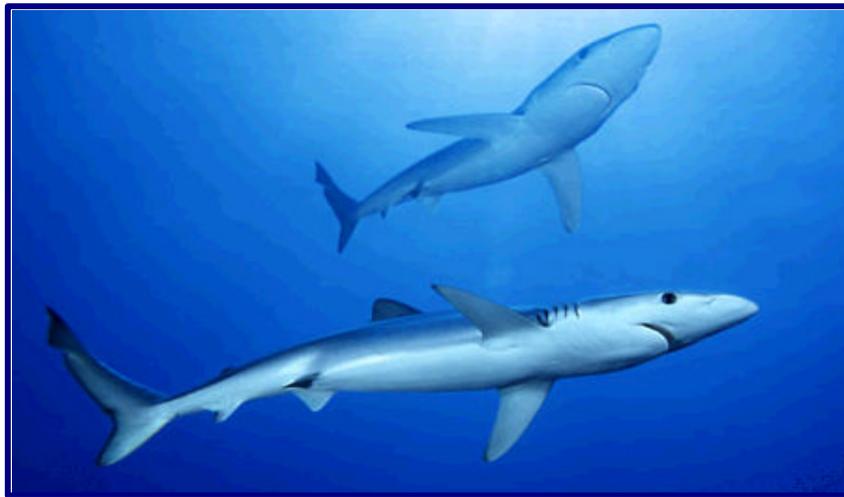




INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas  
Departamento de Pesquerías y Biología Marina



**BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL TIBURÓN AZUL *Prionace glauca*  
(Linnaeus, 1758) EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA  
CALIFORNIA SUR, MÉXICO.**



**T E S I S**

Que para obtener el grado de  
**MAESTRO EN CIENCIAS**

Con especialidad en Manejo de Recursos Marinos

Presenta:

**BIOL. MARIBEL CARRERA FERNÁNDEZ.**

Director de tesis:

**DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA**

La Paz, Baja California Sur, México.

Junio 2004.



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION**  
**ACTA DE REVISION DE TESIS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 14:00 horas del día 11 del mes de Mayo del 2004 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

**“BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL TIBURÓN AZUL *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758)**  
**EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO”**

Presentada por el alumno:

**CARRERA**  
Apellido paterno

**FERNÁNDEZ**  
materno

**MARIBEL**  
nombre(s)

Con registro: 

A	0	2	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

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

**LA COMISION REVISORA**

Director de tesis  
PRIMER VOCAL

\_\_\_\_\_  
DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

PRESIDENTE

\_\_\_\_\_  
DR. LEONARDO ANDRÉS ABITA CÁRDENAS

SECRETARIO

\_\_\_\_\_  
DRA. BERTHA PATRICIA CEBALLOS VÁZQUEZ

SEGUNDO VOCAL

\_\_\_\_\_  
DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA

TERCER VOCAL

\_\_\_\_\_  
MC. CAROLINE ANNE DOWNTON HOFFMANN

**EL PRESIDENTE DEL COLEGIO**

\_\_\_\_\_  
DR. FRANCISCO ARREGUÍN SÁNCHEZ



**I. P. N.**  
**CICIMAR**  
**DIRECCION**



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 21 del mes Mayo del año 2004, el (la) que suscribe MARIBEL CARRERA FERNÁNDEZ alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro A020100 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA y cede los derechos del trabajo titulado: "BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL TIBURÓN AZUL *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758)  
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. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: mcarrera@ipn.mx

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

**MARIBEL CARRERA FERNÁNDEZ**

*nombre y firma*

## ¿SERÁ MI VIDA, LA CIENCIA?

Esta pregunta baila soberana en mi cabeza  
creada por mi confusión  
y azuzada por mi desesperación.

Sin embargo, la alegría que desborda mi alma  
al contemplar la maravillosa complejidad  
de la vida...Me hace pensar que si...

Es cuando quisiera ser un poeta, y poder  
expresar en mil colores, las manifestaciones  
únicas de la creación... Pero no lo soy...

Sólo soy un corazón que anhela saciar su sed,  
con unas cuantas gotas de esta inmensa lluvia  
llamada **Ciencia de la Vida.**

No sé cual será mi respuesta...Solo sé,  
que mientras haya gotas de esta lluvia  
seguirá latiendo el corazón insaciable de  
esta científica pero incierta mariposa.

## **DEDICATORIA**

A mis padres

JULIO CARRERA e ISABEL FERNÁNDEZ  
por darme la vida, su confianza y ayudarme a cumplir  
mis sueños!

A mis hermanos

ERIKA CARRERA y JAVIER CARRERA  
por ser mi ejemplo a seguir, por su apoyo  
incondicional y tanto amor!

A mi mejor amiga

NANCY CAMPOS DE JESÚS.  
por compartir tantos sueños juntas y por ser  
la hermana que Dios me permitió escoger!

A mi gran amigo

ALBERTO VELÁSQUEZ BRAVO  
por enseñarme el significado de la fortaleza y a  
tener sueños e ilusiones a pesar de la adversidad!

*¡¡¡Gracias por existir...*

*Los quiero mucho!!!*

# AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis **Dr. Felipe Galván Magaña**, por aceptarme como su alumna, dándome la oportunidad de conocer el fascinante mundo de los tiburones; por ser mi mayor ejemplo a seguir y ser más que un maestro, un excelente amigo. Por su confianza y apoyo total mil gracias “Doc”!!!

A la **Dra. B. Patricia Ceballos** por sus aportes y comentarios tan acertados en la elaboración de esta tesis, por su invaluable apoyo con el trabajo histológico y por aceptarme en su proyecto. Muchas gracias Paty!!!

A la **M.C. Caroline A. Downton**, por sus aportes y críticas constructivas que ayudaron a mejorar y complementar este trabajo, por sus consejos y ser una excelente maestra y amiga...Gracias Carito!!!

Al **Dr. L. Andrés Abitia**, por su amistad, por su apoyo y por sus acertadas observaciones en la elaboración de este trabajo...Gracias Doc!!

Al **Dr. Agustín Hernández H** por sus comentarios y sugerencias, los cuales contribuyeron a enriquecer esta investigación...Gracias!!!

Al **M. C. Marcial Arellano**, por el apoyo económico brindado, al permitirme formar parte de su proyecto...Gracias Marcial!!

Al **CICIMAR, IPN y CONACYT** por darme la oportunidad de realizar la maestría y por el apoyo económico otorgado a través de becas y del apoyo a los diferentes proyectos de tiburones dirigidos por el Dr. Felipe Galván.

A **mi familia**, un agradecimiento enorme, por los sacrificios, por el apoyo incondicional y ser mi ejemplo. A la Familia Fernández (Tía Bety, Tío Juan y tía Pifa, gracias por tanto cariño) y a la Familia Carrera (Abuelita, Dios te bendiga!; A mis tíos: Pancho, Ángeles, Maria, Nacho, Juan, Amalia y los que faltan en esta lista especial, gracias por su apoyo!!

A **mi segunda familia**: tía María, tía Tina, nana Alba, Belén, Juan y Tony, por aceptarme en su casa como una hija más y por brindarme su apoyo y su cariño, haciendo más agradable mi estancia en La Paz... Gracias por todo, los quiero mucho!!!!

**Porque la amistad es la fuerza que mueve al mundo... ☺**

A mi amiga de toda la vida **Nancy campos**, por tu amistad, por ser parte importante en mi vida, eres mi ejemplo y sabes que este logro es por las dos!! Gracias por ser como eres hermanita!!!!

A mi amigo de siempre **Alberto Velásquez**, por compartir tantos momentos juntos, así como alegrías y tristezas, sabes que cuentas conmigo. Ánimo niño...Échale muchas ganas...confío en ti.

A mis queridas amigas de la BUAP: **Nuria, Dalia y Karen** porque son una parte importante en mi vida; aún recuerdo nuestras interminables platicas “científicas” y “existenciales” en los salones y jardines de Biología...Gracias por conservar esta linda amistad, a pesar del tiempo y la distancia...Las admiro y las quiero mucho!!!

A los **Abitia boys**: **Ofelia** (tiburón ángelito), **Dana** (pez vela), **Carmen** (pez de arrecife), **Xchel** (pez sierra) y **Marcela** (dorado); por todos esos momentos tan especiales que hemos compartido, por su amistad y por permitirme ser parte del **CARDUMEN** a pesar de ser un tiburón azul.

Al interminable **Clan Galván** y anexos del laboratorio: **Nallely** (por los buenos momentos), **M. C. Francisco J.** (por escucharme y animarme en mis momentos difíciles, por sus consejos y apoyo muchas gracias Don Pancheiro!!), **Tía Anita, Ruth, Zulette, Armando, Lalo, Martín, Fernando, Uriel, Mauricio Conde, Arturo, Melissa, Beatriz, Deivis, Víctor Galván, Román, José Miguel, Toño** ( por tu apoyo), **“Guerito Concho”, José Ángel, José Luis, Juan Manuel, Juan Pedro y Don Macario**; por los momentos compartidos en el laboratorio y en las salidas de campo.

