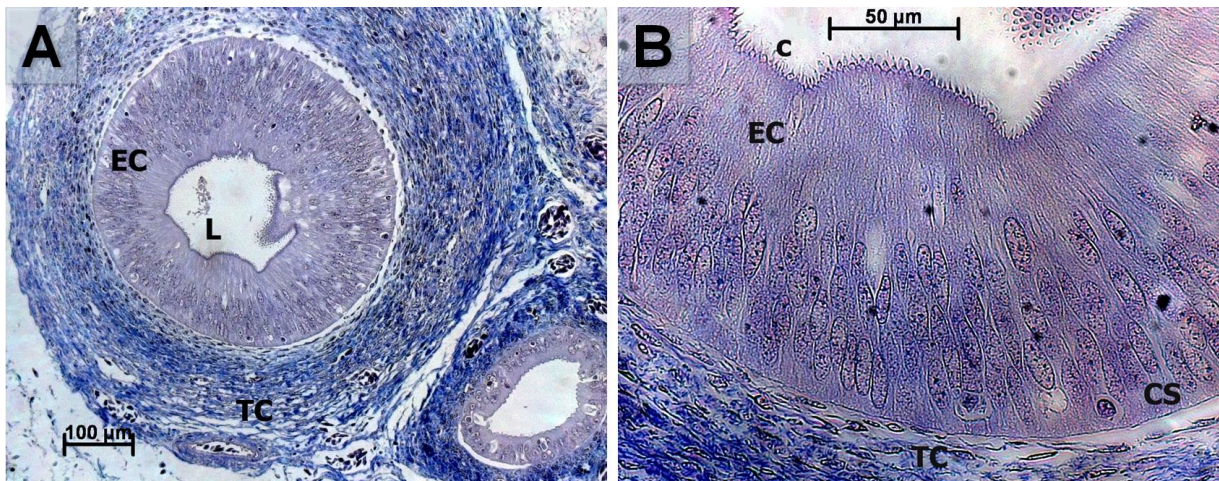


Figura 14. Análisis histológico de la vesícula seminal de *M. henlei*. A) 10x Vesícula seminal de un juvenil con epitelio cilíndrico (EP), tejido conectivo (TC) y lumen (L). B) 40x Aumento de la vesícula de un juvenil donde se observan los cilios (c), epitelio cilíndrico (EC), tejido conectivo (TC) y células secretoras (CS).

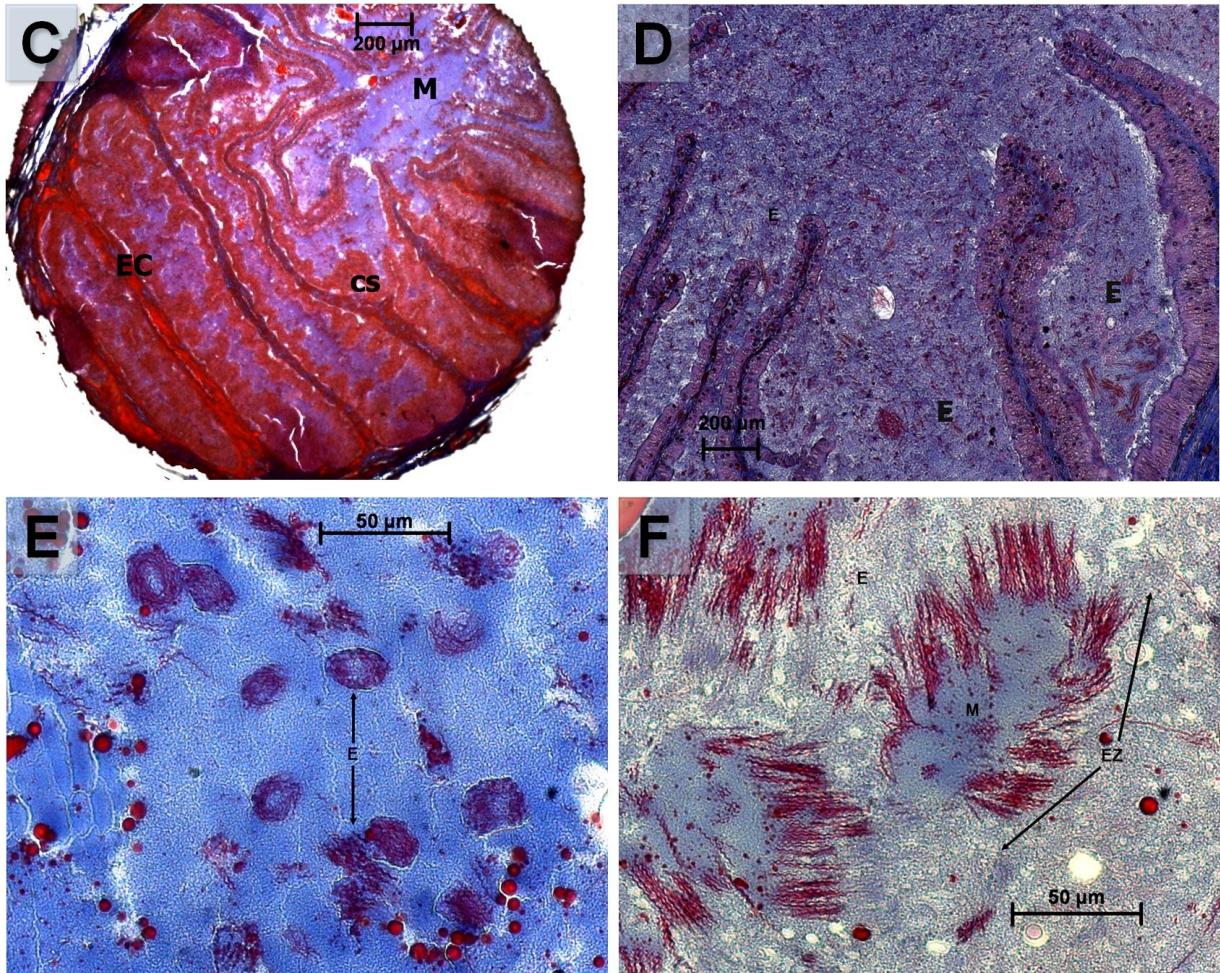


Figura 14. C) 2.5x invaginaciones del epitelio cilíndrico (EP) y las células secretoras (SC), junto con el material secretado (M). D) 2.5x Espermatozoides libres (E). E) Espirales de espermatozoides (E). F) Espermatozeugmata simple (EZ).

6.3.2 HEMBRAS

GLÁNDULA OVIDUCAL

La glándula oviducal está compuesta por cuatro zonas: la zona club, la zona papilar, la zona “baffle” y la zona terminal, estas zonas pueden ser observadas en un corte transversal (Fig. 15). En un corte longitudinal se pueden apreciar un lumen en forma de S ó tres lúmenes, uno central y dos laterales.

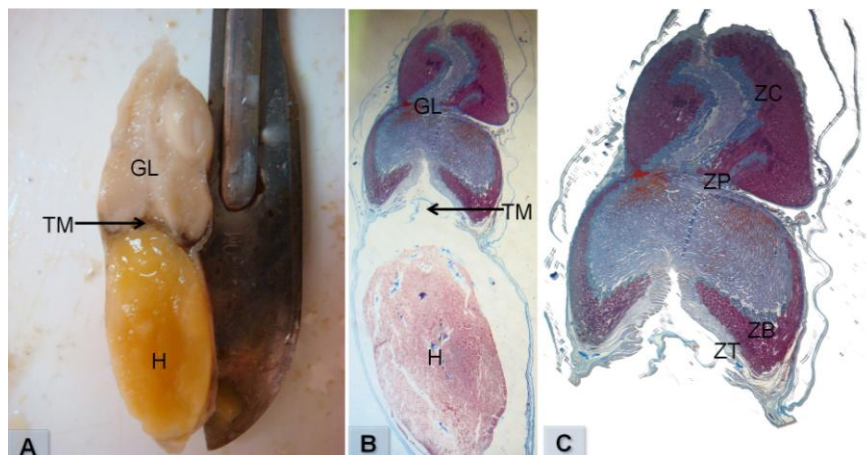


Figura 15. Disección de la glándula oviducal en un corte transversal. A) Disección de la glándula oviducal (GL) de una hembra de *M. henlei* en el momento preciso en el que expulsa un huevo uterino (H) dejando ver un poco de tercer membrana (TM), B) aumento de 1.6X de la glándula oviducal teñida con la técnica Tricrómica de Mallory (GL, TM, H). Regionalización de las cuatro zonas de la glándula oviducal: Zona Club (ZC), zona papilar (ZP), zona “baffle” y zona terminal (ZT). B) justo en el momento en que pasó un oocito.

Para observar el almacén de esperma se realizaron 60 disecciones transversales de la glándula oviducal. Las hembras presentaron tallas de 66 hasta 98 cm; en las hembras menores de 60 cm no se pudo realizar la histología debido a que las glándulas oviducal midieron alrededor de 0.2 cm.

Los túbulos de almacén de esperma se presentaron en la periferia del corte, en la zona “baffle” (Fig. 16A). Con la técnica Tricrómica de Mallory los espermatozoides se tiñeron de color rojo y los túbulos se tiñeron de un color azul claro, muy diferente al color morado de las células que forman la parte central de esta zona, en las cuales se lleva a cabo la producción de la tercera membrana. Los

espermatozoides almacenados en los túbulos nunca tuvieron contacto con el epitelio ciliado y secretor que se encuentran presentes (Fig. 16B).

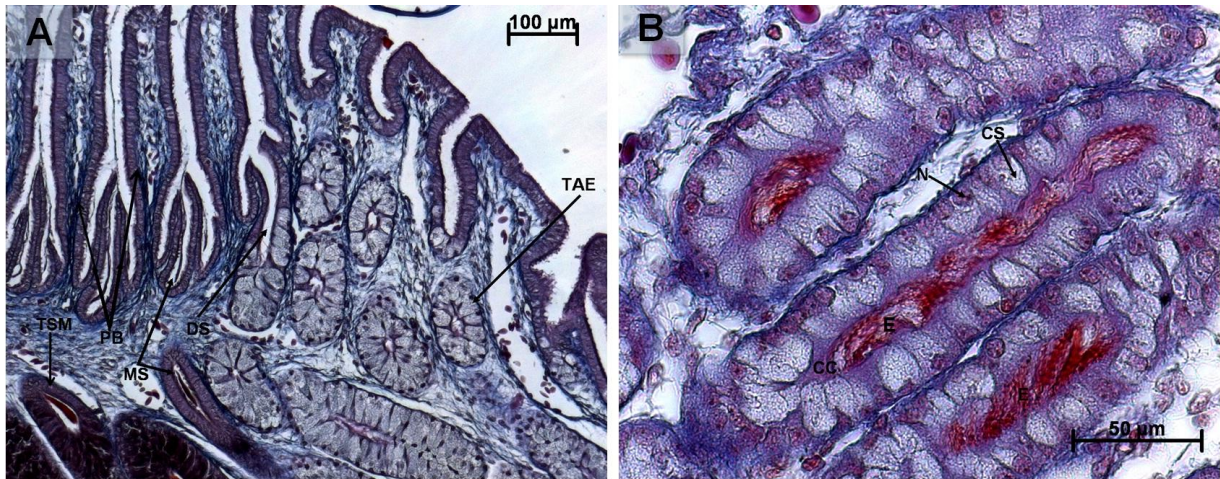


Figura 16. Magnificación de la periferia de la zona "baffle" en la cual se muestra, A) 10x Los túbulos de secreción de tercer membrana (TSM), el material secretado o tercer membrana (MS), el ducto por el que se secreta la tercer membrana (DS), las placas de la zona "baffle" (PB) y los túbulos de almacén de espermatozoides (TAE). B) 40x Magnificación de un túbulo conteniendo espermatozoides donde se aprecian las células secretoras (CS), sus núcleos (N), las células ciliadas (CC) y los espermatozoides (E).

Las hembras presentaron espermatozoides almacenados en la glándula oviducal desde los 66 hasta los 98 cm. Las hembras grávidas contenían espermatozoides excepto una que midió 95 cm con 10 embriones. Aunque no se presentó un patrón en la cantidad de espermatozoides almacenados en los túbulos se pudo observar que las hembras con crías presentaban menos túbulos de almacén de espermatozoides llenos, mientras que inversamente las que presentaron mayor cantidad de túbulos de almacén de espermatozoides fueron las que apenas iban a comenzar con la fertilización de los oocitos.

En una hembra de 81 cm que presentó únicamente dos huevos uterinos, se observó la producción de la tercera membrana en la zona "baffle". Esta es secretada por las glándulas tubulares a través de las hileras y las placas de la zona "baffle"

(Fig. 17A), hacia los extremos del lumen central con forma de "S"; Esta se tiñó de color azul o rojo con la técnica Tricrómica de Mallory (fig. 17B).

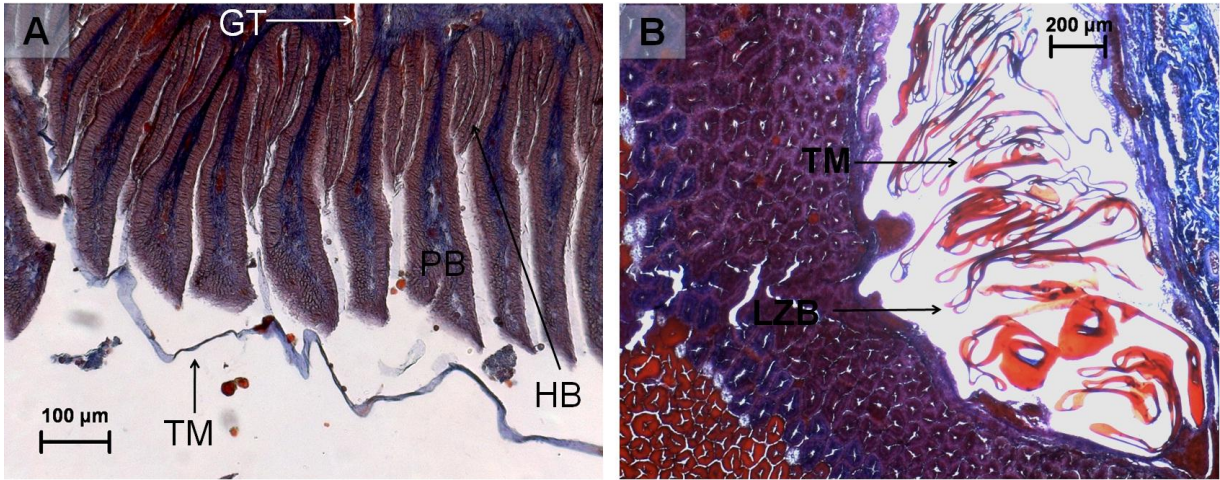


Figura 17. Magnificación de la liberación de la tercera membrana en la zona "baffle" en la cual se muestra, A) La tercer membrana (TM) de color azul, las placas de la zona "baffle" (PB), las hileras de la zona "baffle" (HB) y las glándulas secretoras de la tercera membrana (GT). B) La tercera membrana (TM) secretada en el extremo del lumen (LZB).

Por otro lado 17 hembras con tallas de 66 a 94 cm. presentaron liberación de espermatozoides por encima de la zona "baffle", ésta posiblemente lleve a cabo la función de fertilización (Fig. 18 C y D). La mayoría de los cortes donde se apreció esta liberación de espermatozoides fueron aquellos en donde la glándula oviducal mostró tres lúmenes, indicando que la disección de la misma se realizó un por encima de la zona "baffle".

La zona de liberación de espermatozoides se caracteriza por presentar un cambio en la coloración de los túbulos que están conectados hacia el lumen, además de observar que las placas carecen de hileras como aquellas que se encuentran presentan entre las placas secretoras de la tercera membrana (Fig.18B). Aunque no se tiene claro si estos espermatozoides liberados son capaces de llevar a cabo la fertilización si se observó un nuevo acomodo de los túbulos de almacén de esperma ya que éstos no se encuentran solo en la zona terminal sino que se distribuyen en

toda la periferia de las cuatro zonas hasta llegar a la parte superior de la glándula oviducal.

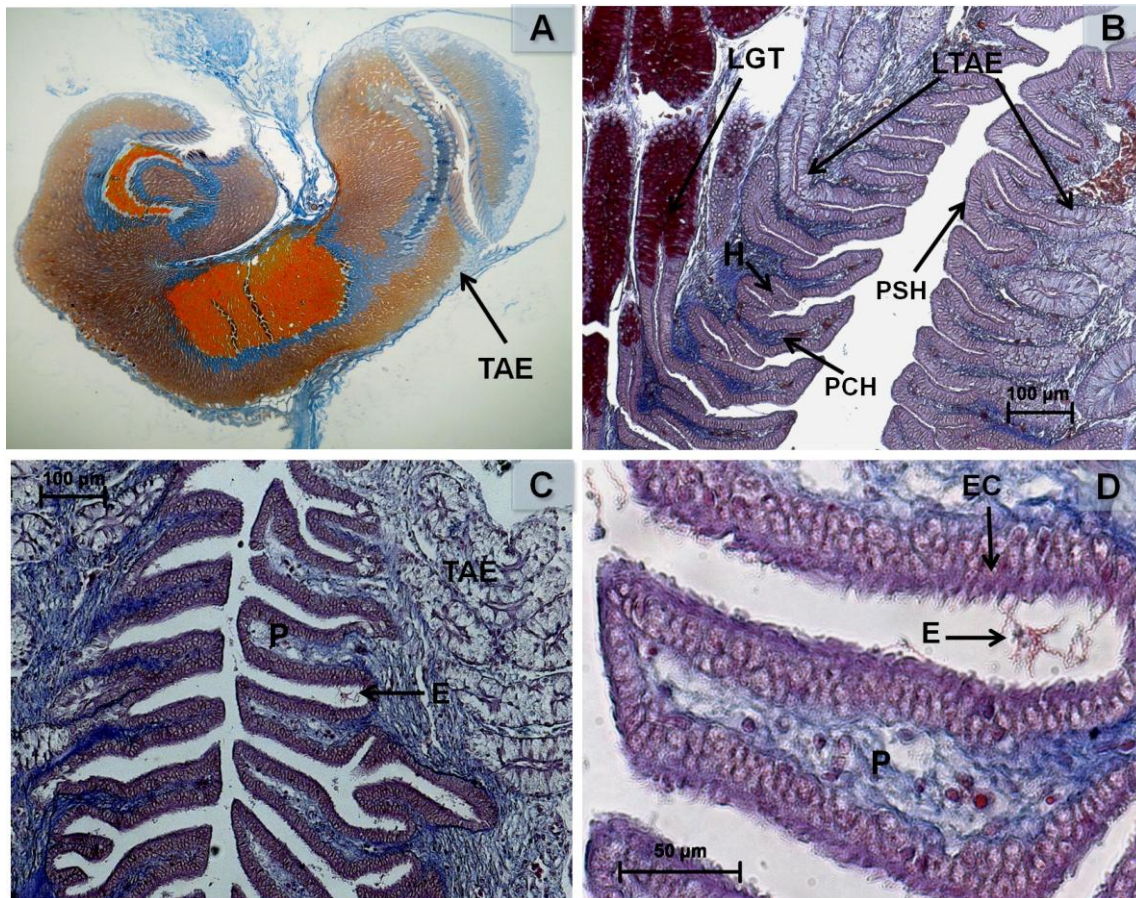


Figura 18. A) Organización estructural de los túbulos de almacén de espermatozoides en la entre la zona papilar y la zona “baffle” .B) 10X Diferenciación de zonas de liberación: liberación de los túbulos de almacén de espermatozoides (TAE) con placas sin hileras (PSH) y liberación de las glándulas secretoras de la tercer membrana con placas que si presentan hileras (PCH), hileras (H). C) 10X Estructuras que participan en la liberación de espermatozoides (E): túbulos de almacén de espermatozoides (TAE) y placas (P). 40X magnificación de la liberación de espermatozoides (E): Epitelio ciliado (EC), Espermatozoides (E) y Placas entre la zona papilar y la zona “baffle” (P).

En una hembra de Punta Lobos capturada el 12 de mayo del 2011, se observó un ovario con oocitos listos para ser ovulados y dos de ellos se encontraron cuando estaban saliendo simultáneamente de las glándulas oviducal (Fig. 19A), en otra hembra de San Lázaro capturada el 02 de julio del 2011, se observó el mismo evento, pero esta presentaba el ovario con oocitos en estado atresico y oocitos en vitelogénesis (Fig. 19B). Lo anterior sugiere que dos oocitos son liberados

simultáneamente del ovario, los cuales migran del ovario hasta el ostium y posteriormente cada uno se dirige hacia un oviducto diferente. Una vez en el oviducto, ambos se trasladan hacia la glándula oviducal para ser fertilizados y ser envueltos en su tercera membrana casi al mismo tiempo para que posteriormente pasen al útero donde comenzarán su desarrollo como huevos uterinos.