A los compañeros y amigos de CICIMAR: **Lupita Durga** (por las escapadas a la playa y a bailar); **A Jorge López** ( por tu invaluable ayuda en el laboratorio). A los choferes y lancheros: **Don Pablito, Don Payin, Don Alfredo, Don Toño, Don Cone y Don Chuy** ( por pelearse con las gaviotas para obtener las muestras y por las ricas comidas en las salidas de campo) ;;;;Gracias!!!!

A **los pescadores** de Punta Belcher, Punta Lobos, El pardito, Santa Maria, Las Barrancas y El Sauzoso, por su hospitalidad, por sus encantadoras charlas y su apoyo en la colecta de muestras, ya que sin su ayuda no hubiera sido posible este trabajo...Mil Gracias!!!

A todos aquellos que me faltó mencionar, pero que de una u otra manera contribuyeron con consejos o buenos ratos para que este trabajo pudiera realizarse... **GRACIAS!!!!**



## ÍNDICE

<b>GLOSARIO.....</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE FIGURAS Y TABLAS.....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vi</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. ANTECEDENTES.....</b>	<b>4</b>
<b>III. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>IV. OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
<b>V. ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>9</b>
<b>VI. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
<b>VII. RESULTADOS.....</b>	<b>15</b>
<b>7.1 Distribución temporal del tiburón azul en Baja California Sur.....</b>	<b>15</b>
<b>7.2 Composición de tallas.....</b>	<b>17</b>
<b>7.3 Proporción de sexos.....</b>	<b>18</b>
<b>7.4 Madurez sexual en machos.....</b>	<b>19</b>
<b>7.4.1 Descripción del aparato reproductor: comparación entre juveniles y             adultos.....</b>	<b>19</b>
<b>7.4.2 Escala de madurez en machos.....</b>	<b>28</b>
<b>7.4.3 Talla de primera madurez en machos.....</b>	<b>29</b>
<b>7.5 Madurez Sexual en hembras .....</b>	<b>30</b>
<b>7.5.1 Descripción del aparato reproductor: comparación entre juveniles y             adultas.....</b>	<b>30</b>



7.5.2 Escala de madurez en hembra.....	39
7.5.3 Talla de primera madurez en hembras.....	40
7.5.4 Fecundidad y periodo de gestación.....	42
<b>VIII. DISCUSIÓN.....</b>	<b>45</b>
8.1 Distribución temporal del tiburón azul en Baja California Sur.....	45
8.2 Composición de tallas.....	46
8.3 Proporción de sexos.....	47
8.4 Madurez sexual en machos.....	49
8.4.1 Descripción del aparato reproductor: comparación entre juveniles y adultos.....	49
8.4.2 Escala de madurez en machos.....	50
8.4.3 Talla de primera madurez en machos.....	50
8.5 Madurez Sexual en hembras.....	51
8.5.1 Descripción del aparato reproductor: comparación entre juveniles y adultas.....	51
8.5.2 Escala de madurez en hembras.....	53
8.5.3 Talla de primera madurez en hembras.....	53
8.5.4 Fecundidad y periodo de gestación.....	54
<b>IX. CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>X. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>58</b>
<b>XI. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>59</b>



## GLOSARIO

**ESPERMATOCITO:** Es la célula germinal masculina que se encuentra en proceso de maduración (Lender *et al.*, 1982).

**ESPERMATÓFORO:** Es un saco o paquete que contiene cúmulos alineados de espermatozoides rodeados por una matriz (Pratt y Tanaka, 1994).

**ESPERMATOGÉNESIS:** Es un proceso biológico en el cual se producen el desarrollo y diferenciación de las células sexuales masculinas (espermatozoides) en las gónadas de los machos (Lender *et al.*, 1982).

**ESPERMATOGONIA:** Es la célula germinal masculina en su estado diploide que se encuentra en multiplicación activa por mitosis en la zona germinativa de los testículos (Lender *et al.*, 1982).

**ESPERMATOZEUGMATA:** Es un conjunto de masas organizadas de espermatozoides unidos por una matriz cohesiva para formar masas ovoides o amorfas (Pratt y Tanaka, 1994)

**ESPERMATOZOIDE:** Es el gameto masculino maduro que se caracteriza porque presenta movilidad (Lender *et al.*, 1982).

**ESPERMIOGÉNESIS:** Fase en que el espermatozoide sufre una diferenciación para adquirir su forma final (Houillon, 1978).

**ESTROMA:** Tejido conjuntivo que sirve de sostén y se encuentra dentro del ovario (Pratt, 1979).

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



**GÓNADA:** Glándula productora de gametos; en las hembras produce huevos y en los machos espermatozoides (Houillon, 1978).

**GONOPTERIGIOS:** Órganos copuladores del macho, que son modificaciones de los bordes internos de las aletas pélvicas y se prolongan hacia atrás, mucho más que las aletas mismas, son característicos de los elasmobranquios (Álvarez del Villar, 1978).

**OVARIO EXTERNO:** Se caracteriza porque tiene los ovocitos expuestos sobre el estroma. Este ovario es característico de la familia Carcharhinidae y Sphyrnidae (Pratt, 1988).

**OVIPARIDAD:** Desarrollo embrionario que se lleva a cabo fuera del cuerpo de la madre; donde el embrión se alimenta solamente del vitelo presente en su cápsula (Pratt y Castro, 1990).

**TERCER MEMBRANA:** Es la cubierta que protege al huevo fecundado; en especies vivíparas placentarias esta membrana es muy delgada y transparente (Hamlett, 1999).

**VITELOGÉNESIS:** Este proceso se caracteriza por la aparición de gránulos de vitelo, que se van desarrollando e incrementando su tamaño, y después se fusionan para formar una masa fluida continua de vitelo (Houillon, 1978).

**VIVIPARIDAD APLACENTARIA:** El desarrollo embrionario se realiza dentro del cuerpo de la madre; el embrión se alimenta de vitelo del ovocito y también puede recibir alimento por parte de la madre, pero sin que exista una conexión directa con ella (Wourms, 1977).

**VIVIPARIDAD PLACENTARIA:** El desarrollo embrionario se realiza en el cuerpo de la madre y existe una conexión entre el embrión y la madre a través de una pseudoplacenta por la cual le transmite alimento y a su vez el embrión expulsa sus desechos metabólicos (Wourms 1977; Wourms 1981).



## LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

### FIGURAS.

FIGURA 1. Tiburón azul (Tomado de FAO, 2000).....	3
FIGURA 2. Distribución geográfica del tiburón azul (Tomado de la FAO, 2000).....	4
FIGURA 3. Área de estudio, mostrando la ubicación de los campamentos pesqueros .....	11
FIGURA 4. Distribución temporal del tiburón azul durante el periodo de estudio.....	15
FIGURA 5. Composición de tallas total para machos y hembras del tiburón azul.....	17
FIGURA 6. Proporción de sexos en el tiburón azul.....	19
FIGURA 7. Morfología externa del aparato reproductor un tiburón macho inmaduro.....	21
FIGURA 8. Morfología externa del aparato reproductor de un tiburón macho adulto.....	21
FIGURA 9. Esquema de un testículo de tipo diamétrico.....	22
FIGURA 10. Corte transversal del testículo visto al microscopio, mostrando el desarrollo diamétrico de los folículos seminíferos.....	22
FIGURA 11. Fases del desarrollo de los folículos seminíferos en el tiburón azul.....	24
FIGURA 12 Vista del epidídimo a nivel microscópico.....	25
FIGURA 13. Vesícula seminal.....	27
FIGURA 14. Espermatozeugmata de tipo compuesto.....	27
FIGURA 15. Relación entre la longitud total del tiburón con la longitud del gonopterigio en diferentes condiciones reproductivas.....	29
FIGURA 16. Talla de primera madurez en machos del tiburón azul.....	30
FIGURA 17. Relación de la longitud total del tiburón con el ancho de los testículos.....	30
FIGURA 18. Relación de la longitud total del tiburón con el largo de los testículos.....	30
FIGURA 19. Morfología externa del aparato reproductor de una hembra inmadura.....	32
FIGURA 20. Morfología externa del aparato reproductor de hembra subadulta.....	32



FIGURA 21. Morfología externa del aparato reproductor de una hembra grávida.....	33
FIGURA 22. Morfología externa del aparato reproductor de una hembra posparto.....	33
FIGURA 23. Ovario externo del tiburón azul.....	34
FIGURA 24. Corte transversal de la glándula oviducal.....	35
FIGURA 25. Almacén de esperma (AE) en los túbulos oviducal (TO).....	35
FIGURA 26. Túbulos oviducal con esperma almacenado.....	35
FIGURA 27. Embriones de tiburón azul, en diferentes grados de desarrollo.....	38
FIGURA 28. Relación entre el diámetro del ovocito más grande y la longitud total de la hembra.....	41
FIGURA 29. Relación entre el diámetro de la glándula oviducal y la longitud total.....	41
FIGURA 30. Talla de primera madurez para las hembras de tiburón azul.....	41
FIGURA 31. Relación de la talla materna con el número de embriones.....	42
FIGURA 32. Diámetro mensual de los ovocitos de hembras maduras.....	44
FIGURA 33. Longitud total mensual de los embriones del tiburón azul.....	44

**TABLAS**

TABLA 1. Número de organismos observados durante el periodo de estudio.....	16
TABLA 2. Relación de hembras con almacén de esperma.....	36
TABLA 3. Relación de hembras grávidas.....	43



## RESUMEN

El tiburón azul *Prionace glauca* es la especie más abundante en la costa occidental de Baja California Sur, sin embargo, se desconocen los aspectos reproductivos de la especie para esta área geográfica de México. Los muestreos fueron realizados de agosto del 2000 a marzo del 2003, en Punta Belcher, Punta Lobos y Las Barrancas en la costa occidental de Baja California Sur. Se tomaron medidas de las estructuras reproductivas para la determinación de la madurez sexual y se recolectaron muestras para realizar análisis histológico en machos y hembras. Se obtuvieron 1033 organismos, 631 machos y 402 hembras. La mayor abundancia se presentó en los meses de invierno y primavera, con una temperatura promedio de 16°C a 19°C. Los machos presentaron tallas de 81 cm a 270 cm de longitud total y las hembras de 90 cm a 252 cm. La proporción de sexos en embriones fue de 1H:1M y en los adultos fue de 0.5H:1M, esto sugiere una segregación por sexos al alcanzar la madurez. La talla de primera madurez fue de 180 cm LT para machos y 200 cm de LT para hembras. La mayoría de los machos juveniles se encontraron en invierno-primavera y los adultos en el verano. Se registraron 37 hembras grávidas, principalmente en invierno, con un intervalo común de 27 a 33 embriones en diferentes fases de desarrollo. La hembra grávida más pequeña midió 172 cm de LT. Los embriones más pequeños se presentaron en agosto-septiembre y los que presentaron la talla de nacimiento se encontraron en mayo-julio, lo que sugiere un periodo de gestación de 12 meses. Con el análisis histológico se observó que los machos presentan testículos de tipo diamétrico. En los adultos se encontró esperma en el epidídimo, en los ductos deferentes y espermatozeugmata de tipo compuesto en la vesícula seminal. Se encontró almacén de esperma en las glándulas oviducuales de 13 hembras en diferentes estados de madurez corroborando que el almacén es a largo plazo, la hembra más pequeña con esperma almacenado midió 177 cm de longitud total.



## ABSTRACT

The blue shark *Prionace glauca* was the most abundant shark in the western coast of Baja California Sur; however, the reproductive aspects of the specie in this geographical area of Mexico are unknown. Samples were obtained in the fishing camps of Punta Belcher, Punta Lobos and Las Barrancas, in the western coast of Baja California Sur, from August 2000 to March 2003. Measurements were taken of the reproductive organs; clasper length, length and width of the oviducal gland, and diameter of the biggest oocyte to determinate the sexual maturity in males and females. A total of 1033 blue sharks, 631 males and 402 females were sampled. The biggest abundance was in winter and spring, with temperatures between 16°C to 19°C Males ranged from 81 cm to 270 cm TL; whereas females were from 90 cm to 252 cm TL. Sex ratio in embryos was 1F:1M whereas the sex ratio in adults was 0.5F:1M, which suggests a sex segregation when they reach maturity. Size of first maturity for males was 180 cm TL, and 200 cm for females. Most of the juvenile males were found during winter and spring; whereas adults were found in summer. We recorded 37 pregnant females with a interval of 27 to 33 embryos with different development phases. The smallest pregnant female was 172 cm TL. The smallest embryos were found during August- September and embryos in full term were in May and July. The histological analysis showed that males have diametric testes, the mature males showed sperm in epididymis, ductus deferens and compound or multilayered spermatozeugmata in seminal vesicle. We found sperm storage in the oviducal glands of 13 females, which had maturity stages different corroborating a long-term storage; the smallest female with spermatozoa was 177 cm LT.



## I. INTRODUCCIÓN

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). Sin embargo, el continuo aumento de los niveles de explotación de estos elasmobranquios y la demanda de la aleta de tiburón, parecen estar afectando la sustentabilidad de este recurso, causando una disminución de sus poblaciones en muchos lugares del mundo.

El tiburón azul se caracteriza por ser una de las especies más fecundas y por lo tanto muy abundante en todos los océanos, pero es también de las más capturadas en pesca artesanal como pesca incidental. Se estima que más de 300 mil toneladas de elasmobranquios se capturan anualmente como pesca asociada de las pesquerías industriales. La mayoría proviene de redes de deriva y palangres en las capturas atuneras de altura de Japón, Corea y Taiwan. La especie más afectada es el tiburón azul, con más de 6 millones de individuos capturados anualmente. Uno de los problemas principales a los que se enfrenta es la práctica del “aleteo”, que consiste en cortar las aletas de los tiburones y tirar a los animales en muchos casos todavía vivos (Cortés, 2003).

En la costa del Pacífico norte mexicano, la composición de capturas está menos documentada; pero se sabe que la pesquería incide principalmente en *Prionace glauca*, *Isurus oxyrinchus* y *Alopias spp.*, así como otras especies de hábitos costeros del género *Carcharhinus* (Holts *et al.*, 1998). Aunque en pocos países ( España, Brasil, Italia y Francia) hay mercado específico de tiburón azul, éste está dirigido a la compra de las aletas (FAO, 2000), aunque se consideran de baja calidad, tienen importancia por su volumen (Castro *et al.*, 1999).

El reclutamiento y por lo tanto la abundancia de una especie depende principalmente de la reproducción. Teniendo en cuenta que los elasmobranquios exhiben diversas estrategias reproductivas como son: madurez tardía, fecundidad baja y largos periodos de gestación; la mayoría de las poblaciones no responden satisfactoriamente a las técnicas de pesca, que están enfocadas generalmente a la captura de peces óseos. Como



consecuencia este recurso se caracteriza por ser de corto tiempo o de baja producción, además de que es lento en recuperarse y algunas veces requiere décadas para alcanzar sus anteriores niveles poblacionales (Holden, 1974; Cailliet y Bedford, 1983).

En las pesquerías de algunas especies de tiburones, se han determinado parámetros de crecimiento y reproducción, para la evaluación adecuada de las poblaciones. Sin embargo, los principales factores que complican el manejo y regulación de este recurso son la poca información biológica disponible para muchas otras especies (Tovar-Ávila, 2000; Cortés, 2003). De esta información, los aspectos reproductivos ocupan el primer lugar de importancia. Determinando la biología reproductiva, se puede llegar a conocer la capacidad reproductiva de la especie y por lo tanto la tasa de recuperación de la población, las principales áreas de crianza, el desarrollo de juveniles, y la distribución espacial tanto por sexos como por tallas, éstas son de vital importancia en la evaluación de la dinámica y estructura poblacional de las especies explotadas (Mendizábal y Oriza *et al.*, 2000).

El método tradicional que se ha desarrollado y aplicado para determinar la biología reproductiva; se basa principalmente en datos morfométricos y características externas de los organismos. Por lo que el trabajo consiste en tomar medidas de las estructuras reproductivas para categorizar a hembras y machos como adultos o juveniles. Se estima la fecundidad mediante el conteo de embriones y se estima el periodo de gestación. Sin embargo, algunos aspectos como el periodo de apareamiento o fertilización son difíciles de determinar.

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



El tiburón azul *Prionace glauca*, es uno de los tiburones oceánicos más abundantes (Beckett, 1970; Stevens, 1976) y es el de más amplia distribución en todos los océanos del mundo (Compagno, 1984). Es una especie delgada y fusiforme, con un hocico largo y estrechamente redondeado. La primera aleta dorsal se ubica hacia la parte posterior del cuerpo. Las aletas pectorales son muy largas, angostas y levemente falciformes, el pedúnculo caudal presenta a cada lado una débil quilla. Su color en el dorso es azul oscuro y en los flancos azul intenso y el vientre blanco (Compagno *et al.*, 1995) (Fig.1).

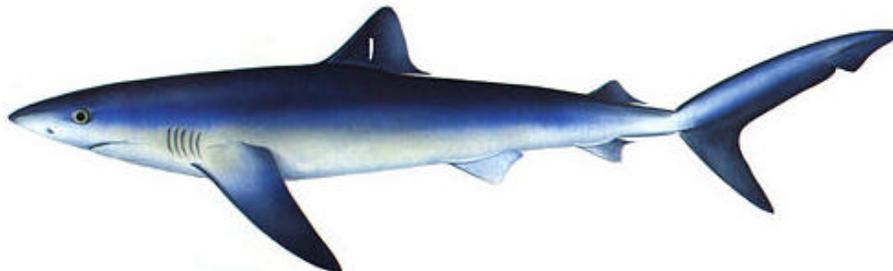


Figura 1. Tiburón azul (Tomado de FAO, 2000).