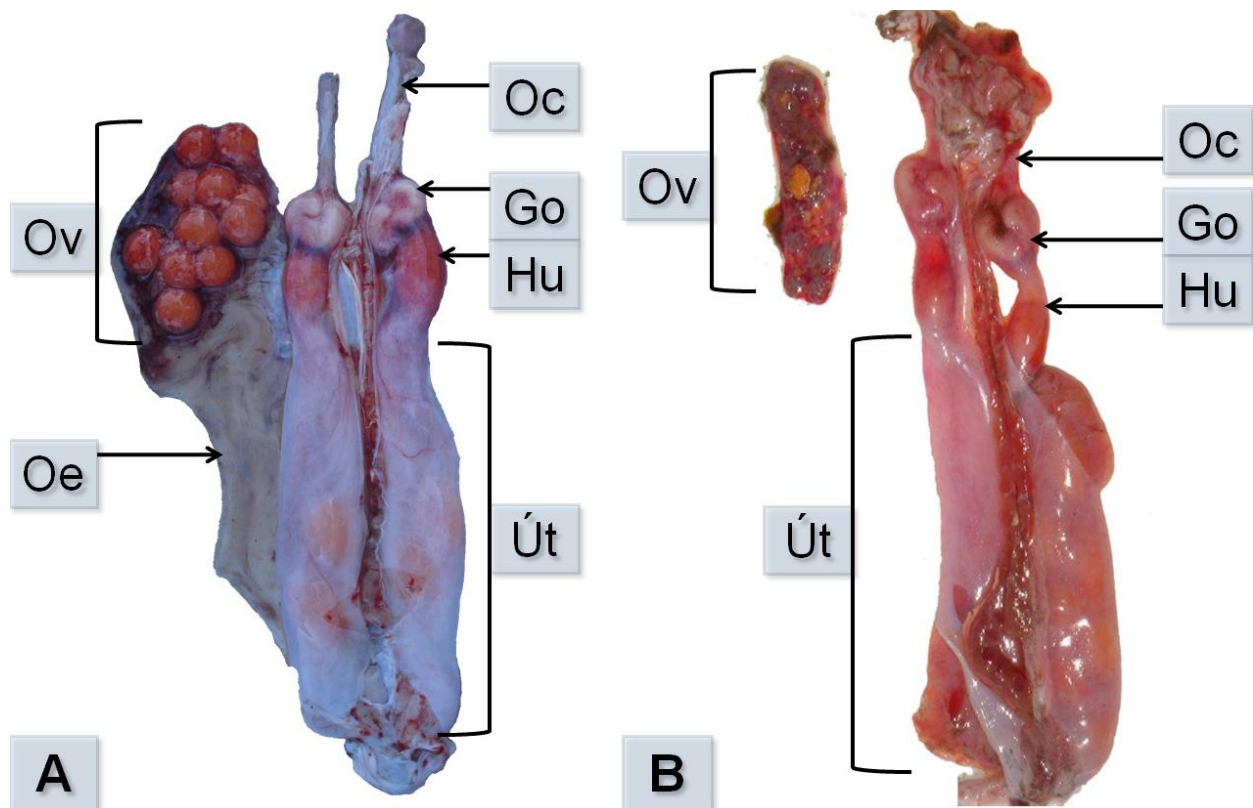


Figura 19. Fertilización simultanea en hembras de *M. henlei*. A) Aparato reproductor de una hembra capturada en Punta Lobos, donde se observa: el ovario (Ov), el oviducto (Oc), las Glándulas oviducal (Go), los huevos uterinos (Hu), el órgano epigonal (Oe) y el útero (Út). B) aparato reproductor de una hembra capturada en San Lázaro, donde se observa: el ovario (Ov), el oviducto (Oc), las Glándulas oviducal (Go), los huevos uterinos (Hu) y el útero (Út).

6.4 DESCRIPCIÓN A NIVEL MACROSCÓPICO DEL APARATO REPRODUCTOR Y LOS ESTADIOS DE MADUREZ EN AMBOS SEXOS

6.4.1 MACHOS

Para determinar el estadio de madurez se analizaron 484 tiburones, de los que se registró la longitud total (LT) y la longitud del gonopterigio. Se extrajo el aparato reproductor de 192 individuos: 112 de Punta Lobos y 80 de San Lázaro.

El aparato reproductor de machos en *M. henlei* está conformado por dos testículos, los conductos eferentes que llegan al epidídimo, el cual llega a los conductos deferentes y terminan en la vesícula seminal antes de llegar a la cloaca, la vesícula seminal se encuentra entre el riñón que va pegado a la columna vertebral y una membrana que lo protege. (Fig. 20).

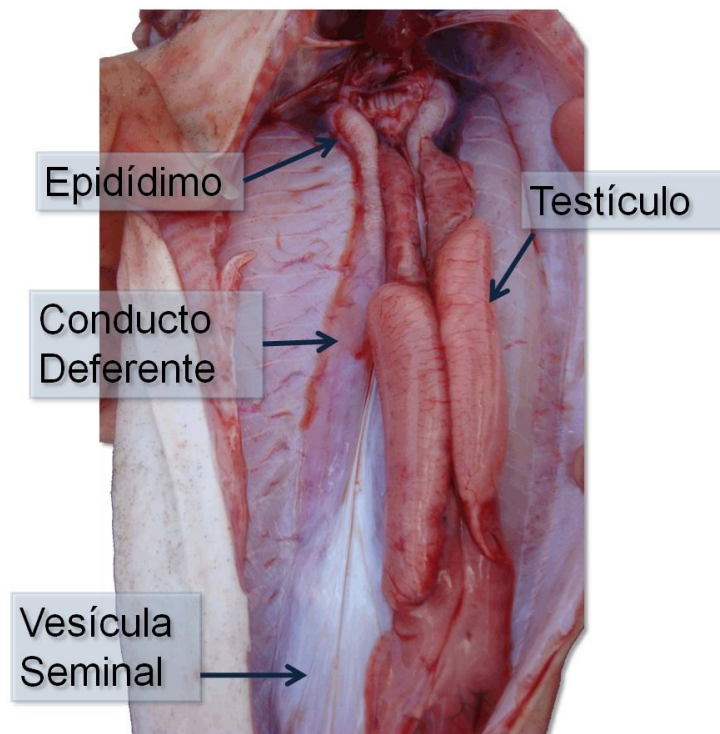


Figura 20. Morfología del aparato reproductor masculino del tiburón *M. henlei*.

TESTÍCULOS

Los testículos son estructuras pareadas envueltos por el órgano epigonal y es donde se lleva a cabo la espermatogénesis, también juegan un papel en secreción de las hormonas esteroides. En los juveniles el testículo es largo y ovalado de un color anaranjado claro con un longitud promedio de 4 cm. y un grosor de 0.8 cm. El testículo de un adulto presenta una gran irrigación que se puede observar a lo largo del testículo en la parte media llamada zona germinal, que posiblemente le otorgue el color rosado, es mas ovalado que el de un juvenil con una longitud de 5.4 cm y un grosor de 1.2 cm (Fig. 21).

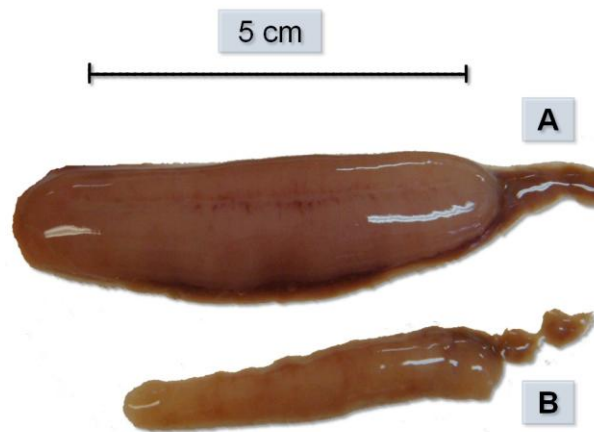


Figura 21. Testículo de *M. henlei* A) Adulto con zona germinal en la parte central y B) juvenil sin zona germinal.

EPIDÍDIMO

El epidídimo es un tubo largo con circunvoluciones que se forma detrás de los testículos y está conectado a ellos a través de los conductos eferentes, estos últimos no fueron analizados, pero se saben que son tubos finos que cruzan del borde anterior de los testículos y llevan los espermatozoides maduros de los testículos al epidídimo. En los juveniles miden 0.3 cm y estas circunvoluciones no son evidentes, porque solo se observa un tubo recto de color blanco que se conecta por medio de los conductos deferentes a la vesícula seminal (Fig. 22A).

En los adultos el epidídimo presenta circunvoluciones marcadas de color blancas que generalmente distribuidas a lo largo de todo el conducto. Además en los adultos se puede diferenciar una zona anterior llamada cabeza del epidídimo que llegan a medir 6 cm., que conectan con una zona delgada llamada cuello del epidídimo (Fig. 22B) el cual se ensancha mientras se continua con el conducto deferente o conducto de Wolff, que a su vez se continúan con la vesícula seminal.

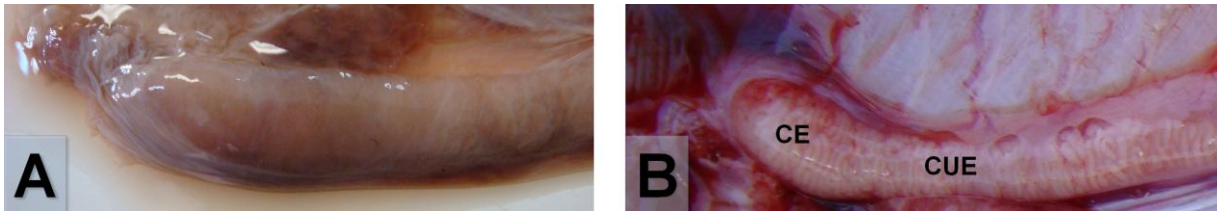


Figura 22. Epidídimo de *M. henlei*. A) Epidídimo juvenil sin diferenciación y B) epidídimo de un adulto con diferenciación de la cabeza y cuello del epidídimo.

VESICULA SEMINAL

En los juveniles de *Mustelus henlei* las vesículas son dos túbulos de color blanquecino lechoso y con un grosor de 0.2 cm (Fig. 23A), en los adultos aunque presenta una coloración similar, tiene un mayor grosor, ya que llega a medir 0.5 cm, ambas se encuentran debajo de un revestimiento que comienza en los conductos deferentes y que también cubre la parte donde se conecta el uréter para forma el seno urogenital cerca de la cloaca (Fig. 23B).

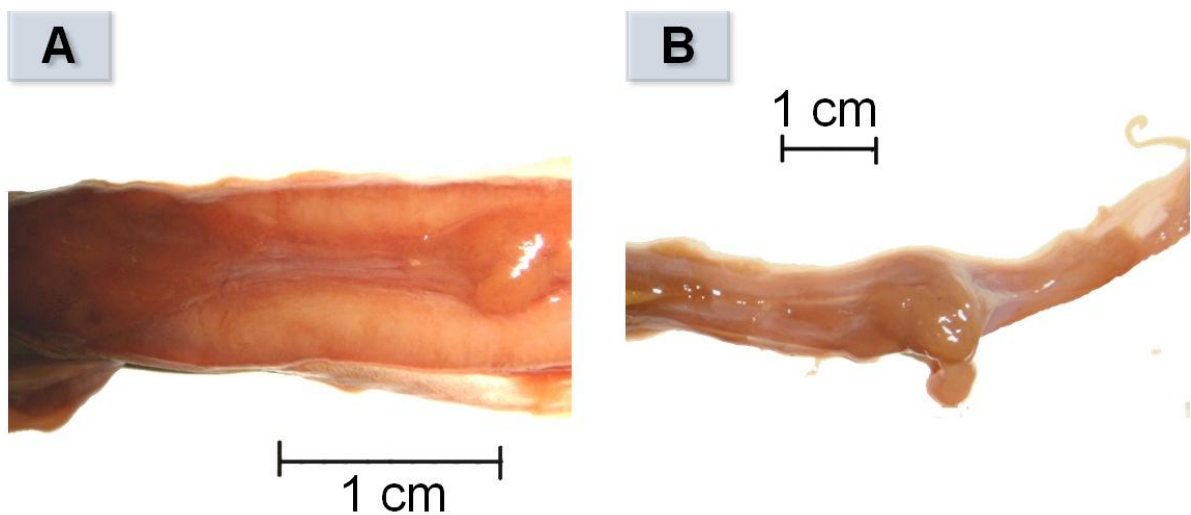


Figura 23. Vesícula seminal del tiburón *M. henlei*. A) Vesícula seminal de un adulto y B) vesícula de un juvenil.

El crecimiento del gonopterigio presentó una correlación positiva con la longitud total de los organismos (Fig. 24). Los tiburones menores de 60 cm presentaron un desarrollo gradual de los gonopterigios hasta llegar a 6 cm y sin calcificación. Los tiburones cuyo tamaño estuvo en el intervalo de los 60 y 75 cm de LT presentaron gonopterigios calcificados y otros no calcificados, que median entre los 5 y 10 cm. Mientras que los tiburones que se encontraban por encima de los 75 cm de LT presentaron gonopterigios calcificados que rotaban y median más de 8 cm.

El largo y ancho del testículo mostraron una ligera relación con la LT, aun así se observó un crecimiento gradual de los testículos conforme el tiburón aumentaba de talla (Fig. 25 y 26).

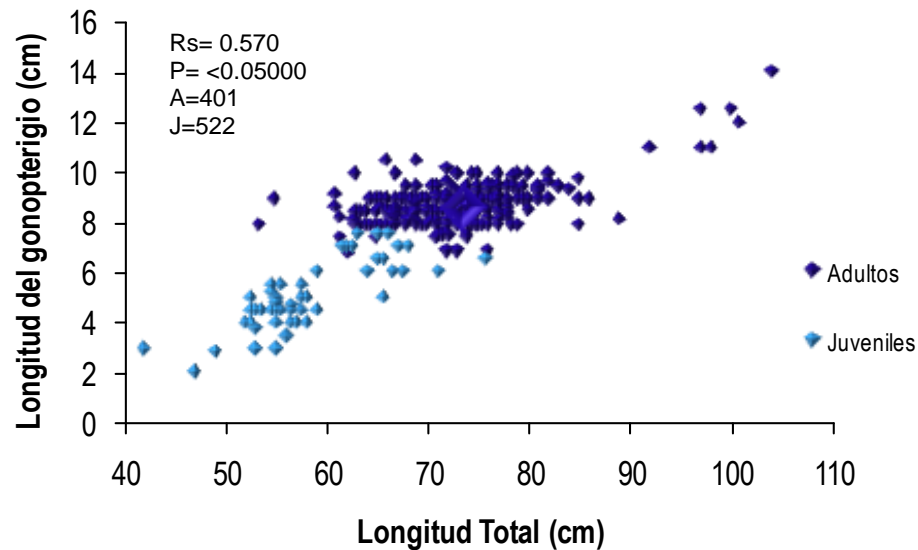


Figura 24. Relación de la longitud total con la longitud del gonopterigio en machos de *M. henlei*.

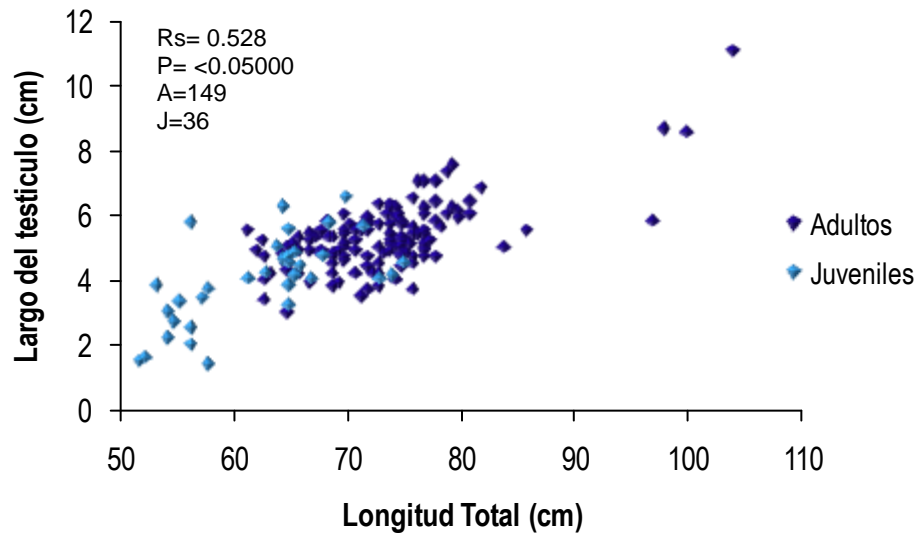


Figura 25. Relación de la longitud total con el largo del testículo en machos de *M. henlei*.

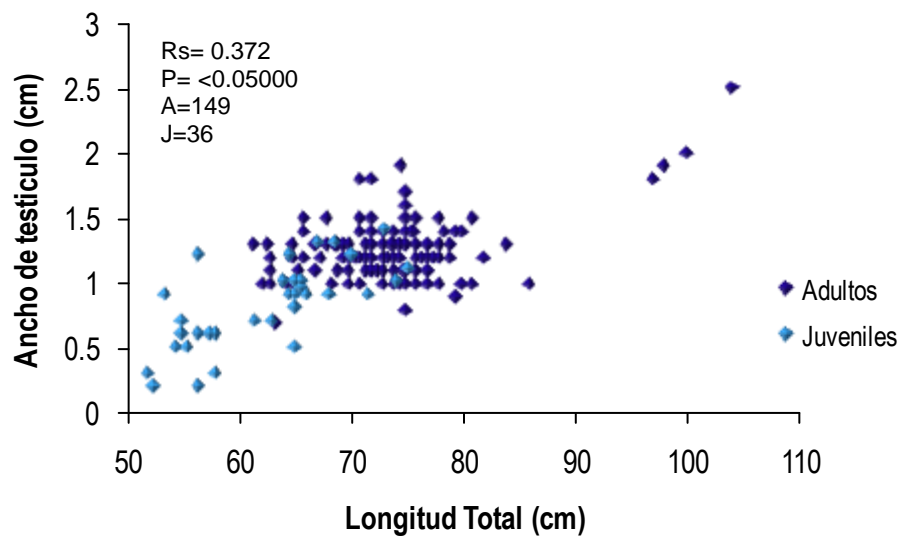


Figura 26. Relación de la longitud total con el ancho del testículo en machos de *M. henlei*.

ESCALA DE MADUREZ EN MACHOS

JUVENILES

A pesar de que los organismos de esta especie son muy escasos se logro obtener características propias de este estadio. Los testículos presentaban un color amarillo con una longitud promedio de 3.9 y un grosor menor 1 cm, en los cuales ya había espermatozoides maduros en la zona terminal. El epidídimo de un juvenil no presenta las circunvoluciones que lo caracterizan y por tanto no se encuentra bien definido internamente no presenta espermatozoides, las vellosidades de las células ciliadas son muy cortas y las células secretoras aun no comienzan su función. En la vesícula seminal solo se observa el conducto sin espermatozoides. Externamente el gonopterigio de un juvenil mide entre 5 y 7 cm, no presentaba rotación, calcificación, apertura del rifiodón y no excede o excedía ligeramente el borde de la aleta pélvica. El organismo juvenil más grande presentó una talla de 65 cm de LT.

ADULTOS

Los organismos adultos internamente presentaron testículos de color rosa con un promedio de longitud y grosor de 5.5 y 1.3 cm. respectivamente, además de una zona central altamente irrigada que forma internamente la zona germinal El epidídimo se caracteriza por presentar circunvoluciones de color blanco en toda su extensión además de presentar bien definida la cabeza y el cuello. Internamente se observan los cilios bien desarrollados, las células secretoras ya están activas y el conducto se presenta lleno de espermatozoides.

La vesícula seminal internamente muestra el acomodo de los espermatozoides en forma de espermatozeugmata simple. Externamente los machos presentaron un gonopterigio mayor a los 7.5 cm., con rotación, apertura del rifiodón, calcificación y en algunos casos liquido seminal. El adulto más pequeño presentó una talla de 61.5 cm de LT.

6.4.2 HEMBRAS

El estadio de madurez se obtuvo mediante el registro de 451 hembras de *M. henlei*, de las cuales se extrajeron 167 aparatos reproductores, 141 de Punta Lobos y 26 de San Lázaro.

El aparato reproductor de las hembras de *M. henlei* al igual que otros tiburones está compuesto por un solo ovario en el lado derecho del cuerpo sostenido por un mesoovario que llega al oviducto, pero que no se continúa con el mismo. Presenta una entrada llamada ostium en la parte anterior de la tráquea que se bifurca en dos oviductos los cuales llegan a un par de glándulas oviducal. Después las glándulas se continúan en las partes posteriores del oviducto que desembocan cada uno en un útero (Fig. 27).

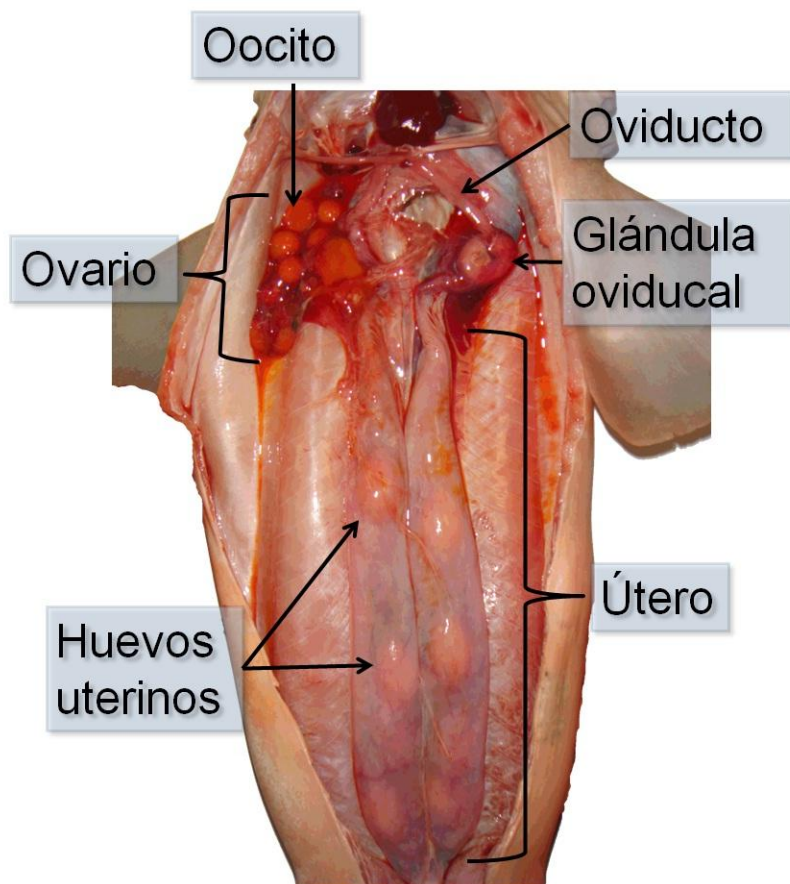


Figura 27. Morfología del aparato reproductor de una hembra de tiburón *M. henlei*.

OVARIO

El ovario consta de oocitos y folículos en desarrollo embebidos en el estroma de tejido laxo conectivo formándose una cápsula conjuntiva. En las hembras juveniles los oocitos llegan a medir de 0.05 a 0.3 cm y son de color blanco lechoso (Fig. 28A), mientras que en las maduras los oocitos se encuentran en desarrollo y generalmente llegan medir 1.1 cm caracterizados por una coloración amarilla debido al vitelo almacenado, antes de ser liberados hacia el ostium (Fig. 28B). En una hembra con embriones en las primeras fases de desarrollo se observaron los oocitos en los primeros estadios, pero en las hembras con embriones terminales mostraron oocitos en sus últimos estadios. Por otro lado en las hembras con huevos uterinos se observaron los oocitos de 1.1 cm que caracterizan a un oocito maduro (Fig. 28C).

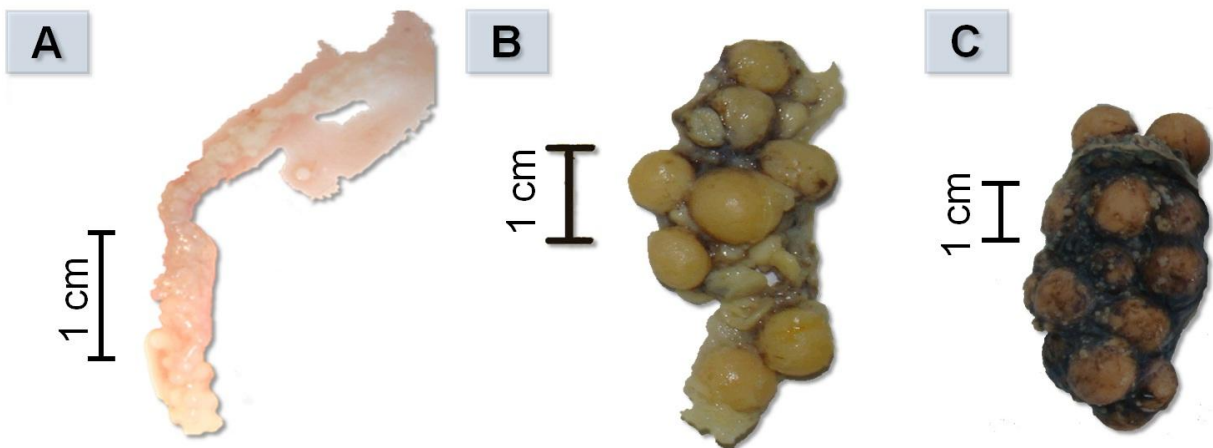


Figura 28. Ovario de una hembra de *M. henlei*, A) juvenil, B) madura antes del desarrollo completo de los oocitos y C) Madura con los oocitos maduros.

GLÁNDULA OVIDUCAL

La glándula oviducal es un órgano pareado ubicado en el oviducto entre el ostium y los úteros, está formado por cuatro zonas, especializadas en la fertilización de los oocitos, la secreción de sustancias nutritivas y en los tiburones vivíparos también se encargan de formar la tercer membrana que en *M. henlei* dura hasta el final del desarrollo embrionario. En las hembras adultas las glándulas oviducal son de un color rosado y bien definida llegando a medir entre 1 y 2.5 cm (Fig. 29A), mientras que en las juveniles son de 0.2 cm, de color blanco lechoso y no se suele distinguir más que el contorno ya que presentan casi el mismo grosor que el oviducto (Fig.29B).

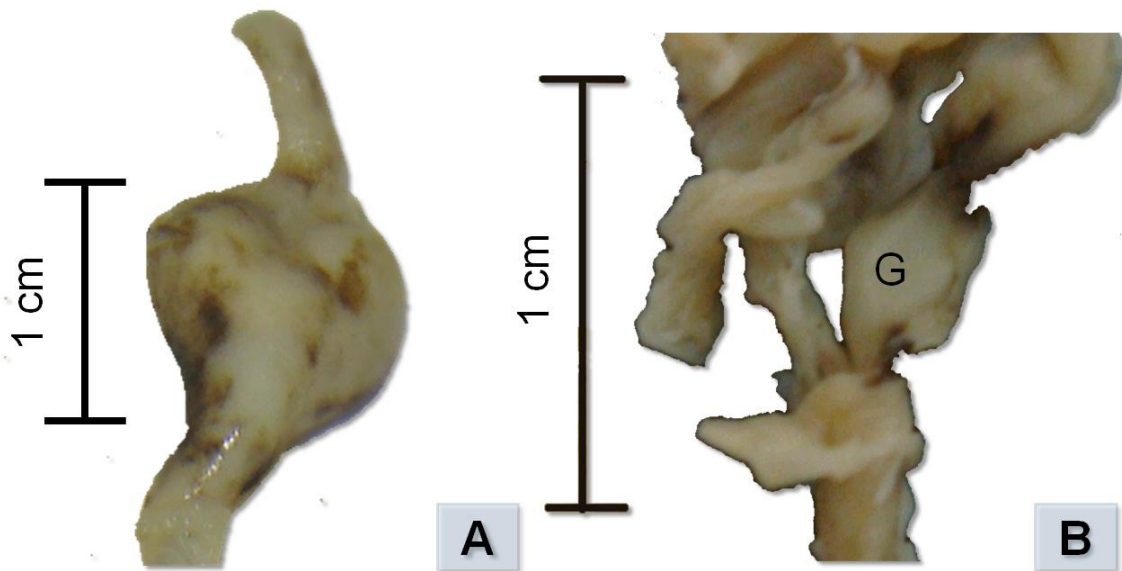


Figura 29. Glándula oviducal una hembra de *M. henlei*, A) una glándula oviducal de una hembra madura y B) juvenil donde G es la glándula oviducal.

ÚTERO

El útero constituye la parte terminal del oviducto en los vivíparos este se encuentra modificado para retener a los embriones dentro del cuerpo por medio del cérvix, en las hembras juveniles son delgados hilos de color blanco lechoso que se encuentran entre 0.1 y 0.2 cm (Fig. 30A). En una hembra en maduración, éste alcanza una talla de 0.8 a 3.4 cm (Fig. 30B), mientras que en las hembras grávidas la coloración es rosada y con grandes vasos sanguíneos que son notables alrededor de todo el útero, generalmente miden por arriba de 2.6 cm.; sin embargo hay que considerar que la medida puede variar de talla hasta los 7.5 cm, dependiendo si el contenido son huevos uterinos o embriones (Fig. 30C).

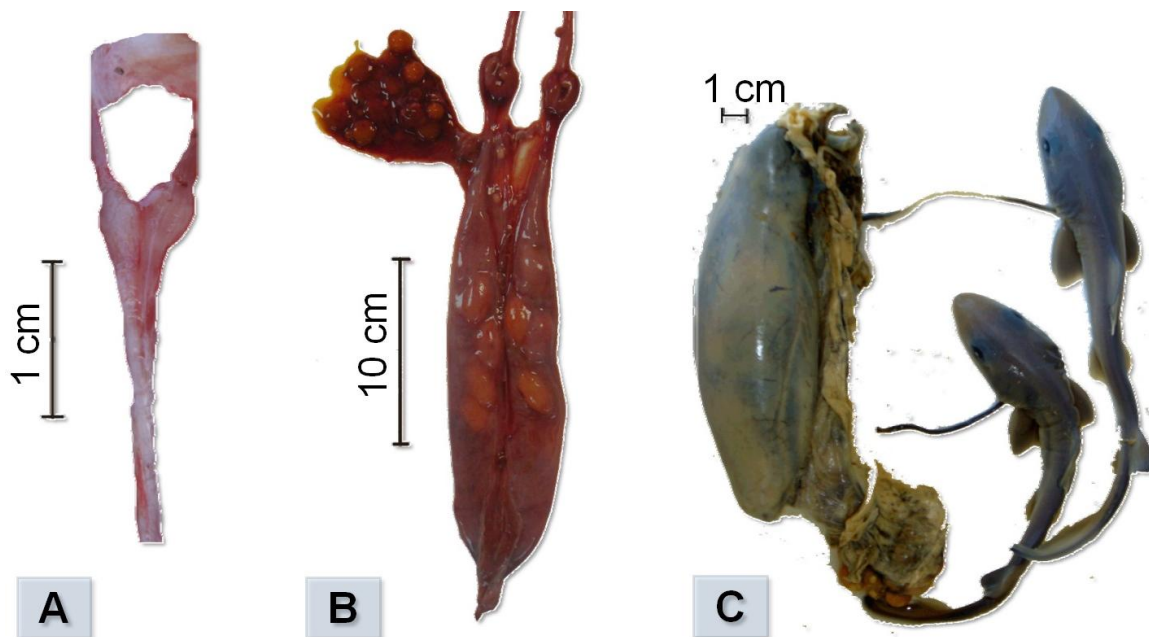


Figura 30. Úteros de una hembra de *M. henlei*. A) Juvenil, B) madura con huevos uterinos y C) hembra madura con embriones.

En las hembras las características de madurez consideradas son la talla, las mordidas de apareamiento y el desarrollo del aparato reproductor, el cual tiene varios componentes que no crecen de la misma manera. Lo anterior fue comprobado con la correlación positiva que presentó el ancho del útero con relación a la talla del tiburón, ya que las hembras que miden menos de 70 cm presentan úteros muy delgados (<1.15 cm) que se van desarrollando hasta alcanzar tallas entre 1.5 y 2.5, posteriormente su desarrollo depende de su estadio de gravidez (Fig. 31).

Esta correlación positiva también fue observada con la glándula oviducal y la longitud total, pero no fue muy marcada, debido a la falta de organismos juveniles. Sin embargo se pudo observar que organismos con tallas menores a los 60 cm presentaran glándulas oviducal de 0.3 cm. que alcanza sus tallas máximas después de los 68 entre 1 y 2 cm (Fig. 32). Por otro lado los oocitos presentaron la menor relación en cuanto a la longitud total debido a que su desarrollo está influenciado por la temporalidad de la estación de reproducción (Fig. 33).

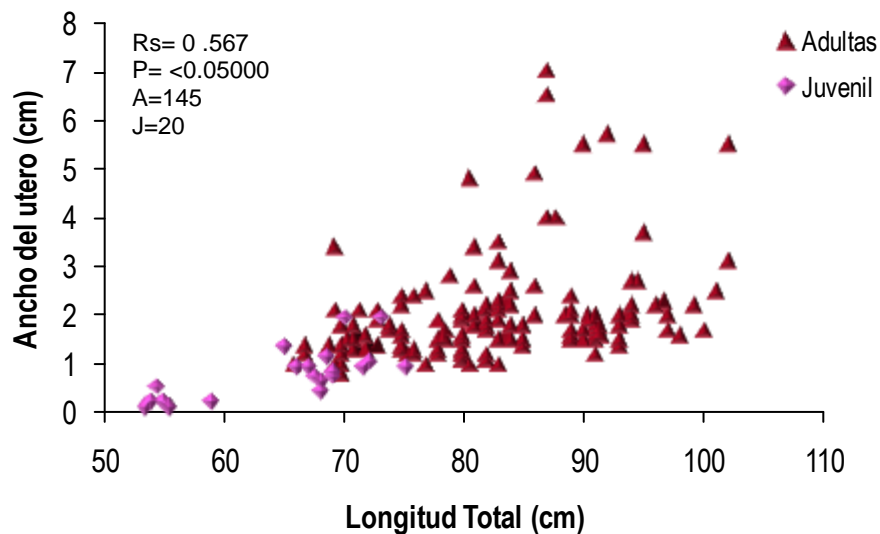


Figura 31. Relación del ancho del útero con la longitud total en hembras de *M. henlei*.

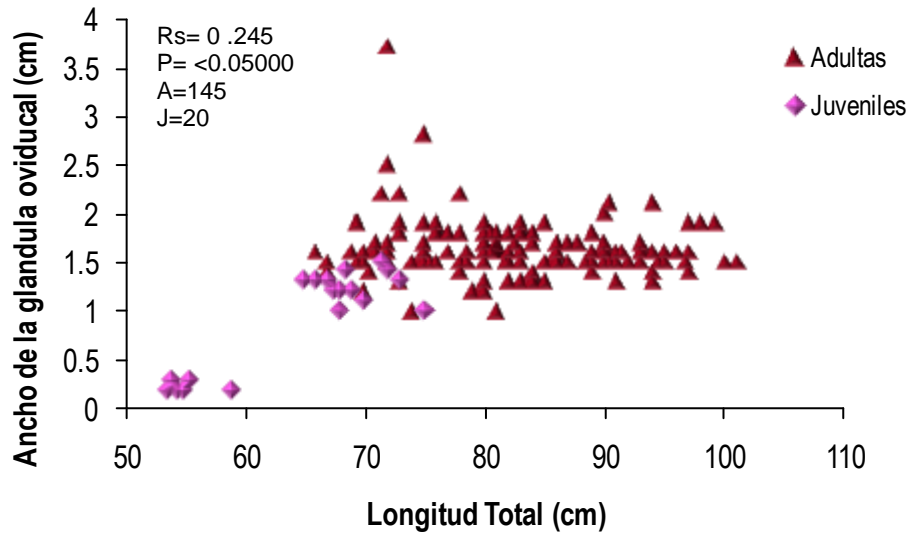


Figura 32. Relación de la glándula oviducal con la longitud total en hembras de *M. henlei*.

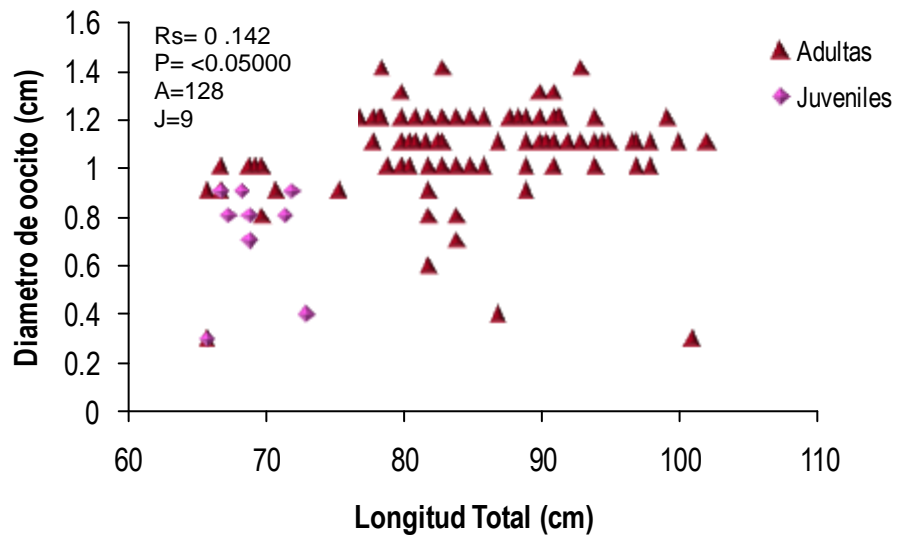


Figura 33. Relación del diámetro de los oocitos con la longitud total en hembras de *M. henlei*.

ESCALA DE MADUREZ

HEMBRAS INMADURAS: las hembras en este estadio generalmente se encuentran por debajo de los 64 cm. cuentan con un ovario en el cual los oocitos son poco perceptibles de 0.5 cm a 0.1 cm., una glándula oviducal de 0.2-0.5 cm. y los úteros angostos con un grosor de 0.1 a 0.5 cm. todas las estructuras son de color blanco lechoso.

HEMBRAS MADURAS: Son hembras que presentan un cambio muy notorio en las estructuras reproductivas, ya que presentan un rango de tallas de 65 a 80 cm. Con un ovario que presenta oocitos amarillos de entre 0.9 y 1.1 cm, glándulas oviducal definidas de 1 a 1.4 cm. y úteros color rosado de 0.7 a 1.7 cm. Histológicamente estas hembras ya contiene espermatozoides en la glándula oviducal.

HEMBRAS GRAVIDAS: Se caracterizaron por presentar úteros de color crema con abundantes venas, midiendo entre 2 y 7.5 cm., una glándula oviducal mayor a 1.5 cm y un ovario con oocitos de color amarillo que sobrepasaban el 1.1 cm.

Por otro lado las hembras encontradas de mayo a junio presentaban úteros de color crema con una extensión de 1.4 a 3 cm., una glándula oviducal mayor a 1.5 y dos tipos de ovarios uno en el que los oocitos se encontraban maduros por encima de un centímetro indicando que se encontraba en ovulación y otras con oocitos pequeños indicando que había finalizado la fertilización de oocitos y que la nueva cohorte de oocitos estaba en desarrollo. De estas hembras se observó que la glándula oviducal contenía menos esperma.

6.5 CICLO REPRODUCTIVO

El ciclo reproductivo de las hembras se realizó a partir de 167 hembras que en su mayoría fueron adultas, en las cuales se observó que los oocitos más pequeños con medidas que van desde 0.1 cm hasta 0.8 cm., se encontraron principalmente en el mes de junio aunque también hubo en el mes de mayo, mientras que los de mayor tamaño con tallas de 0.9 a 1.4 cm y con una moda de 1.1 cm, se encontraron con en los meses de abril y mayo.

Las 55 hembras grávidas que se analizaron mostraron huevos uterinos en los meses de mayo y junio, indicando el inicio de la gestación debido a que en estos huevos uterinos está iniciando la formación del embrión. También mostraron que los embriones de mayor tamaño se observaron en los meses de marzo y abril indicando el término del periodo de gestación. El embrión más grande que se encontró midió 26.7 cm de LT.

Con lo anterior se obtuvo un periodo de gestación que se lleva a cabo simultáneamente con el ciclo ovárico en un lapso de 11 meses. La presencia de los huevos uterinos en los meses de mayo y junio, indican un periodo de ovulación que comprende dos meses. Estos ciclos se repiten anualmente (Fig. 34).

Las hembras analizadas de Las Barrancas del 2007 muestran estadios intermedios que complementan el desarrollo tanto de embriones como de oocitos, mostrando embriones en el mes de septiembre con un intervalo que abarca desde 1.9 cm hasta los 7.8 cm y oocitos con tallas de 0.3 a 0.4 cm (Fig. 34).