Es una especie vivípara placentaria. El período de gestación es de 9 a 12 meses (Pratt, 1979). La fecundidad es muy variable, con un intervalo común de 28 a 54 embriones (Castro *et al.*, 1999), aunque existe un registro máximo de 135 embriones, lo que coloca al tiburón azul como una de las especies más fecundas (Gubanov y Grigor'yev, 1975).

Aunque este tiburón tiene como estrategia reproductiva el tener muchas crías, no produce suficiente volumen para soportar la presión ejercida a través de la pesca; por lo que esta estrategia se considera como un factor limitante (Pratt y Casey, 1990). Por ello es importante conocer los aspectos biológicos de la especie; con especial atención en la reproducción, que permitan aportar elementos para la regulación pesquera en Baja California Sur y en el resto del país.



## II. ANTECEDENTES

### Distribución, hábitat y biología.

El tiburón azul, pertenece al orden Carcharhiniformes, familia Carcharhinidae, género *Prionace* con una sola especie: *Prionace glauca* (Nelson, 1994). Diversos estudios se han realizado con esta especie, dada su importancia a nivel mundial.

En cuanto a su distribución, este tiburón habita la zona oceánica-epipelágica y litoral de aguas templadas, subtropicales y tropicales (Pratt, 1979). Se puede encontrar desde la superficie hasta 152 metros de profundidad, con un record de 600 m; en ocasiones puede encontrarse en la costa, especialmente de noche. Es frecuente en áreas que presentan una plataforma continental angosta. Prefiere aguas frías de 7 - 16°C, pero puede tolerar 21°C o más; Aunque se encuentra presente en los trópicos lo hace a grandes profundidades (Carey y Scharold, 1990). En el Océano Pacífico tiene una mayor abundancia entre los 20 y 50° N (Compagno 1984). Presenta un patrón de movimientos estacionales, con un incremento en la abundancia en altas latitudes durante el verano y en bajas latitudes en el invierno (Sudda 1953; Strasburg 1958; Compagno 1984). Se encuentra en los trópicos entre los 20° N y S. Siendo abundante de manera uniforme durante todo el año (Fig. 2).

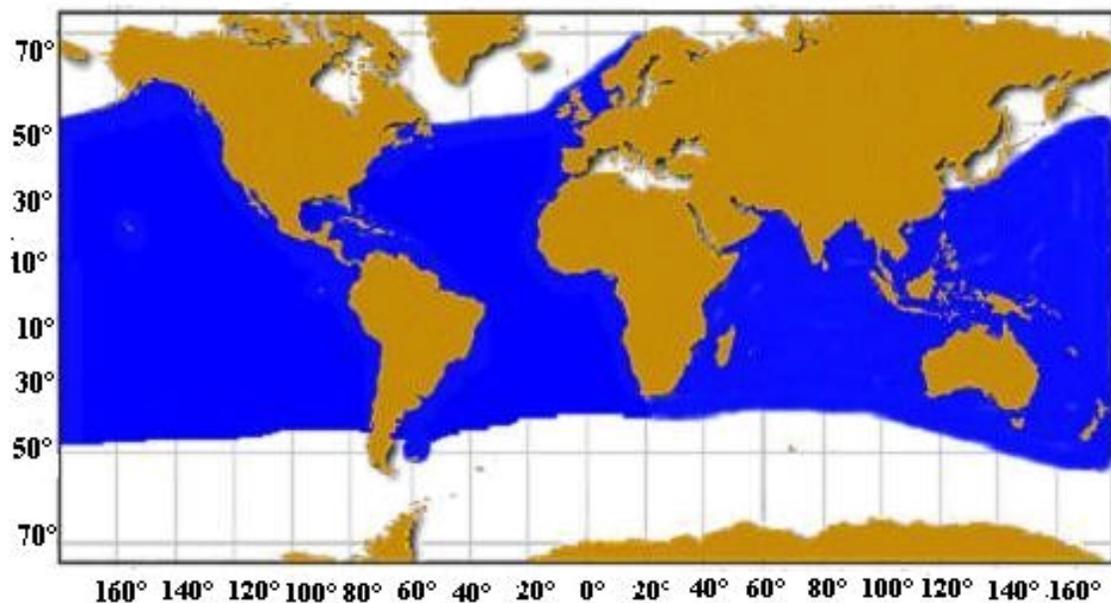


Figura 2. Distribución geográfica del tiburón azul (Tomado de la FAO, 2000).



El tiburón azul se alimenta de peces pequeños como *Engraulis mordax*, *Syngnathus californiensis*, *Trachurus simetricus* y *Chromis punctipinnis*. Cefalópodos asociados con el hábitat pelágico, componen la presa principal en tiburones capturados cerca de Isla Catalina, California, E.U. Se llegó a la conclusión que los tiburones se mueven hacia la costa para alimentarse en el invierno de grupos de calamares de la especie *Loligo opalescens* (Tricas,1979). Para el Océano Atlántico Norte, se encontró que los cefalópodos representaron el grupo primario de alimento, seguido de peces teleósteos en menor importancia (Kohler y Stillwell,1981; Kohler, 1989; Clarke *et al.*, 1996; Macnaughton *et al.*, 1998). Uno de los trabajos más reciente fue realizado por Vaske-Junior y Rincón-Filho (1998) quienes estudian al tiburón azul y al tiburón mako provenientes de las aguas del sureste de Brasil, los cefalópodos fueron la presa principal para el tiburón azul con especies como *Chiroteuthis verany*, *Moroteuthis robsoni* y *Ancistrocheirus lesueuri*, mientras que el pez *Lepidocibium flavobrunneum* fue la segunda presa más importante.

Al igual que otros elasmobranquios, los tiburones azules tienen una estrategia reproductiva compleja, lo cual le ha ayudado a su éxito como especie. Suda (1953), Strasburg (1958), Aasen (1966) y Stevens (1974) han contribuído con información acerca de la reproducción del tiburón azul en el Océano Pacífico y en el Océano Atlántico. Pratt (1979), aporta información sobre el mecanismo de almacenamiento de esperma y las adaptaciones para el apareamiento de tiburones azules del Océano Atlántico noroccidental.

Cailliet y Bedford (1983) proponen para las costas de California, una talla de primera madurez de 220 cm de longitud total y como talla de nacimiento de 34 a 63 cm LT. Otake y Mizue (1985) con muestras obtenidas de las costas de Japón, realizan observaciones sobre la estructura de la placenta. Harvey (1989), realiza investigaciones sobre los hábitos alimenticios, abundancia estacional, tamaño y sexo del tiburón azul en Bahía Monterey, California y propone un patrón de migración asociado a la madurez y sexo; mientras que De Carvalho y Gomes (1992), hacen una reinterpretación de la morfología del gonopterigio con notas sobre la terminología de las estructuras.



Pratt (1993), realiza estudios sobre el almacenamiento de esperma en las glándulas oviduciales de varias especies de tiburón, estableciendo tres patrones de inseminación; registrando para el tiburón azul un almacenamiento a largo plazo con inseminación repetida. Hazin *et al.* (1994), realiza estudios de reproducción en el sudoeste ecuatorial del Océano Atlántico, con 82 machos y 88 hembras. En 38 hembras encontró almacenamiento de esperma en las glándulas oviduciales.

Nakano (1994), describe la biología reproductiva del tiburón azul, incluyendo la proporción y distribución de cada sexo en el Océano Pacífico Norte, con una talla de madurez para los machos entre los 175 y 218 cm de LT con 4 y 5 años y para las hembras maduran entre los 189.5 y 218 cm LT, que corresponden de 5 a 6 años. Castro y Mejuto (1995), observaron un comportamiento diferente en cuanto a desarrollo y migración entre sexos, para el Golfo de Guinea y mencionan que el número de embriones está en relación directa con la longitud total de la hembra. Laughlin y Urogetz (1999), concluyen que las aguas costeras de California podrían ser una zona de alumbramiento y crianza, al observar la expulsión de crías en esta área.

En el Océano Pacífico Mexicano Reyes-González (2001) realiza el primer trabajo sobre reproducción de tiburón azul, en las costas adyacentes a Bahía San Quintín, Baja California, reportando una talla de primera madurez entre 145 y 175 cm de LT en machos y desde los 199 cm LT para las hembras. Ramírez-González (2002) describe la captura comercial de tiburones pelágicos en la costa occidental de Baja California Sur, México donde abarca algunos aspectos de la biología de las especies capturadas entre las que se encontró tiburón azul. Esta especie también se registró en la costa suroccidental del Golfo de California, México, en un estudio realizado sobre captura comercial por Guerrero-Maldonado (2002).



### III. JUSTIFICACIÓN

Los tiburones a diferencia de los peces teleósteos presentan un lento crecimiento y un índice de fecundidad bajo por lo que son más susceptibles a la sobreexplotación; teniendo como resultado una disminución drástica de las poblaciones de tiburones a escala mundial, incluyendo a México. A pesar de que existe información amplia sobre aspectos biológicos de los tiburones incluyendo la reproducción, los resultados son muy variables entre sí, debido a que las características ambientales son diferentes en cada región geográfica o a que se emplean diferentes métodos de determinación de madurez.