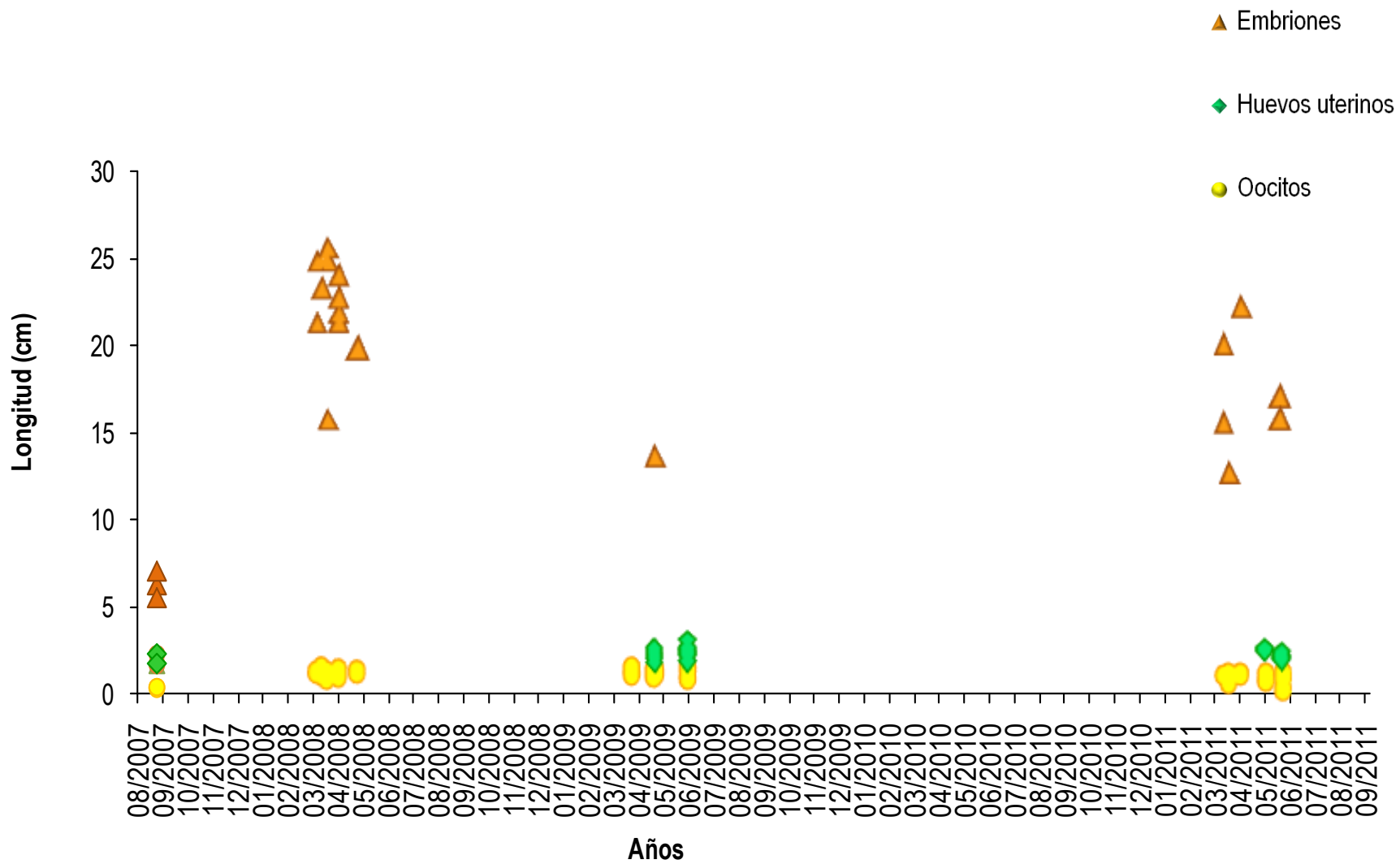


Figura 34. Ciclo reproductivo de *M. henlei* en la costa occidental de Baja California Sur, zona de Las Barrancas (2007) y zonas de Punta Lobos y San Lázaro (2008,2009 y 2011).

6.6 DESARROLLO EMBRIONARIO

Para el desarrollo embrionario se definieron cinco periodos de acuerdo a las características particulares presentes en los embriones a lo largo de su desarrollo, todas las fases se encontraron dentro de una tercera membrana pero en algunos casos fue retirada.

Fase 0.- Este estadio se encuentra caracterizado por huevos uterinos que median en promedio 2.5, los cuales presentaban gran cantidad de vitelo de color amarillo, un líquido transparente de consistencia gelatinosa similar a la clara de huevo de gallina que protege y ayuda al oocito en su desarrollo, una tercer membrana que lo rodeaba en su totalidad y un embrión aun no perceptible (Fig. 35).

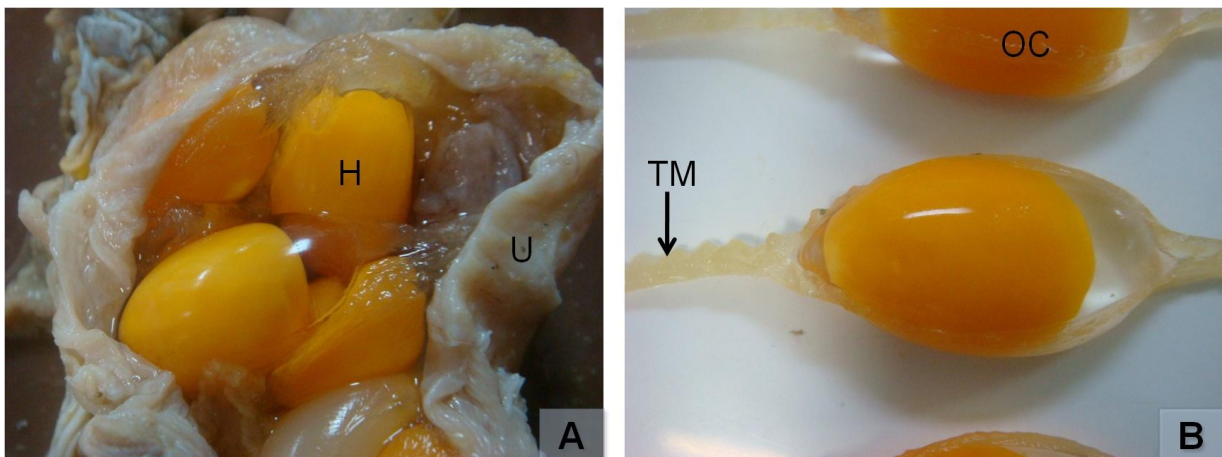


Figura 35. Fase cero del desarrollo embrionario de *M. henlei*. A) Huevos uterinos (H) contenidos en el útero de una hembra. B) Composición de un huevo uterino: tercera membrana (TM) y oocito fertilizado de color amarillo (OC).

Fase 1.- En el estadio uno se consideraron embriones de 1.5 a 3.5 cm, unidos a un huevo uterino de color amarillo por medio de un conducto vitelino que en sus inicios es corto y delgado, aunque ya está formado el poro bucal. El embrión presenta en esta etapa, un color blanco y una forma semitubular, con tres protuberancias en la cabeza, una es el primordio de ojo (son dos pero una no se observa), otra es el primordio del rostrum y la tercera es lo que más tarde será el cráneo. También se observa detrás de la cabeza en una vista lateral, cuatro orificios que serán las hendiduras branquiales las cuales aun no están completamente recubiertas pero ya están unidas (Fig. 36).

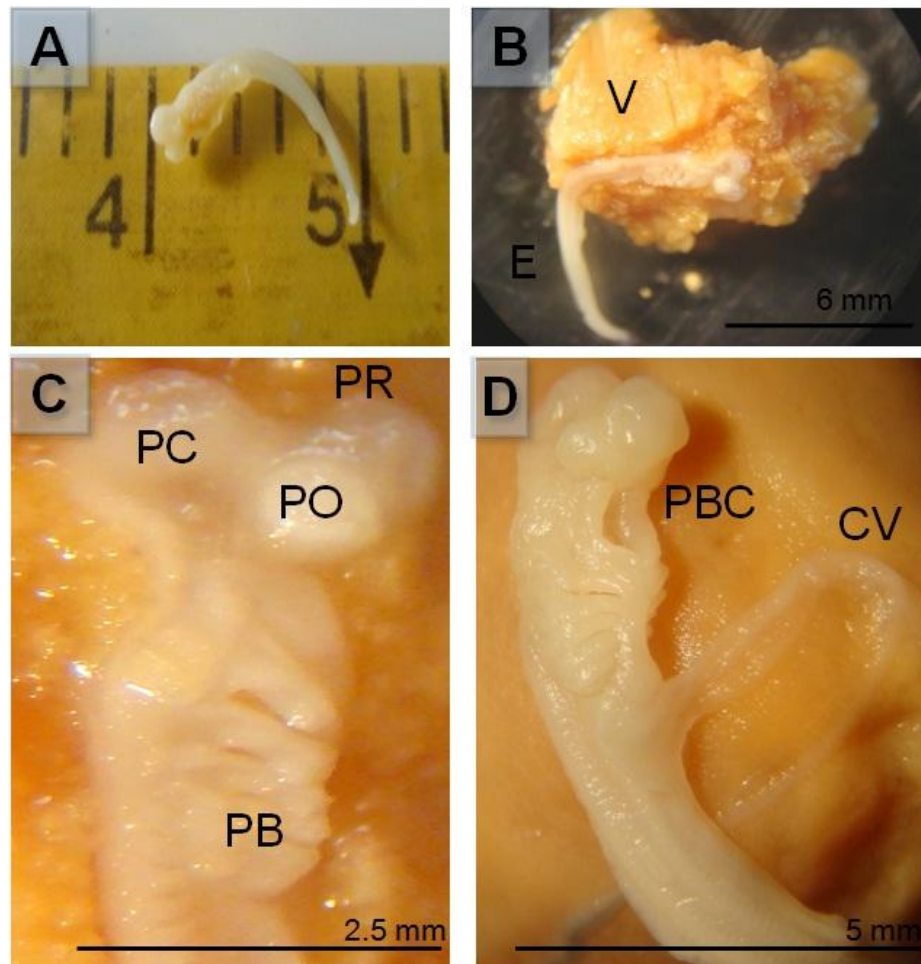


Figura 36. Embrión de *M. henlei* en la fase uno. A) Embrión. B) Embrión (E) con su vitelo (V). C) Región cefálica primordios de los ojos (PO), primordios branquiales (PB), primordio cefálico (PC) y rostral (PR). D) embrión de vista frontal con su cordón vitelino (CV) y su poro bucal (PBC).

Fase 2.- Se observaron embriones con tallas de 3.5 a 5 cm, los cuales todavía tienen el cordón vitelino corto, pero es más robusto y una gran presencia de vitelo en el huevo. Se mantiene el color corporal blanco y la cabeza con el cráneo abultado, los ojos presentan tres divisiones una blanca central y dos oscuras laterales, la boca está más definida y se pueden apreciar los orificios nasales.

Otros cambios importantes en el embrión son la presencia de filamentos branquiales externos, la formación del espiráculo y la formación de las aletas pectorales, pélvicas y la aleta caudal heterocerca característica de los condriictios (Fig. 37).

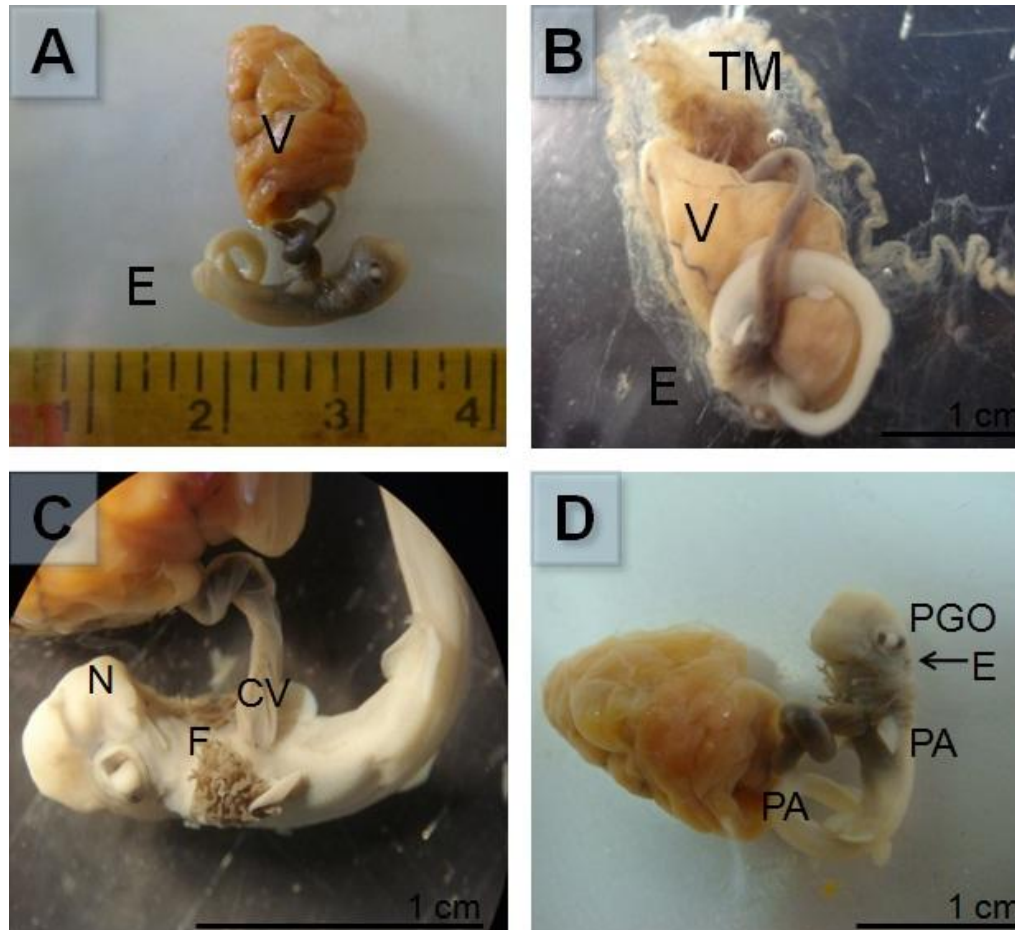


Figura 37. Embrión de *M. henlei* en la fase dos. A) Embrión (E) con vitelo (V). B) Embrión (E) con su vitelo (V) dentro de su tercer membrana translúcida de color verde (TM). C) Filamentos branquiales externos (F), cordón vitelino (CV) y las narinas (N). D) Formación de los primordios de todas la aleteas (PA), espiráculo (E) y pigmentación del ojo (PGO).

Fase 3.- De los 5 a los 8.5 cm el embrión tiene la cola doblada hacia la parte anterior en un ángulo de 180°, esta posición permanecerá en periodos posteriores para optimizar espacio. La cabeza comienza a aplanarse para formar el rostrum, las tres divisiones anteriores del ojo ahora forman dos círculos definidos uno interno de color blanco y uno externo de color oscuro, el cual conforme avanza el desarrollo va aumentando de tamaño.

Se puede identificar externamente el sexo por presencia o ausencia de los gonopterigios. Los orificios branquiales ya están formados con ausencia de los filamentos branquiales externos, el espiráculo se separa ligeramente de las branquias queda más cerca de la parte posterior del ojo. Hay poco vitelo en el huevo uterino indicando que este se prepara para la adición al útero materno acompañado de un agrandamiento del pedúnculo vitelino. La piel sigue siendo delgada y escasamente pigmentada (Fig. 38).

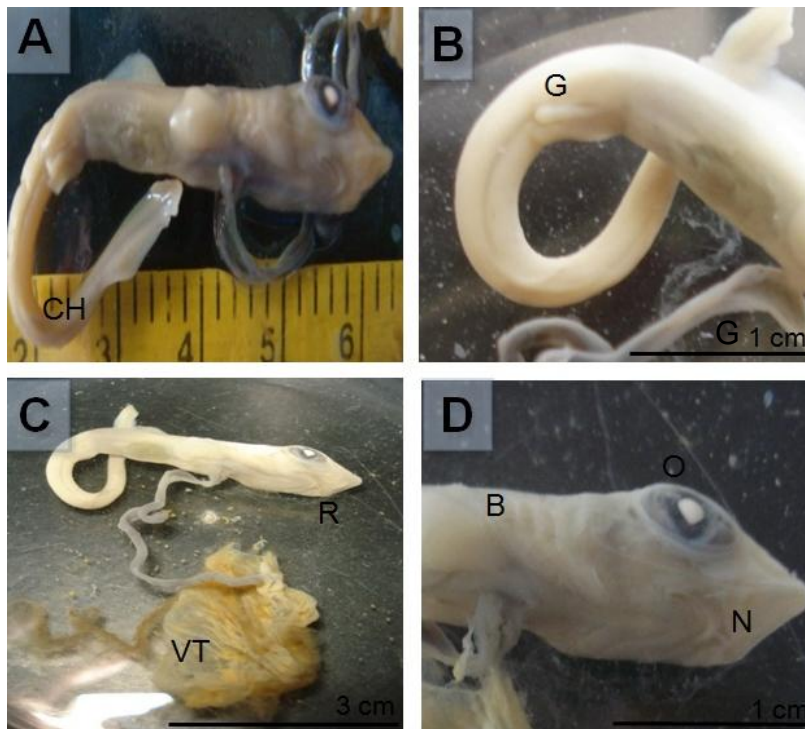


Figura 38. Embrión de *M. henlei* en la fase tres. A) Embrión con aletas definidas, como la caudal que ya es heterocerca (CH). B) Definición de las aletas pélvicas, en este caso es un embrión macho que ya presenta los gonopterigios (G). C) Embrión con el rostrum (R) bien definido y vitelo terminal (VT). D) presencia de las narinas (N), el ojo ovalado con el espiráculo a un lado (O) y la presencia de branquias (B).

Fase 4.- De los 8.6 a los 26.5 cm, se observó un cambio de coloración corporal presentándose tonos más oscuros en el dorso y claros en la parte ventral (blanco que perdura hasta en los adultos), se puede observar la línea conspicua oscura en la aleta dorsal y la caudal. En la coloración del ojo, el halo negro es más grande y rodea al círculo blanco central. El rostrum está formado completamente y se observan los pliegues nasales, desarrollo de dientes, las aletas están perfectamente definidas e incluyen las dos pectorales, las pélvicas, las dorsales y la anal. El vitelo en esta fase se encuentra agotado, por lo que la membrana del huevo uterino se encuentra adherida a la pared del útero. El útero presenta compartimentos intrauterinos y partir de los 12 cm los embriones ya no presenta muchos cambios en su morfología porque ya son copias miniaturas de los adultos; a medida que crecen adquieren la misma coloración característica del adulto, marrón cobrizo en el dorso y blanco en el abdomen y las escamas placoides características de los elasmobranquios (Fig. 39). El tamaño máximo fue de 26.7 cm de LT.

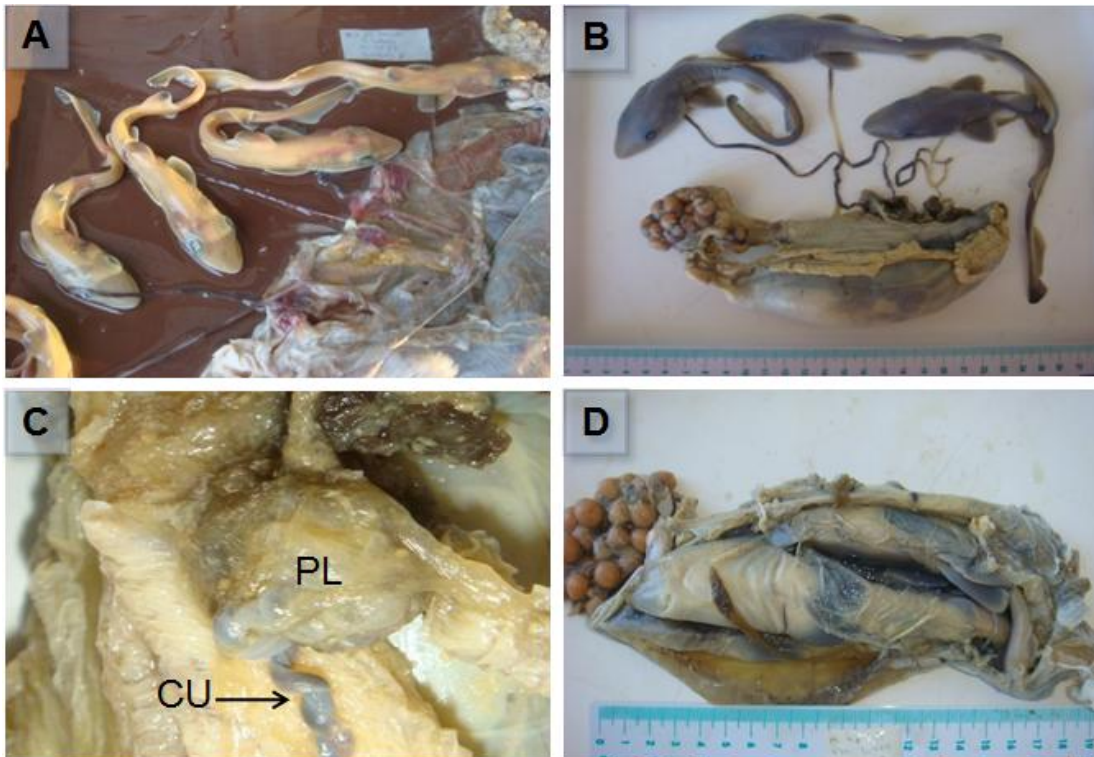


Figura 39. Embrión de *M. henlei* en la fase cuatro. A) Embriones terminales fuera del útero. B) Embriones unidos al útero por medio del cordón umbilical. C) Placenta adherida al útero y cordón umbilical. D) Cámaras intrauterinas.

6.7 FECUNDIDAD

Se encontraron embriones en hembras con tallas mayores a 72 cm, con un intervalo mínimo de 2, un máximo de 15 y una moda de 10 embriones, aunque en algunas hembras desde los 70 cm, ya presentaban huevos uterinos alcanzando una moda de 6 huevos uterinos y un máximo de 18 huevos uterinos en una sola hembra. La mayor cantidad de embriones se presentan en las hembras de tallas mayores a 76 cm y los huevos uterinos se presentan con mayor frecuencia en las hembras que miden desde 70 a 84 cm. Por otra parte el número de los oocitos presentes en el ovario de las hembras de este estudio indican que se puede alcanzar una fecundidad mínima de 1 cría y hasta un máximo de 24 crías, con un promedio de 12.5 crías por hembra (Fig. 40).

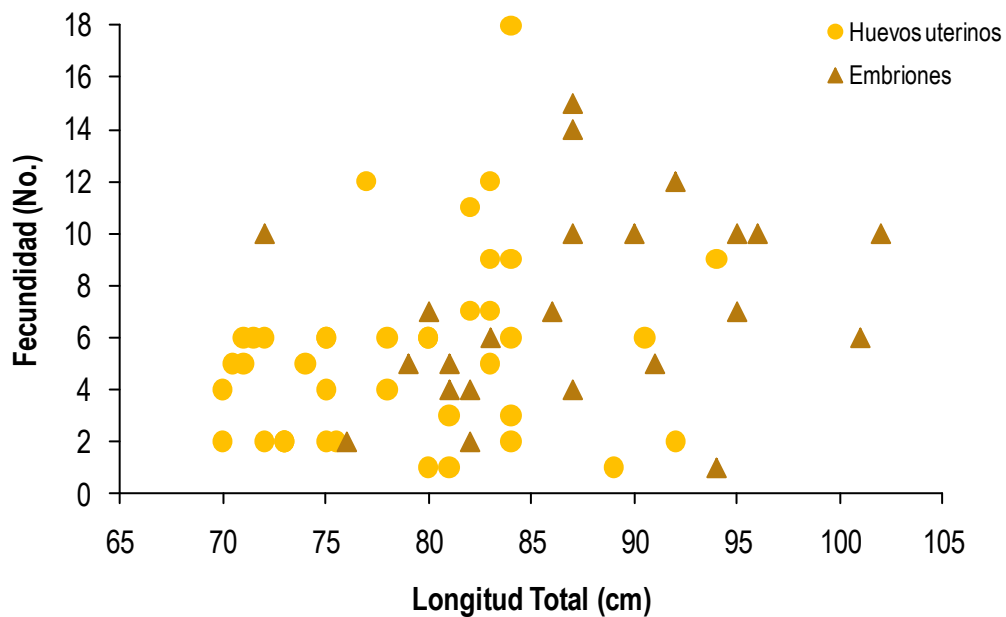


Figura 40. Número de huevos uterinos y embriones por hembra de *M. henlei*.

6.8 TALLA DE MADUREZ L_{50} PARA MACHOS Y HEMBRAS

Mediante la función logística se obtuvo una talla de madurez L_{50} para los machos de *M. henlei* de 64.39 cm de LT (Fig. 41), y para las hembras de 68 cm de LT (Fig. 42).

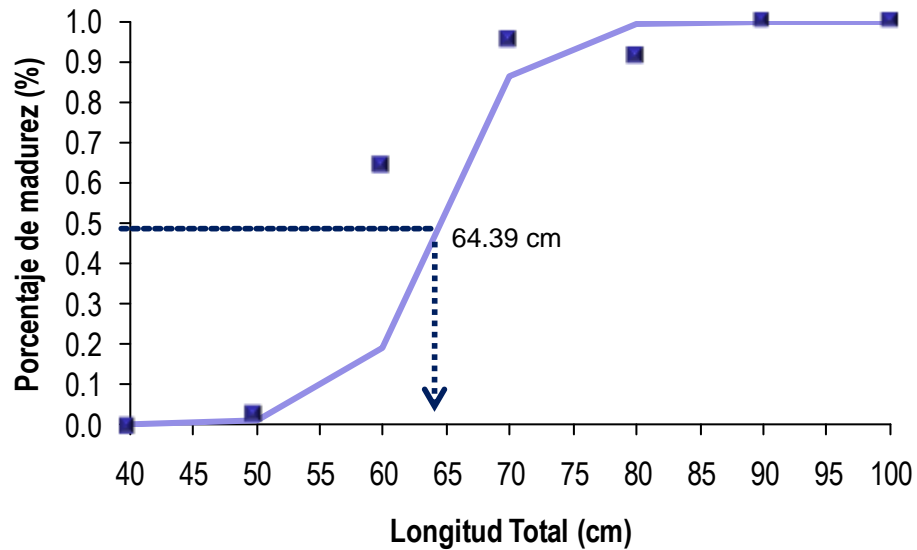


Figura 41. Talla de madurez L_{50} para machos de *M. henlei*.

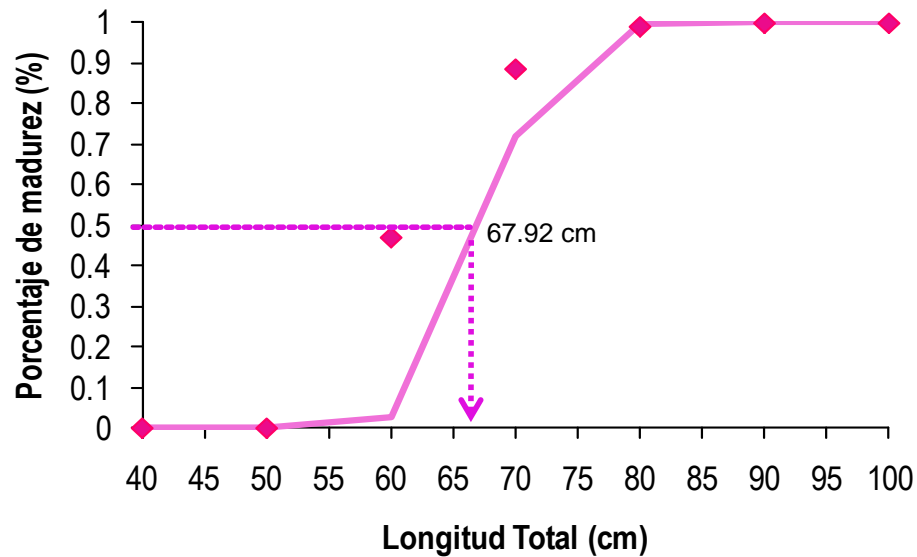


Figura 42. Talla de madurez L_{50} para Hembras de *M. henlei*.

7. DISCUSIÓN

7.1 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y COMPOSICIÓN DE TALLAS

El tiburón mamón *Mustelus henlei* es una especie importante en la pesca artesanal de elasmobranquios de la península de Baja California y en el Golfo de California, en donde representa el 80% de las capturas (Pérez- Jiménez *et al.*, 2005). En la costa occidental de Baja California Sur solo se registró en los meses de marzo a julio que corresponden a la temporada de primavera-verano y es posible que realice movimientos migratorios temporales.

Algo similar fue observado por Smith *et al.* (2009), quienes registraron diferencias temporales de estos tiburones en la pesquería artesanal de la costa oriental de Baja California, incluso reportaron una mayor captura por unidad en la pesquería debido a la presencia del género *Mustelus*, por posibles agregaciones reproductivas o de alimentación. De igual manera en la pesquería artesanal de Costa Rica, se reportó un aumento de las capturas de tiburón durante los meses de septiembre y octubre, atribuido a la mayor abundancia de *M. henlei* (López-Garro *et al.*, 2009).

Trabajos recientes de marcaje con transmisores ultrasónicos en *M. henlei* mostraron movimientos de la especie en relación con los ciclos de las mareas, influenciados por el ciclo circadiano, mostrándose mayor actividad nocturna en la Bahía Tomales, en California (Brenet *et al.*, 2009). Esto es apoyado por varios autores quienes han documentado, que los movimientos horizontales que realizan diferentes especies de tiburones hacia aguas someras son una estrategia evolutiva que se ha mantenido en su historia de vida (Castro 1993; Klimley *et al.* 1993; Simpfendorfer y Milward 1993; Bonfil 1997; Anislado y Robinson 2001). En cuanto a sus movimientos latitudinales se observó que en tres meses un organismo de *M. henlei* puede nadar hasta 160 Km (Compagno, 1984).

Las tallas máximas de ambos sexos de *M. henlei* en este estudio difieren de las tallas máximas encontradas para el Golfo de California (Pérez-Jiménez y Sosa-Nishizaki, 2008), pero fueron similares a los registros de tallas máximas reportadas por Hopkins y Cech (2003) y Yudin y Cailliet (1990), en California de 90 y 100 cm respectivamente. Los machos de *M. henlei* en la pesquería artesanal de la costa occidental de B.C.S. presentaron tallas entre 40 y 104 cm de LT con un promedio de 70.5 cm (± 7.4 cm) y las hembras entre los 49 y los 104 cm de LT con un promedio de 78 cm (± 11.5 cm); estas tallas fueron superiores a las registradas en el norte del Golfo de California (Pérez-Jiménez y Sosa-Nishizaki, 2008), donde los machos midieron desde 35.5 cm hasta los 71 cm de LT con un promedio de 60 cm (± 7 cm) y las hembras se encontraron de los 41 a los 90.5 cm de LT con un promedio de 66 cm (± 11 cm), lo anterior corroboró que en el lado de la costa occidental *M. henlei* alcanza tallas mayores (Yudin y Cailliet, 1990, Pérez-Jiménez, 2006).

En el Golfo de California se presentan especímenes de *M. henlei* de menor tamaño con respecto a la costa occidental de B.C.S., esta diferencia de tallas en ambas zonas puede explicarse por el esfuerzo pesquero aplicado o bien las artes de pesca empleadas, debido a que en el Norte del Golfo de California las muestras se extrajeron por tres métodos distintos de captura: dos barcos de tamaño mediano de arrastre con una luz de malla de 9 cm, barcos de la flota artesanal con redes de enmalle de fondo con una luz de 10 cm de luz de malla y por último de pequeñas embarcaciones con palangres de fondo, que llevan anzuelos “J” de 6 cm, por el contrario, en éste trabajo todas las muestras fueron extraídas de la pesquería artesanal mediante una red de mono filamento con una luz de malla de 12.7-15.24 cm, brindando un intervalo de captura más específico.

El efecto de la selectividad de la luz de malla de las redes en la pesquería de tiburones fue analizada en el Pacífico Colombiano por Bustamante (2007), reportándose que en los arrastres camaroneros donde se utilizó una luz de malla de 5.08 cm en la periferia y de 3.81 cm en el copo, se capturaron organismos con una talla media de captura (TMC) de 51.13 cm \pm 13.78 cm; mientras que la pesquería

artesanal utiliza redes con una luz de malla de 9 cm y pescan tiburones con una TMC de $46.66 \text{ cm} \pm 15.12 \text{ cm}$. Así mismo, la pesquería con palangre captura exclusivamente individuos con una TMC de $83.46 \text{ cm} \pm 8.93 \text{ cm}$, debido a la selectividad del anzuelo. Considerando el efecto de la selectividad para la captura de este tiburón, es probable que esta también influya en la pesquería de esta especie de tiburón en el norte del Golfo de California y la costa occidental de Baja California Sur, en donde la captura está dirigida hacia organismos con tallas mayores a 70 cm LT.

7.2 PROPORCIÓN DE SEXOS

En este estudio los machos de *M. henlei*, fueron más frecuentes en las capturas con una proporción de 1.35 M: 1H, en Colombia, Bustamante (2007), reportó que *M. henlei* fue la única especie con mayor dominancia de machos en relación a las hembras con una proporción de 1.4M:0.7H, debido a que los machos se encontraban en zonas más oceánicas en comparación con las hembras distribuidas cerca de la costa, lejos de los arrastres camaróneros.

Un patrón similar se observó en San Lázaro, Baja California Sur, donde los machos son capturados a mayor profundidad y mayor distancia de la costa (>3 millas) que las hembras (<3 millas). Este comportamiento fue observado en *M. schmitti* en la costa oceánica Uruguaya durante el 2004, donde las hembras predominaron a profundidades menores a 50 m, mientras los machos se encontraron a profundidades mayores (Pereyra *et al.*, 2008).

En la zona de Punta Lobos, B.C.S. a pesar de haber registrado más hembras adultas en las capturas, no hubo diferencias significativas (0.89M:1H). Esta proporción posiblemente se deba a la temporada de apareamiento y alumbramientos; como ocurrió con *M. schmitti*, donde los adultos de ambos sexos se registraron en la zona costera, porque prefieren más la zona costera y las aguas más cálidas de primavera y verano, cuando tienen lugar la copula y el nacimiento (Oddone *et al.*, 2007). Lo anterior podría ser corroborado por la presencia de embriones terminales y hembras con huevos uterinos encontrados en las áreas de estudio de este trabajo.

Para las localidades de Punta Lobos y San Lázaro se sugiere realizar muestreos en zonas más profundas a las que no tiene acceso la pesquería artesanal, debido a que se ha reportado en algunos tiburones del género *Mustelus* como *M. lenticulatus* (Massey y Francis, 1989) y *M. schmitti* (Oddone *et al.*, 2007) que la proporción de sexos probablemente se modifica en gran parte por una migración de hembras fuera de la bahía, independientemente del tipo de muestreo.

Los tiburones juveniles solamente se encontraron en la localidad de San Lázaro B.C.S. con una proporción 1.16M:1H, lo cual indica una segregación por estadio de madurez tal y como lo registra Cousseau (1986) para *M. schmitti* quien determinó que esta especie se segrega cuando alcanza la madurez. Asimismo Massa (1998), observó en algunos de los lances con una importante proporción de ejemplares juveniles, indicios de segregación sexual. Es probable que los juveniles de *M. henlei* se encuentren hasta la madurez en la zona costera, ya que se ha observado la presencia de los juveniles de ambos sexos de *M. schmitti* en la costa durante primavera y verano, mientras que los adultos se distribuyen dentro y fuera de la costa, incluso en otoño los adultos dominan las capturas de mar abierto (Oddone *et al.*, 2005).

La proporción de embriones fue 1M:1H como se ha reportado para esta especie por Bustamante (2007) y para algunas especies del género como *M. punctulatus* (Saïdi *et al.*, 2009), *M. lenticulatus* (Francis y Mace, 1980) y *M. schmitti* (Sidders *et al.*, 2005).

7.3 DESCRIPCIÓN MICROSCOPICA DEL APARATO REPRODUCTOR DE LOS MACHOS Y LA GLÁNDULA OVIDUCAL DE LAS HEMBRAS.

7.3.1 MACHOS

En los elasmobranquios se han identificado tres tipos de testículos definidos por su patrón de origen y la propagación de los folículos seminíferos: radial, diamétrico y compuesto (Pratt, 1988). Internamente los testículos de *M. henlei* mostraron un desarrollo de la espermatogénesis del tipo diamétrico característico del orden

Carchariniformes, en el cual los folículos seminíferos se distribuyen desde la zona germinal a través del diámetro de los testículos al extremo opuesto, donde los conductos eferentes recogen los espermatozoides (Pratt, 1988). Este arreglo también fue encontrado en *Centroscymnus coelolepis* y *Centrophorus squamosus* (Girard *et al.*, 2000) y en *Mustelus canis* (Conrath y Musick, 2002),

El desarrollo de los espermatozoides fue observado en *M. henlei* con la tinción Tricrómica de Mallory que presentó mejores contrastes en la distinción de las microestructuras y es comparable al reportado por Conrath y Musick (2002), en donde se utilizó la tinción de Hematoxilina-Eosina. Se observaron espermatogonias y los espermatocitos primarios, quienes por medio de la primera división meiótica reducen su tamaño transformándose en espermatocitos secundarios, seguido de espermátides originadas de la segunda división meiótica, para formar espermatozoides inmaduros sin arreglo los cuales formarán espermatozoides maduros agrupados en paquetes. La zona degenerativa se encontró después de la zona de expulsión de espermatozoides corroborando lo observado por Conrath y Musick (2002) en *M. canis*.

Los espermatozoides maduros son liberados en el epidídimo después de la espermiogénesis (Girard *et al.*, 2000). Los tiburones poseen un par de epidídimos ubicados a lo largo de la columna vertebral a ambos lados de la aorta dorsal (Carrier *et al.*, 2004). Cuando los espermatozoides llegan al epidídimo en *M. henlei* no presentan ningún arreglo, como en *C. squamosus* y *C. coelolepis* (Girard *et al.*, 2000), a diferencia de lo observado en otras especies como el tiburón azul (*P. glauca*), donde se observó un arreglo de los espermatozoides (Carrera-Fernández, 2004).

El epidídimo de un juvenil no presentó muchas circunvoluciones notables, las pocas existentes se encontraban libres de espermatozoides y secreciones, mientras que los adultos si se presentaron una gran cantidad de circunvoluciones con espermatozoides y secreciones, liberadas por células secretoras ubicadas en el

epitelio columnar simple a diferencia del observado en *P. glauca* (Carrera-Fernández, 2004).

En la vesícula de *M. henlei* se evidenció un tipo de espermatozéugmata simple, caracterizado porque las cabezas de los espermatozoides se encuentran insertadas en la matriz cohesiva y las colas se mueven libremente, la vesícula seminal tiene la función de almacenamiento del producto seminal, donde los espermatozoides forman cúmulos, espermatozéugmata o espermatóforos (Wourms, 1977). Aunque existe poca información sobre el tipo de acomodo de espermatozoides de las especies del género *Mustelus*, el acomodo anterior se confirmó por *M. antarcticus*, especie en la cual se describen paquetes de espermatozéugmata disueltos dentro del lumen del esfínter uterino resultado de una reciente copulación (Storrie *et al.*, 2008).

Las clases de madurez macroscópicas son definidas mediante los patrones morfológicos de los gonopterigios, los testículos y conductos espermáticos, aunque la anatomía microscópica de los testículos de cada clase de madurez, dan información adicional (Girard *et al.*, 2000). En este estudio algunos organismos juveniles presentaban espermatozoides como en los adultos, comparable a lo reportado por Teshima (1981) en *M. manazo* y *M. griseus*, donde la espermatogénesis se produce en los testículos inmaduros, por lo que se tuvo que asignar el grado de madurez al análisis microscópico de los conductos espermáticos, de tal forma que si se encontraban espermatozoides en la vesícula seminal se determinaba como adulto, en caso de no presentar espermatozoides se identificó como un juvenil (Carrera-Fernández, 2004; Bejarano-Álvarez *et al.*, 2011 y Yano, 1993).

7.3.2 HEMBRAS

En las hembras de *M. henlei*, las glándulas oviducales se componen de dos mitades similares dorsoventralmente aplanadas rodeadas de tejido conectivo (Knight *et al.*, 1996). Se puede dividir en cuatro zonas morfológicas diferentes de craneal a caudal, estas regiones son la zona club, la zona papilar, la zona “baffle” y las zonas

terminales y muestran diferente afinidad de los colorantes de acuerdo a sus diferentes funciones (Hamlett *et al.*, 1998).

Este estudio se enfocó principalmente en la zona "bafle" y la zona terminal como lo hicieron en *M. antarcticus*, donde los espermatozoides se observaron en los túbulos de almacén de esperma de la zona terminal y en otras regiones del tracto reproductivo en el que el almacenamiento de esperma no se produce (Storrie *et al.*, 2008). Para *M. canis* se reportó que las hembras almacenan el esperma en un tercio de la parte más baja de su glándula oviducal durante todo el año. Confirmando la declaración de Hamlett *et al.* (1998), de que el almacenamiento de esperma que se lleva a cabo durante el año se produce exclusivamente en la zona terminal de *M. canis*.

En las hembras de *M. henlei* el esperma de los túbulos de almacén estuvo alineado lateralmente, a veces incluido en una matriz y sin asociación con el epitelio del túbulo, como lo observó Storrie *et al.* (2008). El epitelio de los túbulos de almacén de esperma se compone por células secretoras y células ciliadas, idéntico a *M. antarcticus* (Storrie *et al.*, 2008) y *M. canis* (Conrath y Musick, 2002). Se asume que las células secretoras son responsables de producir la matriz en la que se encuentran embebidos los espermatozoides y probablemente nutre, soporta y mantiene a los espermatozoides en reposo durante el periodo de almacenamiento (Hamlett, 2002; Hamlett *et al.*, 2002), mientras que las células ciliadas son posiblemente responsables del movimiento de los espermatozoides dentro y fuera de los túbulos de almacén de espermas.

Pratt (1993) revisó el almacenamiento de espermatozoides en hembras de varias especies de elasmobranquios y localizó espermatozoides dentro de la glándula oviducal en tiburones areneros (*Carcharhinus obscurus*), tiburones azules (*Prionace glauca*), tiburones bironche (*Rhizoprionodon terranova*) y tiburones martillo (*Sphyrna lewini*).

Tanto Hamlett *et al.* (1998) como Pratt (1993) determinaron que el esperma almacenado se encuentra en la zona posterior (zona terminal) de la glándula oviducal, no en la zona más anterior (zona "baffle"). Sin embargo los espermatozoides también se observaron en la periferia de la zona "baffle" y en el lumen de la glándula oviducal tanto de *M. henlei* como en *M. antarcticus*, pero no observaron pruebas de mantenimiento de espermatozoides en este último (Storrie *et al.*, 2008), por lo que sugirieron que se trata de hechos fortuitos, como desbordamiento de la zona terminal o espermatozoides en tránsito hasta el lugar de la fecundación (Hamlett *et al.*, 2002).

En este estudio por los resultados obtenidos se propone un nuevo reacomodo de los túbulos de almacén de esperma al menos para *M. henlei*, a diferencia de lo mencionado anteriormente, debido a que se encontraron túbulos de almacén de espermatozoides por todo el borde de la glándula oviducal, algunos conteniendo espermatozoides desde la zona terminal hasta la parte superior de la glándula oviducal. Lo anterior se explica por la sección y los cortes realizados en la glándula oviducal.

La mayoría de los estudios reportan solo dos cortes uno transversal y uno longitudinal, pero para evidenciar la propuesta dada en este estudio, es necesario realizar un tercer corte en las glándulas oviducal, en el que logre obtener una parte anterior y una posterior simétrica que contenga los dos lóbulos, en lugar de obtener un corte simétrico con una mitad derecha e izquierda. En las glándulas oviducal de *M. antarcticus*, debido al corte realizado no se observaron los túbulos que contenían esperma almacenado en la periferia de la zona "baffle", la zona papilar y la zona club (Storrie *et al.*, 2008).