*Prionace glauca* es la especie más abundante y es la que soporta la mayor pesquería de tiburón en la costa occidental de Baja California Sur, al ser una especie importante es necesario conocer algunos aspectos relacionados con su reproducción. El tiburón azul se caracteriza por presentar un desarrollo gradual en sus estructuras reproductivas, por esta razón el método clásico para determinar la madurez sexual con medidas morfométricas no es suficiente, por lo que en este estudio se complementa con el método histológico como un indicador más preciso. La combinación de ambos métodos generará un conocimiento más completo de la biología reproductiva como parte de los elementos biológicos necesarios para su regulación, en el sector pesquero o en la conservación de la especie.



## IV. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo General

Describir la biología reproductiva del tiburón azul *Prionace glauca* en la costa occidental de Baja California Sur, México.

### 4.2 Objetivos Particulares

-  Determinar la distribución temporal en la costa occidental de Baja California Sur.
-  Determinar la composición de tallas de los organismos capturados.
-  Determinar la proporción de sexos en embriones, juveniles y adultos.
-  Describir el desarrollo de los folículos seminíferos de los machos.
-  Describir el almacenamiento de esperma en la glándula oviducal de las hembras.
-  Caracterizar los estadios de madurez en machos y hembras.
-  Determinar la talla de primera madurez para machos y hembras.
-  Conocer la fecundidad y el periodo de gestación.



## V. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio, queda comprendida entre los 22° y los 27° latitud Norte y los 110° y los 113° longitud Oeste, en la costa occidental de la Península de Baja California (Fig.3). Esta área forma parte de la región central del Océano Pacífico Oriental, la cual tiene en su conjunto una geomorfología compleja, presentando algunas áreas relativamente someras, junto con numerosas montañas, cordilleras y trincheras submarinas (Wooster y Cromwell, 1958). La plataforma continental es relativamente angosta, ensanchándose en algunos lugares donde se presentan golfos, bahías y lagunas costeras; mientras que el talud continental presenta anchuras variables y gradientes diferentes de pendiente (Chase, 1968).

En la costa occidental de Baja California Sur, se encuentran algunos cañones y montañas submarinas como son: “Tío Sam”, “Rosa”, “Lusitania”, “Morgan” y “Golden Gate”; además de un sistema volcánico que se ubica entre las Islas Revillagigedo y la propia península (Chase, 1968).

Estas montañas submarinas constituyen a menudo puntos importantes de concentración de peces, debido a los fuertes vientos y movimientos locales que propician que las masas de agua interactúen con las costas, islas y las propias cimas de las montañas submarinas, formando condiciones oceanográficas intensas como remolinos y surgencias (Klimley y Butler, 1988). Las surgencias tienen lugar en varias épocas del año y son más frecuentes al sur de Bahía Magdalena durante el invierno y primavera (Sverdrup *et al.*, 1942).

Con respecto a la hidrología, el área de estudio está influenciada por dos grandes corrientes: la Corriente de California y la Corriente Norecuatorial. La Corriente de California transporta aguas de origen subártico, hacia el sur a lo largo de la costa oeste de Estados Unidos y de la península de Baja California; los límites, la dirección y la velocidad de esta corriente varían considerablemente con la época del año y se caracteriza por su temperatura y salinidad relativamente bajas y por un alto contenido de oxígeno disuelto (Sverdrup *et al.*, 1942). Mientras que la Corriente Norecuatorial transporta aguas de origen trópico-occidentales, que se caracterizan por valores altos de temperatura y salinidad y



bajos niveles de oxígeno disuelto, esta corriente y la de California se encuentran en las inmediaciones de Cabo San Lucas y Cabo Corrientes, dando origen a pronunciados gradientes en estos factores (Sverdrup *et al.*, 1942).

Frente a Baja California, el flujo de la Corriente de California se incrementa en invierno; ante el debilitamiento de los vientos septentrionales, se produce una contracorriente costera, conocida como la Corriente de Davidson, que circula en dirección norte (Gulland, 1971; Robles-Gil, 1985). Con los vientos del norte en primavera, la Corriente de California se acerca a la costa, elimina la contracorriente superficial de Davidson y condiciona la aparición de surgencias a lo largo de la costa (Walsh *et al.*, 1974). En verano y otoño la Corriente de California fluye lentamente hacia el sur, pero mar adentro, mientras se incrementa la influencia de la Corriente de Davidson hacia el norte a lo largo de la costa.

Al chocar con la Corriente de Costa Rica, a una latitud que varía alrededor de los 23° N, la Corriente de California se desvía hacia el oeste y origina la Corriente Norecuatorial (Sverdrup *et al.*, 1942).

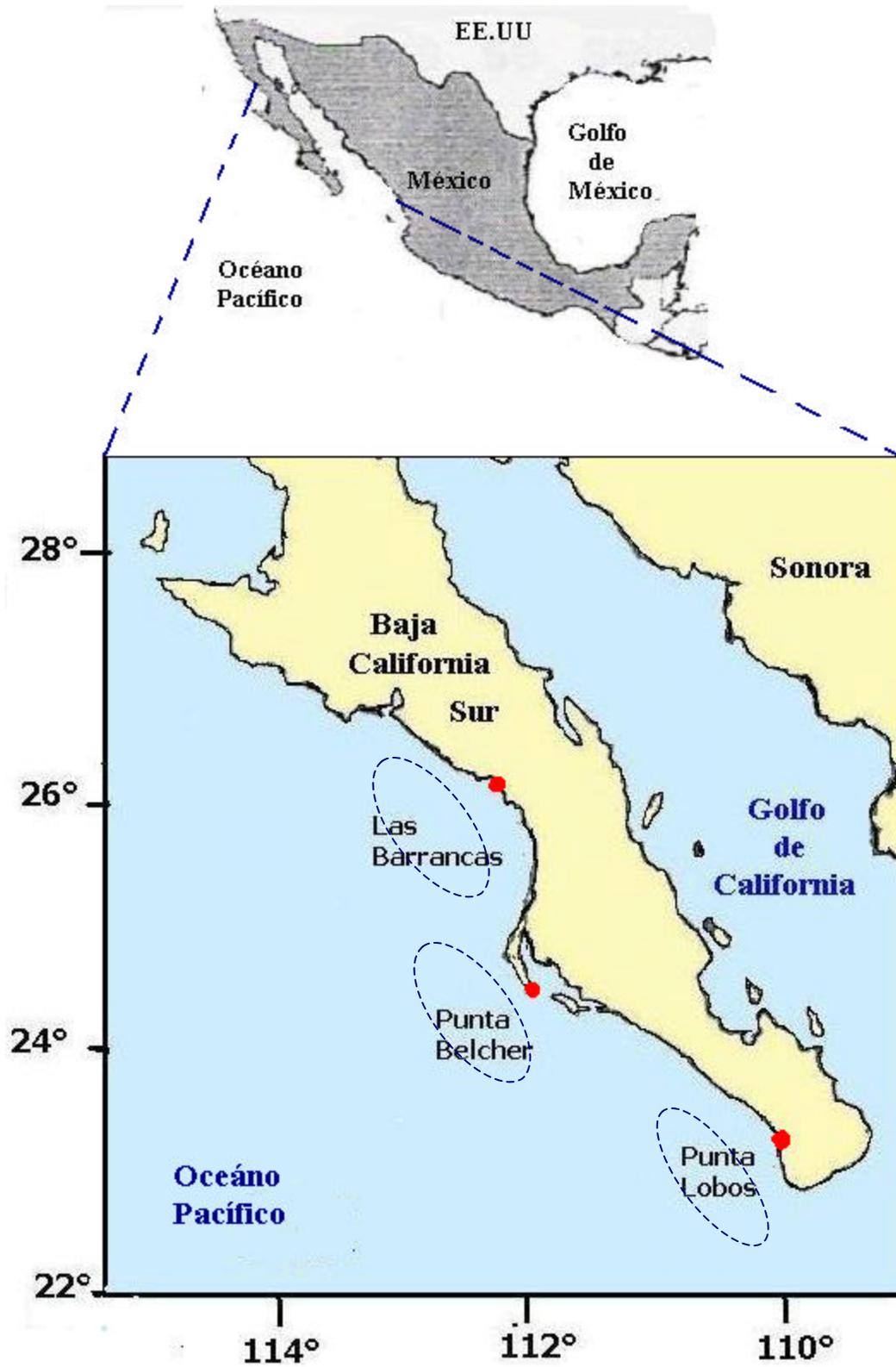


Figura 3. Área de estudio, mostrando la ubicación de los campamentos pesqueros. Los círculos representan el área aproximada de pesca.



## VI. MATERIAL Y MÉTODOS.

Los organismos fueron obtenidos de diferentes campos pesqueros: **Punta Belcher** que se encuentra en Isla Magdalena ( 24° 15' N y 112° 05' W), con muestreos mensuales; **Punta Lobos** (23° 25' N y 110° 15' W), con muestreos quincenales y **Las Barrancas** (26° 04' N y 112° 16' W), donde se realizó un muestreo (Fig. 3). Estos sitios se seleccionaron en función de las facilidades otorgadas por los pescadores y donde el tiburón azul fue la especie más abundante en las capturas durante el periodo de estudio, el cual fue realizado de agosto del 2000 a marzo del 2003.