Aunque no se realizó un trabajo enfocado a la fertilización, en la glándula oviducal, se observó esperma liberado en las partes laterales del lumen a la altura de la zona papilar y "baffle", permitiéndoles a los espermatozoides llegar antes de que el oocito sea cubierto por la tercer membrana.

Conrath y Musick, (2002) suponen que los espermatozoides tendrían que subir en la glándula oviducal de la zona terminal a la zona de “baffle” con el fin de fertilizar los oocitos. Se especula que la fertilización sucede por encima de la zona terminal, en la zona “baffle”, el acomodo de los túbulos de almacén de esperma puede apoyar lo anterior.

Los cortes transversales realizados en este estudio evidenciaron un lumen que viaja de un lóbulo de la glándula al otro atravesado en la parte media por el lumen que viaja de la zona club a la zona terminal, esta conexión hace posible el ascenso de los espermatozoides y la liberación del mismo por encima de la zona “baffle” hacia el lumen en el cual más tarde viajará el oocito.

Storrie *et al.*, (2008) encontraron que las zona anterior de la glándula oviducal es responsables de la producción y secreción de los revestimientos terciarios (zona “baffle”), por lo que la fertilización probablemente ocurre anterior a estas zonas, debido a que los espermatozoides no serían capaces de penetrar en los revestimientos terciarios del huevo, lo cual fue apoyado por las observaciones de los espermatozoides en el oviducto de *M. antarcticus*. En este trabajo se coincide en que la fertilización se realiza en una zona anterior a la que produce la tercera membrana y es posible que se lleve a cabo en el paso del oocito por la glándula oviducal y que los espermatozoides son liberados en el lumen de los lóbulos de la glándula oviducal.

En *M. henlei* las hembras inmaduras no contenían almacén de esperma, porque no han sufrido las modificaciones fisiológicas necesarias para preñarse, tales modificaciones incluyen la primera y las subsecuentes ovulaciones, la expansión y las modificaciones macroscópicas y microscópicas de los úteros (Storrie *et al.*, 2008). Estos tiburones tampoco pueden almacenar esperma para fecundaciones posteriores, debido a la falta de desarrollo de la glándula oviducal. En cuanto a la duración del almacén de esperma en hembras maduras se determinó que puede presentarse antes de la primera ovulación y se mantiene hasta antes del parto, presentándose un almacén de aproximadamente 11 meses, comparable al tiempo de

almacén de esperma de *M. canis*, el cual lo almacena durante todo el año con un periodo mínimo de 8 meses; difiere del descrito en *M. antarcticus*, el cual almacena el esperma poco más de 10 meses y hasta dos años.

Esta diferencia se le atribuye al ciclo reproductivo bianual que es característico de esta especie. En hembras de *M. henlei* sin huevos uterinos hubo una mayor cantidad de esperma que en aquellas hembras con huevos uterinos, posiblemente este esperma sea utilizado en la fertilización de los oocitos. El esperma encontrado en las hembras con crías aportó información para determinar su duración, ya que los compartimentos son un obstáculo que no permite el paso de los espermatozoides hacia la glándula, de tal manera que éstos proceden de una copula anterior (Storrie *et al.*, 2008). No se sabe si este esperma es aún viable, se especula que la unión de los espermatozoides en paquetes puede indicar el estado de los mismos, ya que el esperma viejo pierde su capacidad de empaque (Fox, 1956; Van Krey *et al.*, 1981; Bushman *et al.*, 1985; Bakst, 1987; Muñoz *et al.*, 2002).

El destino de los espermatozoides no viables o muertos es desconocido en los condrictios y los períodos de tiempo durante el cual los espermatozoides pueden ser almacenados y cómo su viabilidad, movilidad y fertilidad son mantenidos aún está por ser determinada (Storrie *et al.*, 2008).

7.4 DESCRIPCIÓN A NIVEL MACROSCÓPICO DEL APARATO REPRODUCTOR Y LOS ESTADIOS DE MADUREZ EN AMBOS SEXOS

7.4.1 MACHOS

Los machos externamente presentan un par de gonopterigios e internamente el aparato reproductor está conformado por testículos, conductos eferentes, epidídimo, conductos deferentes y vesícula seminal, todos ellos son estructuras pareadas. Bustamante (2007) reportó un par de gonopterigios y un aparato reproductor similar, este autor comenta que no localizó la vesícula seminal y el órgano epigonal, debido quizás al tamaño de la especie o a que son membranas o tejidos finos. En este trabajo la localización de la vesícula se facilitó por el tamaño de

los organismos, ya que en la costa occidental de Baja California Sur presentan tallas mayores a los reportados en Colombia (Bustamante, 2007), ambos trabajos coinciden en que el órgano epigonal está constituido por un tejido fino, el cual es difícil de identificar.

Las estructuras reproductivas de los machos aumentaron de tamaño con el crecimiento del cuerpo, los más notorios de estos fueron los testículos. Carrier *et al.* (2004) reportaron que en los animales adultos los testículos por lo general varían ampliamente de tamaño durante el año, ya que los testículos se amplían e inflaman durante la temporada de apareamiento. Aunque se apreció un crecimiento del testículo no se lograron observar los cambios temporales en la etapa adulta, quizás por la carencia de muestras en otros meses.

La medida del testículo junto con la medida del gonopterigio puede indicar un estadio de madurez más preciso, con base en lo anterior se determinó que los organismos con los testículos de un color amarillo, con una longitud promedio de 3.9 cm, un grosor menor de 1 cm y que externamente presentan un gonopterigio con una longitud entre 5 y 7 cm, sin rotación, calcificación, apertura del rifiodón y que no excedan o excedan ligeramente el borde de la aleta pélvica, son considerados juveniles. Las tallas para este estadio por lo regular se encontraron por debajo de los 65 cm de LT.

Por otro lado, los machos con testículos de color rosa con un promedio de longitud de 5.5 cm, un grosor de 1.3 cm y además de una zona central altamente irrigada que forma internamente la zona germinal y un gonopterigio mayor a los 7.5 cm., con rotación, apertura del rifiodón, calcificación y en algunos casos liquido seminal, se consideraran adultos, caracterizados por tallas mayores de los 61 cm de LT. Lo anterior difiere con lo registrado Pérez-Jiménez (2006), quien reportó los especímenes menores a 54.5 cm LT, todos tenían gonopterigios no calcificado por lo que se consideraron como inmaduros, mientras que los machos mayores a 55 cm LT con gonopterigios calcificados de 6.9 a 7.4 cm y testículos entre 4.0 y 5.0 cm eran

maduros. En ambos trabajos la relación del desarrollo, tanto de los testículos como de los gonopterigios presentó una relación positiva con respecto a la longitud total de los organismos.

7.4.2 HEMBRAS

EL aparato reproductor de las hembras de *Mustelus henlei* al igual que otros tiburones está compuesto por un solo ovario en el lado derecho sostenido por un meso ovario que llega al oviducto pero sin continuarse con éste (Wourms, 1977). Presenta una entrada llamada ostium en la parte anterior de la tráquea que se bifurca en dos oviductos los cuales llegan a un par de glándulas oviducales, las cuales se continúan en las parte posterior del oviducto y desembocan cada uno en un útero, la composición anterior del aparato reproductor de las hembras de esta especie también fue descrito por Bustamante (2007), y coincide en la dificultad para ubicar el órgano epigonal de esta especie.

En el presente estudio se observó el ovario con dos tipos de desarrollo, el primero con oocitos de color blanco lechoso de 0.05 a 0.3 cm de diámetro y el segundo presentó oocitos de 1.1 cm de diámetro o en desarrollo con una coloración amarilla debido al vitelo. La apariencia de los ovarios varía con la condición sexual de la muestra, en las hembras inmaduras son pequeños y sólo son visibles como una tira delgada de tejido con granulación (oocitos pequeños); mientras que en las hembras maduras el ovario es grande y de color amarillo brillante, debido a los oocitos en vitelogénesis en la superficie, coincidiendo con lo reportado por Carrier *et al.* (2004).

Con base en lo anterior, a las hembras del primer tipo de ovario se les considero juveniles y las del segundo tipo se ubicaron como hembras maduras. El intervalo de los oocitos de las hembras inmaduras en el norte del Golfo de California fueron 0.2 cm de diámetro y para las maduras los oocitos presentaron un diámetro mayor de 0.8 y hasta 1.2 cm, en un intervalo similar al encontrado en la costa occidental de Baja California Sur.

Pérez-Jiménez (2006) reportó para glándulas oviducuales entre 0.25 y 0.65 cm de ancho para hembras menores a 48 cm LT y crecieron entre 0.9 y 2 cm en hembras con longitudes de 63 cm LT. En hembras grávidas (N= 219) las glándulas oviducuales midieron entre 0.85 y 2.05 cm de ancho y en hembras maduras no grávidas midieron entre 1.1 y 1.85 cm de ancho.

Un tamaño semejante en la glándula oviducal de las hembras juveniles de la costa occidental de Baja California Sur fue observado (0.2 cm), pero esta talla fue encontrada hasta los 59 cm antes de crecer abruptamente alcanzando una glándula oviducal con un tamaño de hasta de 1.3 a partir de los 67 cm; en cambio en las hembras adultas si se observó un intervalo similar en el ancho de la glándula oviducal de 1 a 2.5 cm. a pesar de que no se conoce con exactitud a que se deba la amplitud de este intervalo, posiblemente se deba a que la glándula oviducal aumenta aproximadamente al doble de su tamaño en inactividad inmediatamente después de la fecundación y durante el paso del huevo (Carrier *et al.*, 2004).

Las funciones básicas de la glándula oviducal en la producción de los recubrimientos del huevo, incluyen la gelatina de huevo, la producción de la cubierta terciaria del huevo, el almacenamiento de los espermatozoides y la fertilización (Hamlett *et al.*, 1998; Hamlett y Koob, 1999). Las funciones anteriores fueron corroboradas en este estudio, la primera función se presentó solamente en huevos uterinos sin fijar observando una parte transparente donde flota el oocito fertilizado, en los huevos uterinos fijados esta parte transparente se tiñe de color amarillo.

La formación y liberación de la cubierta terciaria solamente se puede observar mediante el estudio histológico, debido a que estos procesos se realizan dentro del lumen central de la glándula oviducal. Una vez formada la tercera membrana fue posible observarla como una delgada capa de color verde que recubría y excedía el oocito junto con la gelatina en huevos frescos y fijados, esta membrana se mantiene durante todo el desarrollo embrionario albergando a el embrión, por lo que llega a ser

muy larga. Esto también se ha observado en otros tiburones vivíparos como *M. lunulatus* y *M. californicus* (Pérez-Jiménez y Sosa-Nishizaki, 2010), *Prionace glauca* (Carrera-Fernández, 2004), *Sphyrna lewini* (Bejarano-Álvarez *et al.*, 2011) y *Rhizoprionodon longurio* (Mejía-Salazar, 2007).

La parte posterior de cada oviducto se ensancha y forma el útero, donde los embriones de tiburón se desarrollarán (Carrier *et al.*, 2004). Estas estructuras al igual que las anteriores presentan características particulares de acuerdo al estadio en el que se encuentran, en las hembras juveniles los úteros son hilos delgados de color blanco lechoso ≤ 0.2 cm, mientras que las hembras maduras el útero alcanza tamaños de 0.8 a 2.5 cm de ancho y las hembras grávidas presentan ovarios de un tamaño mayor a 2.6 alcanzado hasta 7.7 cm de amplitud. El desarrollo de estos órganos coincidió con lo observado por Pérez-Jiménez (2006), y Bustamante (2007), para esta especie, observando que la diferencia de tamaños de los úteros en las hembras maduras, dependen del estado reproductivo en el que se encuentren.

Estas estructuras (la glándula oviducal, el ovario y el útero) presentaron una correlación positiva con respecto a longitud total de la hembra, confirmándose lo reportado para esta especie (Pérez-Jiménez, 2006; Bustamante, 2007). El ancho de la glándula oviducal y el útero se podrían considerar como un buen indicador de madurez. Es importante considerar que el tamaño de los úteros así como la condición de los oocitos, están relacionados principalmente con el estado reproductivo de la hembra.

7.5 CICLO REPRODUCTIVO

El ciclo ovárico inicia a partir de junio y julio, caracterizado por la presencia de los oocitos más pequeños; mientras que los de mayor tamaño se encuentran en abril y mayo. Con base en la presencia de los oocitos de mayor diámetro, se observó que la ovulación ocurre en los meses de mayo y junio (2 meses), iniciando el periodo de gestación, el cual se determinó mediante la presencia de huevos uterinos

encontrados en los mismos meses y los embriones más grandes, que se presentaron en el mes de abril, indicando un periodo de gestación de 11 meses.

Se observó un ciclo reproductivo anual con la mayor actividad en los meses de abril, mayo y junio, debido a que en estos meses se realiza la expulsión de crías, apareamiento, ovulación y fertilización. El ciclo ovárico y el periodo de gestación de *M. henlei* es comparable al reportado en *M. canis*, en el cual tanto los oocitos como los embriones se desarrollan simultáneamente durante el año, con la presencia de los oocitos y los embriones más pequeños en julio, mientras que las tallas más grandes de ambos se encuentran en los meses de mayo, presentándose un ciclo reproductivo anual (Conrath y Musick, 2002).

Debido a las similitudes presentadas entre *M. canis* y *M. henlei*, es posible que en esta última especie el tiempo transcurrido entre el parto y el apareamiento sea de corta duración como se considera que sucede en *M. canis*, ya que con todos estos hechos ocurridos a finales de mayo o principios de junio, quizás solo transcurran de unas horas a unas pocas semanas, entre la expulsión de crías y el apareamiento (Conrath y Musick, 2002).

Con respecto a la misma especie tanto el periodo de gestación como la ovulación varían con respecto a lo observado en el norte del Golfo de California con 10 meses de gestación y 3 de ovulación (Pérez-Jiménez y Sosa-Nishizaki, 2008), y aunque concuerdan con el tiempo de duración del periodo de gestación y ovulación reportado para esta especie en la zona de Colombia, no se coincide con los meses en los que este se lleva a cabo, ya que el alumbramiento se lleva a cabo durante el mes de noviembre y la ovulación de diciembre a enero.

Bustamante (2007), mencionó que las diferencias en los meses durante los cuales se lleva a cabo la fertilización y ovulación de este tiburón en Colombia con respecto al norte del Golfo de California, puede deberse a la dinámica del ambiente con patrones disimiles a los presentados en su zona de estudio. Lo anterior podría

corroborar que las variaciones en el ciclo reproductivo de *M. henlei* entre la costa occidental de Baja California Sur y el norte del Golfo de California se deben a la influencia de los factores físicos de cada zona, como por ejemplo, la temporalidad de la Corriente de California que afecta principalmente la zona de estudio de este trabajo.

7.6 DESARROLLO EMBRIONARIO

El desarrollo embrionario es rápido y comienza después de la fertilización (Parsons, 1983), por tal motivo los huevos uterinos dentro de los elasmobranquios son considerados como el inicio del desarrollo embrionario (fase 0), basándose en que cada oocito ovulado que llega al útero ya fue fertilizado y colocado dentro de la tercer membrana, la cual persiste hasta el final del desarrollo y aunque no es visible un embrión como tal, probablemente ya contengan un blastodisco desarrollándose hasta formar un embrión en las fases siguientes, como lo observaron en la fase 0 del desarrollo embrionario de *Isurus oxyrinchus* (Shoou-Jeng y Hua-Hsun, 2005).

El embrión es de color blanco y se encuentra unido al saco vitelino por un conducto vitelino (fase 1), presenta cuatro pares de aperturas faríngeas definidas a ambos lados de la región cefálica del embrión. La primera corresponderá al futuro espiráculo o hiomandibular y la otras tres corresponden a las hendiduras branquiales o hiobranquial, posteriormente en el desarrollo de este estado aparecen y se abren las dos últimas aperturas faríngeas completando el set de cinco pares, parecido al desarrollo del embrión de pintarroja común (*Schroederichthys chilensis*), solo que en este caso son 6 pares de hendiduras branquiales (Hernández *et al.*, 2005).

Los embriones de *M. henlei* en la fase 2 son característicos, ya que presenta filamentos branquiales externos, los ojos no se encuentran bien pigmentados, prestan los primordios de las aletas y continúa alimentándose de vitelo, aunque no coincide con el número de la fase del desarrollo del tiburón azul (*Prionace glauca*) el cual es un vivíparo placentado. Si se observa en la fase 1 de *P. glauca*, los embriones presentan filamentos branquiales externos expuestos y las aletas

pectorales, pélvicas, primera y segunda aleta dorsal, la aleta anal y la aleta caudal heterocerca, piel delgada y sin coloración (Mendoza-Vargas, 2009).

A pesar de que este tiburón comienza alimentándose de vitelo difiere de *M. henlei* en que a una corta longitud dentro de esta etapa comienza a formar el cordón umbilical y la placenta, la diferencia antes señalada quizá se deba al tamaño que presenta cada embrión o tiburón. Con respecto al modo reproductivo se observó que no existen diferencias, ya que en el desarrollo de *Squatina californica* un tiburón vivíparo lecito trófico, presenta la misma fase en la cual el embrión presenta filamentos branquiales emergiendo de los arcos branquiales completamente formados.

La cápsula óptica es notoria, pero aún no presenta color en la pupila y también es posible observar la diferenciación de la boca ubicada en posición subterminal pero sin la presencia de dientes; los primordios de las aletas pectorales y pélvicas son visibles y la nutrición del embrión sigue siendo a través del saco vitelino externo (Sánchez-Reyes, 2004).

En el desarrollo de los embriones de la pintarroja común (*S. chilensis*) el cual es un tiburón ovíparo, aunque no coincidió con el número otorgado para esta fase debido a que los embriones con estas características se encuentran ubicados en la fase tres; se observó que aparecen pequeños y delgados filamentos branquiales ricamente irrigados desde los espiráculos y las hendiduras branquiales comienzan a crecer durante el desarrollo en este estado y al igual que el ejemplo anterior el embrión está unido al saco vitelino por un delgado pedúnculo vitelino (Hernández *et al.*, 2005).

Los embriones de *M. henlei* de la fase tres fueron asignados por presentar notables características como, la formación de las aletas, el rostrum alargado, la ubicación del espiráculo más cerca del ojo que de las branquias (característica del género), la presencia de gonopterigios en desarrollo temprano en machos,

principalmente la ausencia de filamentos branquiales externos, reducción de vitelo y la ausencia de pigmentación en la piel.

En el tiburón azul (*P. glauca*) se coincidió en la ausencia de los filamentos branquiales externos y la presencia de piel delgada sin coloración (Mendoza-Vargas, 2009), esta fase donde los embriones de *M. henlei* comienzan a formar la placenta, marca la diferencia con el tiburón *P. glauca* que lo hace en una fase anterior (Mendoza-Vargas, 2009).

Con base en lo antes expuesto se puede decir que cada especie comienza a presentar cambios particulares, en la pintarroja común aunque no se menciona el momento exacto en el que el embrión pierde los filamentos branquiales externos, se coincide en que es la última fase antes de adquirir la forma final y en presentar la formación de todas las aletas, se diferencia por el inicio de la formación de las espinas caudales en los pliegues ventral y dorsal (Hernández *et al.*, 2005).

En esta fase el tiburón angelito (*S. californica*) al igual que *M. henlei*, muestra los gonopterigios visibles poco desarrollados, las aletas se encuentran completamente desarrolladas y el espiráculo formado. Es el tiburón con mayores diferencias en la fase tres, porque conserva los filamento branquiales externos hasta la última fase, las aletas pectorales son pequeñas con respecto al tamaño de la cabeza indicando que falta una fase para completar su desarrollo morfológico, los espiráculos son visibles en posición dorsal con respecto a la cabeza, la cual comienza a presentar una forma dorso ventralmente deprimida con respecto a la fase anterior, la boca sigue estando en posición subterminal y pueden observarse dientes pequeños, (Sánchez-Reyes, 2004).

La permanencia de los filamentos braquiales externos en la penúltima fase también fue observada en el tiburón mako (*I. oxyrinchus*) (Shoou-Jeng y Hua-Hsun, 2005), demostrando que en los vivíparos placentados como *M. henlei* la posibilidad de no ser necesarios debido a que todos los requerimientos de las últimas fases son

proporcionados a través de la placenta, mientras que en las especies oofágicas y lecitotróficas donde en algún momento se detiene el suministro de nutrientes, se necesite absorber algún nutriente inmerso en líquido intrauterino.

La fase cuatro del desarrollo embrionario de *M. henlei* presentó organismos que prácticamente iguales a los adultos, estos embriones se encontraron envueltos en su tercer membrana y dentro de compartimentos uterinos que los mantenía aislados, algunos tiburones como el tiburón azul en su fase terminal no se encuentra dentro de su tercer membrana. Tanto *M. henlei* como *P. glauca* terminan su desarrollo alimentados por la madre mediante la placenta y el cordón umbilical simple (Carrera-Fernández, 2004).

En *Rhizoprionodon longurio* se presentan compartimentos uterinos desde el inicio y hasta el final del desarrollo embrionario, junto con un cordón umbilical y una placenta similar a *M. henlei*, pero con la diferencia de que *R. longurio* tiene un cordón umbilical con apendicularia (Mejía-Salazar, 2007). La última fase del desarrollo embrionario no se pudo comparar con las especies de tiburones mencionados debido a que las fases terminales de cada uno presentan características particulares de desarrollo influenciadas por el modo reproductivo, por lo cual *M. henlei* se comparó con modos de reproducción semejantes, tiburones vivíparos placentados.

7.7 FECUNDIDAD

La fecundidad estimada se obtuvo mediante el análisis de 37 hembras con huevos uterinos en mayo y junio, y 17 hembras que presentaron embriones durante marzo y abril; en este último mes los embriones registraron el mayor tamaño que fue de 26.5 cm, lo que indicó la proximidad del nacimiento debido a que la talla de nacimiento reportada fue de 28 cm para el norte del Golfo de California (Pérez-Jiménez y Sosa-Nishizaki, 2008).

A pesar de no coincidir con la fecundidad encontrada para esta especie en el norte del Golfo de California de 21 crías, el número de 15 embriones así como su

moda (10 embriones) está dentro del intervalo presentado por Pérez-Jiménez y Sosa-Nishizaki (2008), con un número de 5 a 15 embriones por hembra de acuerdo a su promedio y desviación estándar. También se asemeja a la fecundidad reportada por Ebert (2003), de 10 embriones por hembra en California.

Mediante el conteo de huevos uterinos se obtuvo una fecundidad de 1 a 18 por hembra con una moda de 6 huevos uterinos, lo anterior se explica por la posibilidad de que la mayoría de las hembras se encontraban en el proceso de ovulación durante los meses de mayo y junio. El mayor número de oocitos indicó que la fecundidad de *M. henlei* fue alta, encontrándose entre 15 y 21 embriones de acuerdo a lo citado anteriormente. Es necesario tener en cuenta que la fertilización de los oocitos en el tiburón *M. henlei* se realiza simultáneamente en ambas glándulas oviduciales dando un número pareado de huevos uterinos. La mayor fecundidad de huevos uterinos con respecto a los embriones, quizás se deba a que las hembras con embriones fueron principalmente capturadas durante el mes de alumbramiento.

Generalmente se ovulan dos oocitos al mismo tiempo, los cuales entran en cada oviducto (Carrier *et al.*, 2004). Se debe considerar lo anterior al determinar la fecundidad utilizando los huevos uterinos, ya que los números impares en huevos uterinos posiblemente puedan deberse a causas externas como el manejo de la muestra, puesto que en algunas ocasiones los úteros al ser extraídos y separados de la cloaca pierden fuerza para retener a los huevos uterinos.

Aunque no se hizo una relación entre la longitud de la hembra y el número de crías, se observó generalmente una mayor cantidad de embriones en las hembras de mayor tamaño, como ha sido reportado para *M. henlei* (Bustamante, 2007), y para otras especies del género *Mustelus* como *M. schmitti* (Siider *et al.*, 2005), *M. lunulatus* y *M. californicus* (Pérez-Jiménez y Sosa-Nishizaki, 2010).

La diferencia de la fecundidad entre zonas distintas para organismos de la misma especie del género *Mustelus* también ha sido documentada, para *M. manazo*

se reportó que los organismos más norteños presentaban una fecundidad menor a la registrada en hembras más sureñas, lo cual concuerda con los valores de la fecundidad obtenida en el norte del Golfo de California (Pérez-Jiménez y Sosa-Nishizaki, 2008), respecto a la fecundidad de los tiburones en California (Ebert, 2003). Lo anterior también aplica a la fecundidad de este tiburón en la costa occidental de B.C.S. con respecto a California (Ebert, 2003), pero se descarta que el aumento de la fecundidad para esta especie este influenciado por una tendencia latitudinal, debido a que este patrón no concuerda entre la zona del norte del Golfo de California y la costa occidental de Baja California Sur.

Posiblemente estas variaciones se expliquen por factores ambientales como: las características de la zona y la disponibilidad de alimento. El aporte suficiente de alimento les permite a las hembras disponer de más recursos para incrementar el número de embriones. Lo anterior está apoyado por Siider *et al.* (2005), quienes señalaron que las hembras de *M. schmitti* de mayor tamaño invierten sus recursos en tener un mayor número de crías y no en embriones de mayor tamaño. Por otro lado, las características en la zona del Norte del Golfo de California pueden aportarles a estos tiburones una influencia ambiental particular y tener atributos únicos (temperatura, salinidad, etc.) como se observó en *M. antarcticus* el cual presenta una biología reproductiva dependiente de las diferencias ambientales específicas de cada región.

7.8 TALLA DE MADUREZ L_{50} PARA MACHOS Y HEMBRAS

En los tiburones de la costa occidental de Baja California Sur se encontró una talla de madurez L_{50} para los machos de 64 cm LT y en las hembras de 68 cm LT, las cuales fueron mayores a las tallas reportadas en el norte del Golfo de California, de 54 cm LT para machos y de 58 cm LT para hembras (Pérez-Jiménez, datos sin publicar).

La talla de madurez y la edad pueden variar dentro de una misma especie (Saborido y Junquera, 2003), debido a dos factores, la variación espacial y la

variación en el método aplicado. La variación espacial, se refiere al hecho de que la población de una misma especie pueden presentar diferentes valores en distintas áreas de su distribución (Saborido y Junquera, 2003).

En California, se presenta un ambiente parecido a la zona del presente estudio, y se reportaron que las hembras se encuentran maduras después de los 63 cm LT y los machos por encima de 66 cm LT (Hopkin y Cech, 2003), aproximándose más a las tallas encontradas en *M. henlei* de la costa occidental de Baja California Sur, y mayores a las registradas en el norte del Golfo de California.

El segundo factor se refiere a los distintos modelos con los que se puede obtener la talla de madurez L_{50} de una misma población de datos, por lo cual en este trabajo se utilizó el que más se aproxima a lo observado en las características morfológicas externas e internas del aparato reproductor. Girard *et al.* (2000), argumentaron que las clases de madurez macroscópicas se han definido mediante patrones morfológicos de los gonopterigios, testículos y conductos espermáticos, pero la anatomía microscópica de los testículos de cada clase de madurez, aporta una información adicional.

El objetivo de este estudio fue aportar un parámetro de talla de madurez L_{50} que puedan ser comparable y aplicable en estudios próximos, tanto de pesquería como demografía. Girard *et al.* (2000), no determinaron con claridad cuál fue la causa de la diferencia de tallas de madurez en *M. punctulatus*, y sugieren que no debe ser ignorado el efecto de la pesca debido a que la presión de la misma en el Golfo de Gabes (Mar Mediterráneo) propicie que los tamaños máximos hayan disminuido desde 1977.

La talla de madurez en las hembras de *M. henlei* fue mayor a la de los machos. Este dimorfismo sexual en talla de primera madurez y en tamaño máximo ha sido observado en *M. punctulatus* (Saïdi *et al.*, 2009), y es común en las especies

del género *Mustelus* (Francis y Mace, 1980; Yamaguchi *et al.*, 1997; Conrath y Musick, 2002; Oddone *et al.*, 2005).

En el presente estudio se observó que los machos son más abundantes en las tallas ≤ 80 cm LT, mientras que las hembras son más abundantes en tallas ≥ 80 cm LT. En *M. henlei* capturados en el norte del Golfo de California, los incrementos en longitud fueron mayores en los machos que en hembras durante los primeros 3 años de vida, observándose lo contrario a partir de los 4 años de edad (Méndez-Loeza, 2008).

Los machos crecieron en promedio 1.5 cm más que las hembras durante los primeros 3 años de vida y alcanzaron el 71% de la L_{∞} , mientras que las hembras alcanzaron el 54% (Méndez-Loeza, 2008), por lo que las hembras maduran a mayores tallas. De acuerdo con Yudin y Cailliet (1990), *M. henlei* es una especie de vida corta (edad máxima 13 años), que alcanza la madurez temprana más rápido (2-3 años) que otras especies de tiburones, lo que resulta en una mayor capacidad de recuperación de la presión de pesca (Smith *et al.*, 1998), por lo que no se descarta la posibilidad de que *Mustelus henlei* sea una especie con mayores probabilidades de mantenerse al aplicarse un adecuado plan de manejo, como se ha realizado con *M. antarcticus* en las costas australianas.

7.9 POSIBLES FACTORES QUE MODIFICAN LOS PARAMETROS REPRODUCTIVOS.

Los tiburones *M. henlei* de la costa occidental de B.C.S. del presente estudio tienen parámetros diferentes a los reportados en el norte del Golfo de California ya que son mas grandes (alcanzando tallas de hasta 104 cm); la talla de madurez es mayor y la fecundidad es menor comparada con los parámetros reproductivos de esta especie en el norte del Golfo de California.

Al respecto Lenanton *et al.* (1990) encontró diferencias en los parámetros reproductivos de *M. antarcticus* en el sur de Australia y sugirió que las diferencias

encontradas podrían ser por dos factores, uno por las diferencias ambientales que son específicas para ciertas regiones y el segundo debido a diferencias en las distribuciones de probables subpoblaciones de esta especie.

Así mismo Yamaguchi *et al.* (2009) reportaron en *M. manazo*, que las poblaciones que habitan aguas más cálidas presentan tallas menores, que maduran a menor longitud y presentan una mayor fecundidad, contrario a los organismos que habitan aguas más frías. En este sentido, las diferencias encontradas en el presente estudio podrían ser debido al efecto de la temperatura del agua ya que en la costa occidental de B.C.S. la temperatura superficial es más fría con respecto a la reportada en el alto Golfo de California (véase anexo).

Además debido a la distancia entre la costa occidental de B.C.S. y el norte del Golfo de California, podrían ser subpoblaciones diferentes, por ello la diferencia en los patrones reproductivos; sin embargo no existen estudios genéticos que respalden la existencia de subpoblaciones en esta especie. Por lo cual Pérez-Jiménez (2006) sugiere que la población de *M. henlei* del norte del golfo de California es una población aislada con respecto a la población de California.

Tabla 2. Comparación de parámetros reproductivos de *M. henlei*

PARÁMETROS REPRODUCTIVOS	COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR	NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA[✕]
CICLO REPRODUCTIVO	ANUAL	ANUAL
PERIODO DE GESTACIÓN	11 MESES	10 MESES
PERIODO DE OVULACIÓN	MAYO Y JUNIO	(m) MARZO A (m) JUNIO
PERIODO DE ALUMBRAMIENTO	ABRIL Y MAYO	(u) ENERO A (u) ABRIL
FECUNDIDAD	1-18	1-21 CRIAS
TALLA DE MADUREZ L₅₀ DE MACHOS	64 CM LT	54 CM LT
TALLA DE MADUREZ L₅₀ DE HEMBRAS	68 CM LT	58 CM LT

[✕]Pérez-Jiménez y Sosa-Nishizaki, 2008. Mediados (M) y últimos (U).

8. CONCLUSIONES

El tiburón *Mustelus henlei* está presente estacionalmente en la costa Occidental de Baja California Sur, en la temporada de primavera y verano. Las tallas más abundantes para ambos sexos están entre 70-79 cm de LT.

En la pesquería artesanal del tiburón *M. henlei* en San Lázaro la proporción de sexos fue de 2.7 M: 1H y en Punta Lobos de 0.89M: 1H.

El ciclo reproductivo de *M. henlei* es anual, presentándose de manera simultánea el ciclo ovárico y el periodo de gestación. Su mayor actividad sucede durante los meses de abril, mayo y junio, periodo en que se realiza el nacimiento de las crías, el apareamiento y la fecundación.

Presenta una fecundidad de 1 a 18 embriones, con una moda de 10 embriones por hembra. Con base en la morfología externa de los embriones se identificaron cuatro fases con características particulares que representan el desarrollo embrionario de *M. henlei*.

Las hembras almacenan esperma en la glándula oviducal desde los 66 cm de LT.

Los machos presentan un desarrollo de la espermatogénesis de tipo diamétrico y un acomodo de los espermatozoides de tipo espermatozeugmata de una sola capa.

La correlación del gonopterigio, el testículo en los machos y la glándula oviducal en hembras con respecto a la LT son indicadores adecuados de madurez; mientras que el tamaño del útero y el diámetro de los oocitos dependen del estado en el que se encuentre la hembra y la temporada de reproducción.

La talla de madurez L_{50} para los machos de *M. henlei* fue de 64 cm y para las hembras de 68 cm.

Los parámetros reproductivos de los organismos capturados en la costa occidental de Baja California Sur mostraron diferencias con respecto a esta especie de tiburón en el norte del Golfo de California.

9. RECOMENDACIONES

Debido a que el tiburón *M. henlei* es un recurso pesquero importante para la costa occidental de Baja California, es necesario dar continuidad a las investigaciones mediante los estudios genéticos entre poblaciones y la aplicación de estudios demográficos y revisar los registros de esta especie en otro tipo de pesquerías, como la pesquería de mediana altura o en los arrastres camaroneros. Estas acciones permitirán incluir la distribución de esta especie y posiblemente su captura durante todo el año.

Se recomienda hacer el análisis histológico detallado de la glándula oviducal y aplicar otras técnicas de tinción e histoquímicas en cortes finos en un eje sagital sugerido en este estudio, para encontrar indicadores de la funcionalidad de los túbulos de almacén de esperma observados y de la fisiología de la glándula oviducal. En caso de obtener muestras anuales se recomienda realizar el estudio histológico preciso de los testículos, midiendo la variabilidad en la abundancia de espermatozoides y confirmar la temporalidad del almacén de esperma en la glándula oviducal de las hembras.

M. henlei es un recurso pesquero importante en la pesquería de la costa occidental de B.C.S., por lo que se recomienda la siguiente medida para el manejo sustentable de esta pesquerías, se recomienda que la actividad pesquera incida sobre los organismos con tallas mayores a 70 cm LT, para que puedan reproducirse al menos una vez en su vida. Así mismo, suspender las capturas de la especie, durante los meses de abril y mayo; debido al periodo de nacimiento, alumbramiento y periodo de apareamiento.

10. LITERATURA CITADA

Aasen O. 1966. Blahaien, *Prionace glauca* (Linnaeus) 1758. Fisken Havet. 1:1-16.

Álvarez-del Villar J. 1978. Los Cordados. Origen, evolución y hábitos de los vertebrados. Ed. CECSA. México D. F. 372pp.

Anislado V. y C. Robinson 2001. Edad y crecimiento del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith 1834) en el Pacífico central de México. Ciencias Marinas. 27(4): 501–520.

Bakst M. R. 1987. Anatomical basis of sperm storage in the avian oviduct. Scanning Microsc 1:1257–1266.

Bejarano-Álvarez M., F. Galván-Magaña y R. I. Ochoa-Báez 2011. Reproductive biology of the scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* (Chondrichthyes: Sphyrnidae) off south-west Mexico. Aqua, International Journal of Ichthyology. vol. 17 no. 1. 11-22.

Bonfil R. 1997. Status of shark resources in the southern Gulf of Mexico and Caribbean: Implications for management. Fisheries Research. 29(2): 101–117.

Bonfil, R. 1994. Overview of world elasmobranch fisheries. Roma: Food and Agriculture Organization, FAO Fisheries Technical Paper, No. 341. Roma. 119p.

Bushman A. F., H.P. Van Krey, D.M. Denbow y P.B. Siegel. 1985. Effect of ovulatory cycle on oviductal sperm storage in the domestic fowl. Theriogenology 23:473–480.

Bustamante D. C. C. 2007. Análisis histórico del recurso tiburón y bases biológico-pesqueras del Tollo vieja (Chondrichthyes Triakidae) *Mustelus henlei* (Gill, 1863)

capturado en la pesca camaronera y artesanal en el puerto de Buenaventura, Pacífico Colombiano. Tesis de licenciatura. Universidad Jorge Tadeo Lozano Facultades de Ciencias Marinas.Colombia. 169 pp.

Carrera-Fernández M. 2004. Biología reproductiva del tiburón azul *Prionace glauca* (linnaeus, 1758) en la costa Occidental de Baja California Sur. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN). Tesis de Maestría en Ciencias. México. 67 pp.

Carrier J. C., L. Harold, Jr. Pratt y J. I. Castro. 2004. Reproductive Biology of Elasmobranchs. In Carrier J.C., J.A. Musick & M.R. Heithaus. 2004. Biology of sharks and their relatives. CRC Press, Florida, 595 pp.

Castro- Aguirre J. L., A. Antuna -Mendiola, A. F. González- Acosta y J. De la Cruz- Agüero. 2005. *Mustelus albiginnis* sp. nov. (Chondrichthyes: Carcharhiniformes: Triakidae) de la costa suroccidental de Baja California Sur, México. Hidrobiológica, 15(2 Especial): 123-130 p.

Castro J. 1993. The shark nursery of Bulls Bay, South Carolina, with a review of the shark nurseries of the southeastern coast of the United States. Environmental Biology of Fishes. 38: 37–48.

Castro J. I. 1996. The Sharks of North American Waters. Texas A. & M. University Press., College Station. Segunda Edición. Texas, USA. 180 pp.

Clark E. y K. Von Schmidt. 1965. Sharks of Central Gulf coast of Florida. Bulletin of Marine Science. 15:13-83 p.

Compagno L. J.1984. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2. Carcharhiniformes. FAO fisheries synopsis, (125) 4: 251-655 p.

- Compagno L. J., F. Krupp y W. Schneider. 1995. Tiburones. En Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro - oriental. Roma. Volumen II. Vertebrados - Parte 1. 730-743 pp.
- Conrath C. L. y J. A. Musick. 2002. Reproductive biology of the smooth dogfish, *Mustelus canis*, in the northwest Atlantic Ocean. E.U.A. Environmental Biology of Fishes 64: 367–377.
- Cortés F. 2007. Sustentabilidad de la explotación del gatuzo, *Mustelus schmitti*, en el ecosistema costero bonaerense (34-42°S). Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Argentina. 37pp.
- Cousseau, B. 1986. Estudios biológicos sobre peces costeros con datos de dos campañas de investigación realizadas en 1981. VI. El gatuzo (*Mustelus schmitti*). Publicaciones de la Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo. v.1, n. 1, p. 60-65.
- Daniel, W. W. 2002. Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud. 4ª. Edición. Editorial Limusa. México. 755pp.
- Deleon I. R. 1970. Manual de laboratorio de histología. 2da reimpresión. México.
- Dood J. M. 1983. Reproduction in cartilaginous fishes (Chondrichthyes). En: Fish Physiology. Hoar, W. S., D. J. Randall y E. M. Donalson. (ed.). Academic Press, Inc. 9A:31-95
- Ebert D. A. 2003. Sharks, rays, and chimaeras of California. University of California Press, Berkeley, California, USA. 284 pp.

- Fox W. 1956. Seminal receptacles in snakes. *The Anatomical Record* 124:519-539.
- Francis M. y J. D. Stevens, 2000. Reproduction, embryonic development, and growth of the porbeagle shark *Lamna nasus*, in the southwest Pacific Ocean. *Fishery Bulletin*. 98: 41-63.
- Francis M.P. y J.T. Mace. 1980. Reproductive biology of *Mustelus lenticulatus* from Kaikoura and Nelson. *New Zealand Journal of Marine Freshwater Research.*, 14: 303-311.
- Froese R. y D. Pauly. 2012. Editors, FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (02/2012).
- Gaertner D. y F. Laloe. 1986. Etude biometrique de la taille a'premier maturité sexuelle de *Geryon maritae*, Maning et Holthuis, 1981 de Senegal. *Oceanologica Acta*. Vol. 9(4):479-487.
- Galíndez E. J., M. C. Díaz-Andrade, A. C. Moya y S. Estecondo, 2010. Morphological changes in the pregnant uterus of the smooth hound dogfish *Mustelus schmitti* springer, 1939 (Gatuzo) (Condriichthyes, Triakidae). *Microscopic study and phylogenetic reproductive implications*. *International Journal of Morphology*. 28(4):1003-1010.
- Galván-Magaña F. 2009. La pesquería de tiburones en Baja California Sur. En Urciaga G.J., M. L. F. Beltrán & B.D. Lluch. (editor) *Recursos marinos y servicios ambientales en el desarrollo regional*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). México, 351 p.

- Girard M., P. Rivalan y G. Siquin. 2000. Testis and sperm morphology in two deep-water squaloid sharks, *Centroscymnus coelolepis* and *Centrophorus squamosus*. *Journal of Fish Biology* 57: 1575–1589.
- Haeseker S. L. y J. J. Jr. Cech. 1993. Food habits of the brown smoothhound shark (*Mustelus henlei*) from two sites in Tomales Bay. *California Fish and Game* 79, 89–95.
- Ham A.W. y H. D. Cormak. 1986. *Tratado de Histología*. Ed. Interamericana. Octava edición. México. 1079 pp.
- Hamlett W. C. y T. J. Koob. 1999. Female reproductive system. In: Hamlett W. C. (editor) *Sharks, Skates and Rays: The Biology of Elasmobranch Fishes*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press. pp 398–443.
- Hamlett W. C. 2002. Uterine epithelial–sperm interaction, endometrial cycle and sperm storage in the terminal zone of the oviducal gland in the placental smoothhound, *Mustelus canis*. *Journal of Experimental Zoology*. 292:129–144.
- Hamlett W. C., D.C. Knight, T.J. Koob, M. Jezior, T. Luong, T. Rzycki, N. Brunette y M. K. Hysell. 1998. Survey of oviducal gland structure and function in elasmobranchs. *Journal of Experimental Zoology*. 282:399–420.
- Hamlett, W. C. y Koob, T. 1999. Female reproductive system. Pp. 398-443. In W. C. Hamlett (ed.), *Sharks, Skates and Rays: The Biology of Elasmobranchs Fishes*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.
- Hamlett W. C., L. Fishelson, A. Baranes, C. K. Hysell, y D. M. Sever. 2002. Ultrastructural analysis of sperm storage and morphology of the oviducal gland in the Oman shark *Iago omanensis* (Triakidae). *Marine Freshwater Research*., vol. 53, no. 2, p. 601-613.