La captura del tiburón se realiza de diferente manera en cada campo pesquero. Los organismos registrados en Punta Lobos, se capturaron con palangres que se colocaban desde 30 a 40 millas náuticas de distancia de la costa. Los palangres tenían aproximadamente 2.1 Km (1250 brazas) de línea principal, de la cual colgaban ramales con 17 m de distancia entre cada uno, con anzuelos del No.4, utilizando como carnada: dorado, diablo y pierna; los pescadores salen al amanecer y regresan por la tarde. En Punta Belcher se utilizan redes de enmalle de deriva de aproximadamente 200 m de largo por 25 m de fondo, con luz de malla de 10 a 12 pulgadas. Algunas ocasiones se utilizaron palangres de superficie poniendo como carnada: marlin, macarela y barrilete. Estos se encontraron desde 30 a 80 millas náuticas de la costa, los pescadores salen por la tarde, permanecen en marea toda la noche y regresan al amanecer. En Las Barrancas, se utilizan ambos artes de pesca colocándolas a una distancia desde 30 a 50 millas náuticas, aquí los pescadores salen por la mañana y regresan al atardecer.

En el formato elaborado para fines del muestreo, se registró la especie, la cual fue identificada con las claves de Compagno *et al* (1995), se anotó la localidad de muestreo, fecha, distancia de la costa a la zona de pesca y método de pesca. A cada organismo se le tomó la longitud total (al centímetro más cercano), midiendo con una cinta métrica desde la punta del morro hasta el lóbulo superior de la aleta caudal (Compagno, 1984). Se determinó el sexo diferenciándose los machos de las hembras por presentar en las aletas pélvicas los gonopterigios (órganos copuladores) (Álvarez del Villar, 1978).



La distribución temporal se realizó, analizando el número de organismos capturados en los días de muestreo durante el periodo de estudio. Los datos de tallas fueron agrupados en tablas de frecuencias con intervalos de 10 cm (calculado con la regla de Sturges, en Daniel, 2002), para obtener la composición de tallas de la captura mediante histogramas de frecuencia para sexos combinados.

Para determinar la proporción de sexos se contaron el 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 1:1, la prueba estadística utilizada fue la  $\chi^2$ . La regla de decisión se realizó con una confianza del 95% (Daniel, 2002).

Para determinar la madurez sexual del tiburón azul se registraron variables morfométricas y morfológicas de las estructuras reproductivas. Para obtener las gónadas, se realizó una incisión desde la cloaca hasta el centro de las aletas pectorales para permitir el acceso a la cavidad corporal y se colectó todo el aparato reproductor.

En los machos se midió la longitud de los gonopterigios, se observó el grado de calcificación, la rotación, la apertura del rifiodón (puntal distal del gonopterigio), presencia de semen y hematomas (Clark y Von Schmidt, 1965; Aasen, 1966; Pratt, 1979) Además se hicieron cortes histológicos en la parte media del testículo, en el epidídimo, conductos deferentes y en la parte posterior de la vesícula seminal para observar el almacén de esperma y poder determinar el estado de madurez (Pratt y Tanaka, 1994). En las hembras se midió el diámetro del ovocito más grande, el ancho de la glándula oviducal y el ancho de los úteros. También se observó si presentaban ovocitos maduros en el ovario o huevos y/o embriones en el útero. (Olsen, 1954; Springer, 1960), Se realizaron cortes histológicos en la tercera parte posterior de la glándula oviducal, la parte media del ovario y parte media del útero.



Se realizaron análisis de regresión lineal, para observar si existía relación entre el largo del gonopterigio con la longitud total así como el grado de calcificación y la presencia de semen en los machos ya que según Pratt (1979) y Joung y Chen (1995) esta relación es un índice de madurez. En las hembras se realizó este mismo análisis con el diámetro de los ovocitos y la glándula oviducal con la longitud total ya que esto indica el comienzo del período de madurez (Natanson y Cailliet, 1986). La talla de primera madurez se estimó cuando el 50% de los individuos son sexualmente maduros en la frecuencia de clase (Pratt y Otake, 1990).

La fecundidad uterina se determinó por medio del conteo de embriones o huevos fecundados por hembra; para hacer mas preciso este dato, se determinó también la fecundidad ovárica mediante el conteo de ovocitos maduros en el ovario (Pratt, 1979). La estimación del período de gestación se obtuvo a través de la variación del tamaño de los embriones, utilizando el promedio de talla mensual de la camada por hembra como un indicador de crecimiento de acuerdo a lo propuesto por Natanson y Cailliet (1986) y Francis y Stevens (2000). El tamaño de nacimiento se estimó de la comparación del tamaño máximo embrionario y el tamaño menor en las capturas ( Liu *et al.*, 1999).

Para el análisis histológico se realizó la técnica descrita por Martoja y Martoja-Pierson (1970). Las muestras fueron lavadas con agua corriente durante 6 a 8 horas, para eliminar el exceso de formol y urea y colocadas en alcohol al 70% durante dos o tres días. Posteriormente se realizó la deshidratación, la cual consistió en cambios sucesivos de alcohol a concentraciones crecientes en un procesador de tejidos e incluidas en Paraplast. Se realizaron cortes de 7 micras de grosor con un micrótomo tipo Minot y fueron colocadas en portaobjetos. Se colocaron en la estufa para disolver la parafina excedente y se hizo la tinción con Hematoxilina- Eosina en un teñidor de tejidos automático. Las muestras se montaron con Citoseal y la lectura de las laminillas se hizo con un microscopio óptico.



## VII. RESULTADOS

### 7.1 Distribución temporal del tiburón azul en Baja California Sur.

El tiburón azul fue la especie más importante durante el periodo de estudio (Agosto 2000-Marzo 2003), constituyendo el 63% de la captura total, seguido por el tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (16%) y el 21% restante estuvo integrado por *Isurus oxyrinchus*, *Sphyrna lewini*, *S. zygaena* y *Alopias pelagicus*.

En total se registraron 1033 tiburones azules, 55 corresponden al año 2000 (agosto-diciembre); sin embargo, la mayor cantidad de tiburones se obtuvo en el 2001, con 638 de enero a julio. En 2002, la presencia de *Prionace glauca* fue más constante durante todo el año, aunque solo se registraron 162 tiburones. En el 2003 se obtuvieron 177 organismos (enero-marzo). Agrupando todos los meses de muestreo, se observó que las mayores capturas fueron en los meses de invierno-primavera (Fig.4). De los tres campos pesqueros que se visitaron, Punta Belcher fue la localidad más representativa con 930 organismos; mientras que en Las Barrancas se recolectaron 61 organismos en un solo muestreo y en Punta Lobos se obtuvieron 42 organismos (Tabla 1).

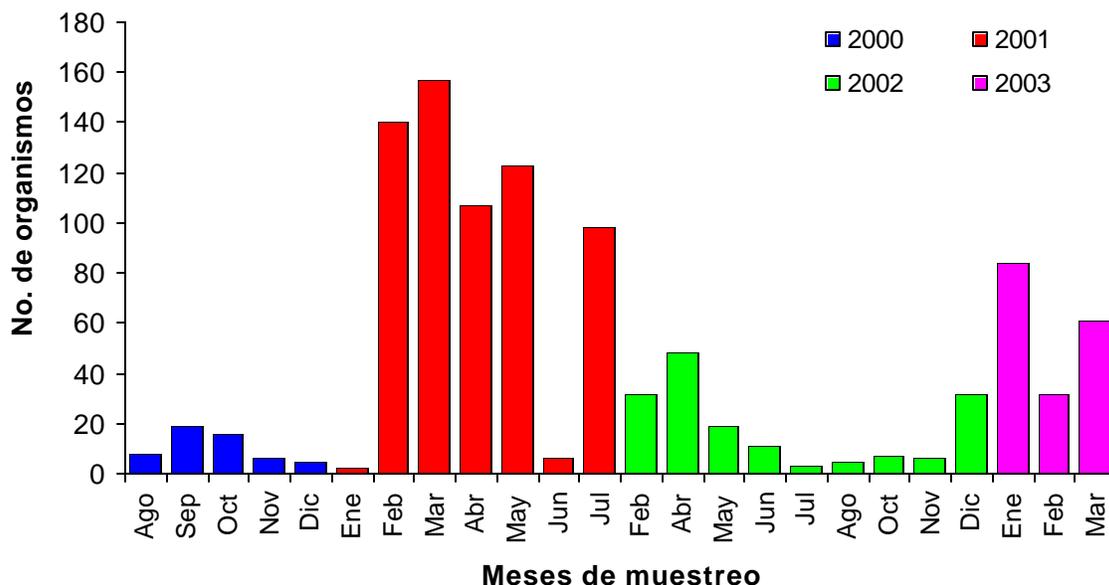


Figura 4. Distribución temporal del tiburón azul durante el periodo de estudio.