- Heemstra P. C. 1997. A review of the smooth-hound sharks (Genus *Mustelus*, Family Triakidae) of the Western Atlantic Ocean, with descriptions of two new species and a new subspecies. *Bulletin of Marine Science*. 60: 894-928.
- Hernández S.; J. Lamilla.; E. Dupré y W. Stotz. 2005. Desarrollo embrionario de la pintarroja común *Schroederichthys chilensis* (Guichenot, 1848)(Chondrichthyes: Scyliorhinidae). *Gayana* 69(1): 191-197.
- Hopkins T. E. y J. J. Jr. Cech. 2003. The influence of environmental variables on the distribution and abundance of three elasmobranches in Tomales Bay, California. *Environmental Biology of Fishes* 66:279–291.
- Humason G. L. 1979. *Animal Tissue Techniques*. Cuarta ed. W. H. Freeman and Company. San Francisco. 692.
- Huyer A. 1983. Coastal upwelling in the California current system. *Progress in Oceanography*. 12 (259-284).
- Joung, S. J y Chen, C. T. 1995. Reproduction in the sand bar, *Carcharhinus plumbeus*, in the waters off Northeastern Taiwan. *Copeia* (3): 659-665.
- Klimley A. P., I. Cabrera Mancilla y L.G. Castillo. 1993. Descripción de los movimientos horizontales y verticales del tiburón martillo *Sphyrna lewini* del sur del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*. 19: 95–115.
- Knight D. P., D. Feng y M. Stewart. 1996. Structure and function of the Selachian egg case. *Biological Reviews*. vol. 71, p. 81-111.
- Lenanton R., D. Helad, M. Platell, M. Cliff y J. Shaw. 1990. Aspects of the reproductive biology of the gummy shark, *Mustelus antarcticus* Günther, from

waters off the south coast of Western Australia. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*. 41: 807-822.

Liu K. M., T. C. Chen, T. H. Liao y S. J. Joung, 1999. Age, growth, and reproduction of the pelagic thresher shark, *Alopias pelagicus* in the Northwestern. *Copeia* (1): 68-71.

Lluch Belda, D. 2000: Centros de Actividad Biológica en la Costa Occidental de Baja California. In: Lluch Belda, D., Elourduy-Garay, J., Lluch-Cota, S. E., Ponce-Díaz, G. Ed. Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. La Paz, B.C.S., México, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. 367 p.

López-Garro A., R. Aruz-Vargas., I. Zanella y L. Foulgo Le. 2009. Análisis de las capturas de tiburones y rayas en las pesquerías artesanales de Tárcoles, Pacífico Central de Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*. Vol. 1. 145-157.

Luer C. A y P. W. Gilbert. 1991. Elasmobranch fish: oviparous, viviparous and oviviparous. *Oceanus*: 34(3) 47-53.

Lynn R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system. The seasonal variability of physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*. 92 (C12):12. 947-12, 966.

Maruska K. P., E.G. Cowie y T.C. Tricas. 1996. Periodic gonadal activity and protracted mating in elasmobranch fishes. *Journal of Experimental Zoology*. 276: 219–232.

Massa A. M. 1988. Estructura poblacional del Gatuzo (*Mustelus schmitti*) en la costa Bonaerense y uruguaya asociada a condiciones oceanográficas. Tesis de

licenciatura. Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Exactas y naturales. 58 pp.

Massey B.R. y Francis M.P. 1989. Commercial catch composition and reproductive biology of rig (*Mustelus lenticulatus*) from Pegasus Bay, Canterbury, New Zealand. *Journal of Marine and Freshwater Research* 23:113–120

Mejía-Salazar L. A. 2007. Biología reproductiva del cazón bironche, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan y Gilbert, 1882) en el Pacífico Mexicano. Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN). Tesis de Maestría en Ciencias. México. 67 pp.

Méndez-Loeza I. 2008. Edad y crecimiento del cazón pardo, *Mustelus henlei* (Gill, 1863), en la región norte del Golfo de California. Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN). Tesis de Maestría en Ciencias. México. 57 pp.

Mendoza-Vargas O. U. 2009. Descripción del desarrollo embrionario del tiburón azul, *Prionace glauca* (Linnaeus 1758), en la costa Occidental de Baja California Sur, México. Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN). Tesis de Maestría en Ciencias. 94 pp.

Muñoz M., Y. Koya y M. Casadevall. 2002. Histochemical analysis of sperm storage in *Helicolenus dactylopterus dactylopterus* (Teleostei: Scorpaenidae). *Journal of Experimental Zoology*. 292:156–164.

Musick J. A. 2005. Management of sharks and their relatives (Elasmobranchii) Pages 1-6. En Musick, J. A. & R. Bonfil (Eds) Management techniques for elasmobranch fisheries. FAO Fisheries Technical Paper. No. 474. Rome, 251p.

- Naghama Y. 1983. The functional morphology of teleost gonads. 223-276 pp. En: Hoar W. S. y D.J. Randall. Fish Physiology. Vol. IX A. Reproduction, Endocrine Tissues and Hormones. Academic Press, Inc.
- Natanson L. J. y G. M. Caillet. 1986. Reproduction and development of the pacific angel shark, *Squatina californica*, off Santa Barbara, California. Copeia (4):987-994.
- Navia. F. A., A. Giraldo y P. A. Mejía-Falla. 2006. Notas sobre la biología y dieta del toyo vieja (*Mustelus lunulatus*) en la zona central de pesca del Pacífico colombiano. Investigaciones Marinas. Valparaíso, Colombia. 34(2): 217-226.
- Oddone M.C., L. Paesch, W. Norbis y G. Velasco. 2007. Population structure distribution and abundance patterns of the Patagonian smoothhound *Mustelus schmitti* Springer, 1939 (Chondrichthyes, Elasmobranchii, Triakidae) in the Rio de la Plata and inner Continental Shelf, SW Atlantic Ocean (34°30'-39°30'S). Brazilian journal of Oceanography, 55(3):167-177.
- Oddone M. C., L. Paesch y W. Norbis. 2005. Reproductive biology and seasonal distribution of *Mustelus schmitti* (Elasmobranchii, Triakidae) in the Rio de la Plata oceanic front, SW Atlantic". Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 85: 1193-1198.
- Olsen A. M. 1954. The biology, migration and growth rate of the school shark, *Galeorhinus australis* (Macleay) (Carcharhinidae) in southeastern Australian waters. Aust. Journal Marine and Freshwater Research. 5: 353-410.
- Parker J. y S. Parker. 2002. The encyclopedia of shark. Rev. Second edition. New York: Firefly books (U.S) Inc. 192p.

- Parsons G. R. 1983. The reproductive biology of the Atlantic sharpnose shark, *Rhizoprionodon terraenovae* (Richardson). Fishery Bulletin. US. 81:61-73.
- Pereyra I., L. Orlando, W. Norbis, y L. Paesch. 2008. Variación espacial y temporal de la composición por tallas y sexos del gatuso *Mustelus schmitti* Springer, 1939 capturado por la pesca de arrastre en la costa oceánica uruguaya durante 2004. Revista de Biología Marina y Oceanografía., 43(1):159-66.
- Pérez-Jiménez J. C. 2006. Biología y taxonomía de los tiburones del género *Mustelus* (elasmobranchii) de la región norte del Golfo de California, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Tesis de Doctorado en Ciencias. México. 174 pp.
- Pérez-Jiménez J. C. y O. Sosa-Nishizaki. 2008. Reproductive biology of the brown smoothhound shark *Mustelus henlei*, in the Northern Gulf of California, México. Journal of Fish Biology. 73: 782–792.
- Pérez-Jiménez J. C. y O. Sosa-Nishizaki. 2010. Determining reproductive parameters for population assessments of two smoothhounds (*Mustelus californicus* and *Mustelus lunulatus*) from the northern Gulf of California, México. Marine Science, 86(1): 3–13.
- Pérez-Jiménez J. C., O. Sosa-Nishizaki y J. L. Castillo Geniz. 2005. A new Eastern North Pacific Smoothhound (Genus *Mustelus*, Family Triakidae) from the Gulf of California. Copeia, 4: 834-845.
- Pratt H. L. Jr. 1979. Reproduction of the blue shark, *Prionace glauca*. Fishery Bulletin. 77: 445-470.
- Pratt H. L. 1988. Elasmobranch gonad structure – a description and survey. Copeia 1988:719–729.

- Pratt H. L. Jr., y J. G. Casey. 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 the Biology, Ecology, Systematics, and the Status of Fisheries'. (Eds Pratt Jr H. L., S. H. Gruber & T. Taniuchi.) NOAA Technical Report NMFS 90. pp. 97–109. (US Department of Commerce, National Marine Fisheries Service, NOAA.)
- Pratt, H. L., y T. Otake. 1990. Recommendations for work needed to increase our knowledge of reproduction relative to fishery management. In: Elasmobranch as Living Resources: advances in biology, ecology and systematics, and the status of fisheries. Pratt, H. L., S. H. Gruber, and T. Taniuchi (eds.). NOAA Tech. Rep. NMFS: 509–510. Pratt, H. L. & Otake, T. 1990. Recommendations for work needed to increase our knowledge 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. *Environmental Biology of Fishes*. Vol 38(1-3): 139-149.
- Pratt H. L., & S. Tanaka. 1994. Sperm storage in males elasmobranchs: a description and survey. *Journal of Morphology*. 219:297-308.
- Ramírez-Amaro S. 2011. Caracterización de la pesquería artesanal de elasmobranchios en la costa occidental de baja california sur, México. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN). Tesis de Maestría en Ciencias. México. 82 pp.
- Rojas M. R. J. 2006. Reproducción y alimentación del tiburón enano *Mustelus dorsalis* (Pisces: Triakidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica: Elementos para un manejo sostenible. *Revista de Biología Tropical*. Vol. 54 (3): 861-871.

- Ruiz Durá, Ma. Fernanda. 1988. Fundamentos de Embriología y Fisiología de la Reproducción. Universidad Autónoma De México (UNAM). México. 373 pp.
- Russo R. A. 1975. Observations on the food habits of leopard sharks (*Triakis semifasciata*) and brown smoothhounds (*Mustelus henlei*). California Fish and Game 61: 95–103.
- Saborido F. y S. Junquera. 2003. Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos. Curso doutoramento do bienio 2001-2003. Universidad de Vigo: 71 pp.
- Saïdi B., B. M. Nejmeddine y A. Bouain. 2009. Reproductive biology and diet of *Mustelus punctulatus* (Risso, 1826) (Chondrichthyes: Triakidae) from the Gulf of Gabès, central Mediterranean Sea. Scientia Marina. España. Vol. 73: 249-258.
- Sánchez-Reyes N. A. 2004. Desarrollo Embrionario del Tiburón Angelito *Squatina californica* (Ayres 1856) (Chondrichthyes Squatinidae) en la Bahía de La Paz. Tesis de Licenciatura. Universidad Autonoma de Baja California Sur. Departamento de Biología. México. 64 pp.
- Scott W. M. 1993. Reef shark and rays of the world, a guide to their identification, behavior, and ecology. Ed. Sea Challengers. 106 pp.
- Segura A. M. y A. C. Milessi. 2009. Biological and reproductive characteristics of the Patagonian smoothhound *Mustelus schmitti* (Chondrichthyes, Triakidae) as documented from an artisanal fishery in Uruguay. Journal Applied Ichthyology. Suppl.1:78-82.
- Sverdrup H.U. 1941. The Gulf of California: preliminary discussion on the cruise of the E.W. Scripps in February and March 1939. Proceeding 6th Pacific Science Congress., 3: 161–166.

- Shoou-Jeng J. y H. Hua-Hsun. 2005. Reproduction and Embryonic Development of the Shortfin Mako, *Isurus oxyrinchus* Rafinesque, 1810, in the Northwestern Pacific. Taiwan. Zoological Studies 44(4): 487-496.
- Siider A. M., L.L. Tamini, E.J. Pérez y E.G. Chairamonte. 2005. Biología reproductiva del gatuzo *Mustelus schmitti* Springer, 1939 (Chondrichthyes, Triakidae) en el área del Puerto de Quequén Provincia de Buenos Aires. Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales. n.s. 7(1): 89-10.1
- Simpfendorfer C. y Milward N. 1993. Utilisation of a tropical bay as a nursery area by sharks of the families Carcharhinidae and Sphyrnidae. Environmental Biology of Fishes. 37: 337–345.
- Smith S. W., D.W. Au y C. Show. 1998. Intrinsic rebound potential of 26 species of Pacific sharks. Marine and Freshwater Research. 49:663-678.
- Smith W. D., J.J. Bizarro y G.M. Caillet. 2009. The artisanal elasmobranch fishery on the east coast of Baja California, Mexico: Characteristics and management considerations Ciencias Marinas, Vol. 35, Núm. 2, pp. 209-236.
- Sokal R. y F. Rohlf. 1996. Biometry. Third Edition. W. H. Freeman and Co. New York. 887 pp.
- Somerton, D. 1980. A computer technique for estimating the size of sexual maturity in crabs. Canadian Journal of Fisheries. Aquatic Science. vol 37:1488-1494.
- Springer, S. 1960. Natural history of the sandbar shark *Eulamia milberti*. U. S. Fish and Wildlife Service, Fishery Bulletin. 61:1-38.
- Stevens J. D. 1999. Variable resilience to fishing pressure in tow shark: The significance of different ecological and life history parameters. Pages 11-15. In

Musick J. A., editor: Life in slow lane: Ecology and Conservation of long-lived marine animals. American Fisheries Society Symposium 23, Bethesda, Maryland.

Storrie M., T. Walker, L. Laurenson y W. Hamlett. 2008. Microscopic Organization of the Sperm Storage Tubules in the Oviducal Gland of the Female Gummy Shark (*Mustelus antarcticus*), With Observations on Sperm Distribution and Storage. Journal of morphology. Vol. 269:1308–1324.

Storrie M., T. Walker, L. Laurenson y W. Hamlett. 2009. Gestational morphogenesis of the uterine epithelium of the gummy shark (*Mustelus antarcticus*). Journal Morphology., 270(3):319-36.

Talent L. G. 1982. Food habits of the gray smoothhound, *Mustelus californicus*, the brown smoothhound, *Mustelus henlei*, the shovelnose guitarfish, *Rhinobatos productus*, and the bat ray *Myliobatis californica*, in Elkhorn Slough, California. California Fish and Game, 68: 224M234 p.

Teshima K. 1974. Studies on Sharks-VIII. Placentation in *Mustelus griseus*. Japanese Journal of Ichthyology. Vol. 22, No. 1. 12 pp.

Teshima, K. (1981). Studies on the reproduction of Japanese smooth dogfishes, *Mustelus manazo* and *M. griseus*. The Journal of the Shimonoseki University of Fisheries 29, 119–199.

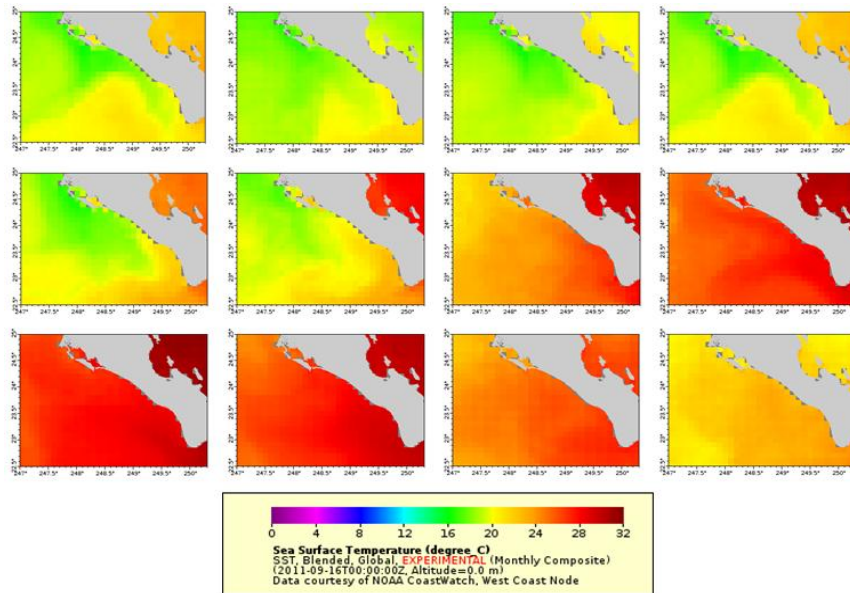
Tyler C.R. y J. P. Sumpter. 1996. Oocyte growth and development in the teleosts. Reviews in Fish Biology and Fisheries. Vol 6: 287-318.

Van Krey H.P., R.J. Balander & M.M. Compton. 1981. Storage and evacuation of spermatozoa from the uterovaginal sperm-host glands in domestic fowl. Poultry Science 60:871–877.

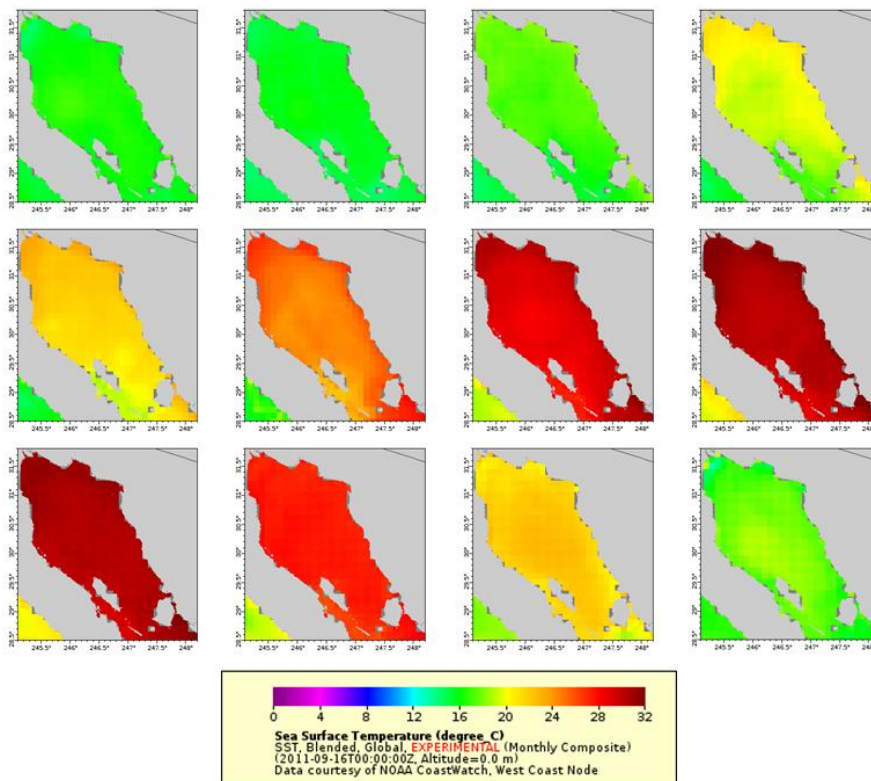
- Vooren C. 1992. Reproductive strategies of 8 species of viviparous elasmobranchs from Southern Brazil. *Bulletin De La Societe Zoologique De France Evolution Et Zoologie*. Vol 117 (3):303-12.
- Walker T. I. 1998. Can shark resources be harvested sustainably? A question revisited with a review of shark fisheries. *Marine and Freshwater Research*. 49: 553–572.
- Watts S. y V. Wu. 2005. Tocando fondo: la desaparición de los tiburones en el Pacífico Tropical Oriental. San Francisco. WildAid. 29 p.
- Wourms J. P. 1977. Reproduction and development in chondrichthyan fishes. *Am. Zool.* 17:379–410.
- Yamaguchi A., T. Taniuchi y M. Shimizu. 2000. Geographic variations in reproductive parameters of the Star-spotted Dogfish, *Mustelus manazo*, from five localities in Japan and in Taiwan. *Environmental Biology of Fishes*. Vol. 57: 221-233 p.
- Yano K. 1993. Reproductive biology of the slender smoothhound, *Gollum attenuatus* collected from New Zealand waters. *Environmental Biology of Fishes*. Vol. 38: 59-71.
- Yudin, K. G. y G. M. Cailliet. 1990. Age and growth of the gray smoothhound, *Mustelus californicus*, and the brown smoothhound, *M. henlei*, sharks from central California. *Copeia* 1990. Vol. 1: 191–204.
- Zar, J.H. 1996. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, Upper Saddle River. 663 p.

11. ANEXO

Temperatura superficial del mar de la costa occidental de Baja California Sur en el año 2011.



Temperatura superficial del mar del Norte del Golfo de California en el 2011.



Data courtesy of National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) CoastWatch, west Coast Node (2012). <http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/>