Tabla 1. Número de organismos observados por mes, durante el periodo de agosto del 2000 a marzo del 2003, en las tres localidades de muestreo.

Fecha de Muestreo	LOCALIDADES								
	PUNTA BELCHER			PUNTA LOBOS			LAS BARRANCAS		
	Hembras	Machos	Total	Hembras	Machos	Total	Hembras	Machos	Total
Ago-00	4	3	7	1	0	1	-	-	-
Sep-00	12	7	19	-	-	-	-	-	-
Oct-00	5	10	15	1	2	3	-	-	-
Nov-00	2	3	5	1	0	1	-	-	-
Dic-00	-	-	-	4	1	5	-	-	-
Ene-01	-	-	-	2	0	2	-	-	-
Feb-01	90	50	140	-	-	-	-	-	-
Mar-01	73	81	154	2	1	3	-	-	-
Abr-01	28	77	105	-	-	-	-	-	-
May-01	8	115	123	-	-	-	-	-	-
Jun-01	-	-	-	0	6	6	-	-	-
Jul-01	1	89	90	0	6	6	-	-	-
Ago-01	1	2	3	-	-	-	-	-	-
Feb-02	14	18	32	-	-	-	-	-	-
Abr-02	2	46	48	-	-	-	-	-	-
May-02	4	15	19	-	-	-	-	-	-
Jun-02	-	-	-	0	10	10	-	-	-
Jul-02	0	4	4	0	2	2	-	-	-
Ago-02	2	3	5	1	2	3	-	-	-
Oct-02	0	7	7	-	-	-	-	-	-
Nov-02	3	3	6	-	-	-	-	-	-
Dic-02	23	9	32	-	-	-	-	-	-
Ene-03	43	41	84	-	-	-	-	-	-
Feb-03	9	23	32	-	-	-	-	-	-
Mar-03	-	-	-	-	-	-	59	2	61
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>606</b>	<b>930</b>	<b>12</b>	<b>30</b>	<b>42</b>	<b>59</b>	<b>2</b>	<b>61</b>



## 7.2 Composición de tallas.

El intervalo de tallas fue de 81 cm a 270 cm de longitud total. Las tallas de los machos variaron desde 81 cm hasta 270 cm LT; mientras que en las hembras el intervalo fue de 90 cm hasta 252 cm de LT. El macho de menor tamaño se encontró en abril y la hembra más pequeña en febrero.

En general la distribución de tallas es bimodal, con una presencia más importante de tallas juveniles para ambos sexos. En machos la moda más importante es en el intervalo entre 131-140 cm, que corresponde a juveniles y la segunda moda de 201-210 que corresponde a tiburones adultos. Por su parte las hembras presentan una primera moda en el intervalo de 121-130 cm y a una segunda entre 181-190 cm de LT. Los machos predominaron sobre las hembras en la mayoría de las tallas, también se observa que los organismos más grandes fueron machos con excepción de dos hembras de 238 cm y 252 cm LT. (Fig.5)

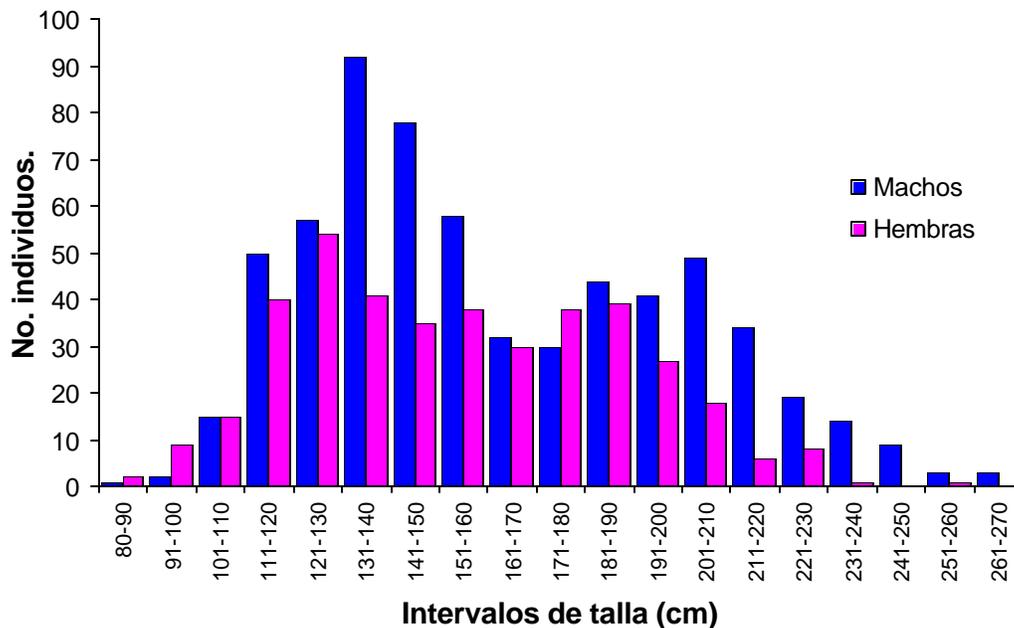


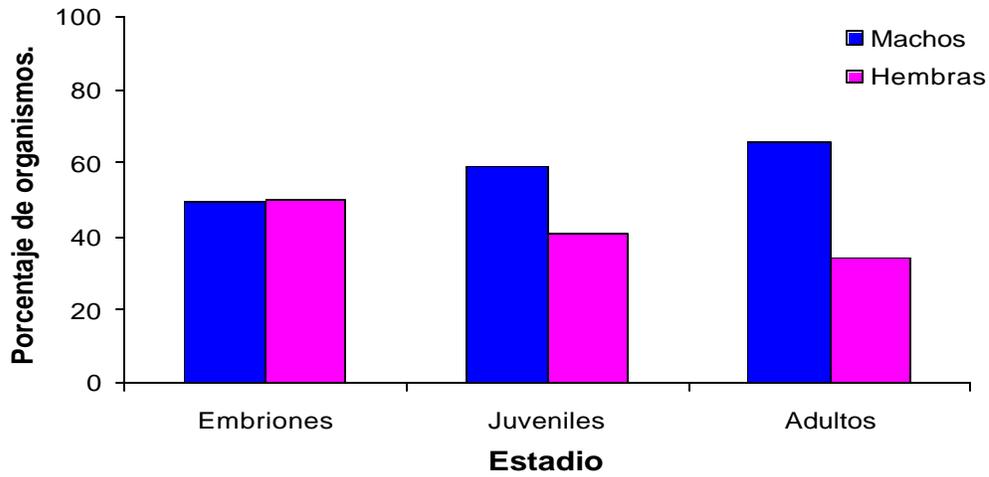
Figura5. Composición de tallas total para machos y hembras del tiburón azul.



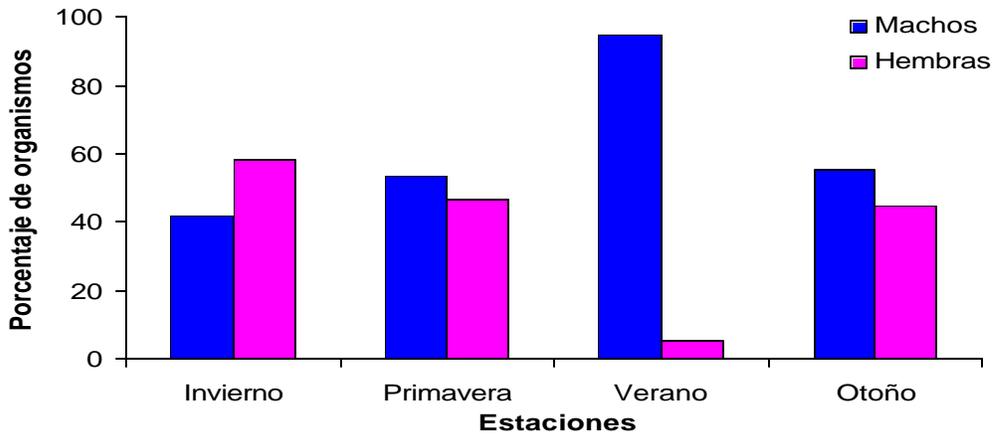
### 7.3 Proporción de sexos.

Durante todo el muestreo los machos fueron más abundantes que las hembras, presentando una proporción de sexos total de 0.63H:1M ( $\chi^2=50.7$ ,  $p<0.05$ ). Los juveniles presentaron una proporción de 0.7H:1M, siendo significativamente diferente ( $\chi^2=23.4$ ,  $p<0.05$ ). En los adultos la proporción fue de 0.5H:1M ( $\chi^2=31.8$ ,  $p<0.05$ ); mientras que los embriones presentaron una proporción de sexos de 1.01H:1M, sin presentar diferencias significativas ( $\chi^2=0.02$ ,  $p>0.05$ ) (Fig.6a).

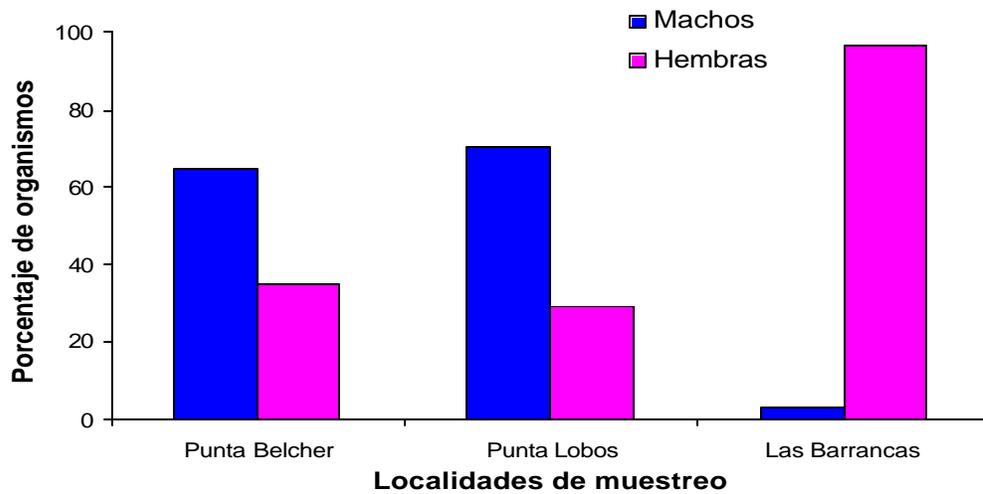
Se observó que en invierno las hembras son más abundantes (1.3H:1M) ( $\chi^2=3.55$ ,  $p>0.05$ ); siendo la mayoría juveniles. En la primavera esta relación se invierte debido a que los machos son más abundantes (0.87H:1M) ( $\chi^2=2.3$ ,  $p>0.05$ ), pero sin llegar a existir diferencias significativas, por lo tanto la relación no es diferente de 1H:1M; en el verano la proporción es de 0.05H:1M ( $\chi^2=205$ ,  $p<0.05$ ). En el otoño la proporción es de 0.8H:1M sin ser diferente de la proporción 1H:1M ( $\chi^2=0.64$ ,  $p>0.05$ ) (Fig.6b). La localidad más representativa fue Punta Belcher donde se observó una proporción de 0.53H:1M ( $\chi^2=83.1$ ,  $p<0.05$ ); aunque en Punta Lobos el número de organismos fue menor, mostró el mismo patrón de distribución, siendo más abundantes los machos con una proporción de 0.43H:1M ( $\chi^2=7.04$ ,  $p<0.05$ ); Mientras que en Las Barrancas la relación se invirtió notablemente con una proporción de 29H:1M ( $\chi^2=53.2$ ,  $p>0.05$ ) (Fig.6c).



a)



b)



c)

Figura 6. Proporción de sexos en el tiburón azul. a) por estadio, b) por estaciones y c) por localidades de muestreo.



## 7.4 Madurez sexual en machos.

Se hizo una descripción morfológica comparando las características de las estructuras del aparato reproductor, para determinar los estadios de juvenil y adulto.

### 7.4.1 Descripción del aparato reproductor: comparación entre juveniles y adultos.

El aparato reproductor masculino consta de un par de testículos, el epidídimo y el órgano epigonal que se encuentran en pares; conductos deferentes y vesícula seminal (Fig.7 y 8).

#### **Testículos.**

En los juveniles del tiburón azul, los testículos son alargados y redondeados, de un color blanquecino a crema sin ser turgentes y el pliegue germinal es apenas visible; se encuentran en la parte anterior de la cavidad abdominal, embebidos en la porción anterior del órgano epigonal (Fig. 7). En los organismos más pequeños se observan las fases de espermatogénesis, pero sin llegar a la formación de espermatozoides o algunas veces se observan espermatozoides en la parte distal de la zona germinal, muy cerca de la zona de reabsorción.

En los adultos los testículos presentan una coloración crema a rosa con una textura más firme, con un pliegue en la parte ventral donde se encuentra la zona germinal (Fig. 8). Los testículos están compuestos de numerosos folículos que contienen células espermatogénicas y a diferencia de los juveniles aquí se observan todos los estados de desarrollo. Estos folículos presentan un desarrollo tipo diamétrico que va de la zona germinal hacia la periferia. Se observan folículos maduros con espermatozoides en la región media, entre la zona germinal y la zona distal del testículo (Fig. 9 y 10). Los espermatozoides son transportados al epidídimo a través de los conductos eferentes.

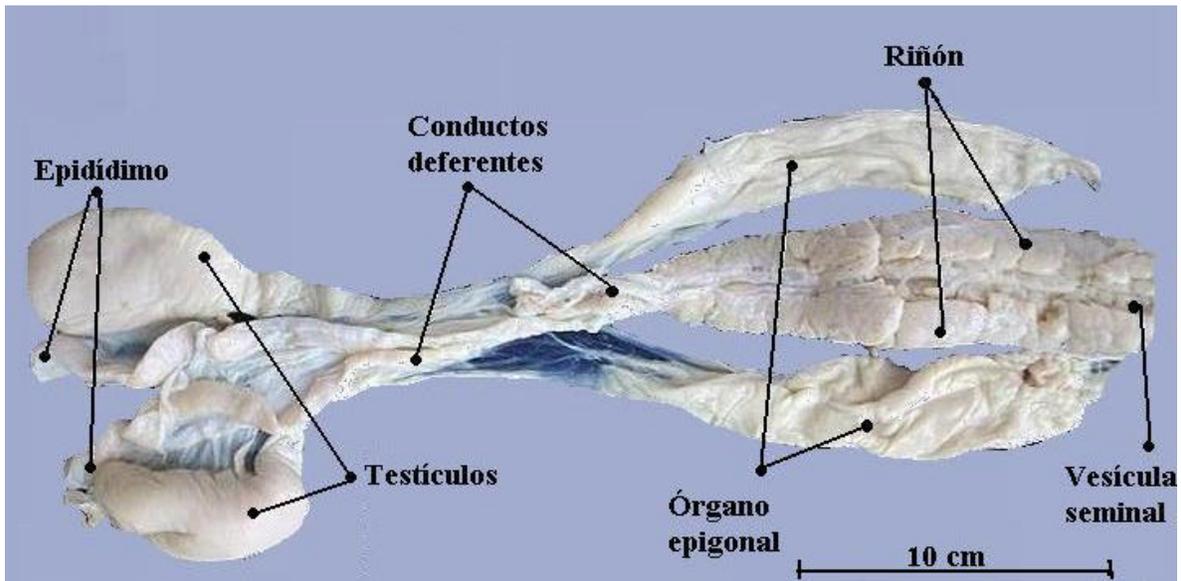


Figura 7. Morfología externa del aparato reproductor de un tiburón macho juvenil.

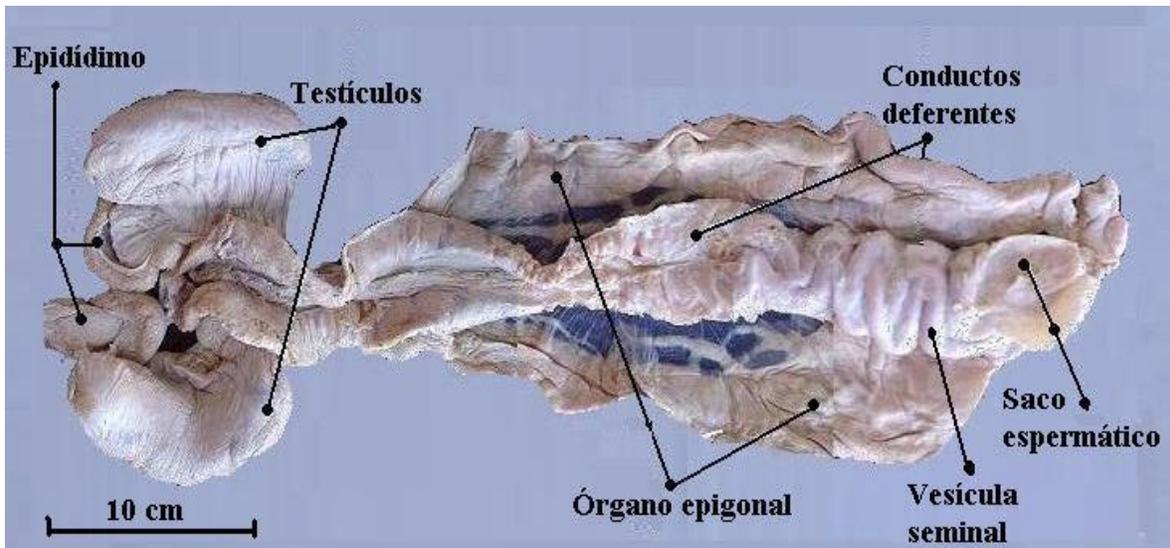


Figura 8. Morfología externa del aparato reproductor de un tiburón macho adulto.

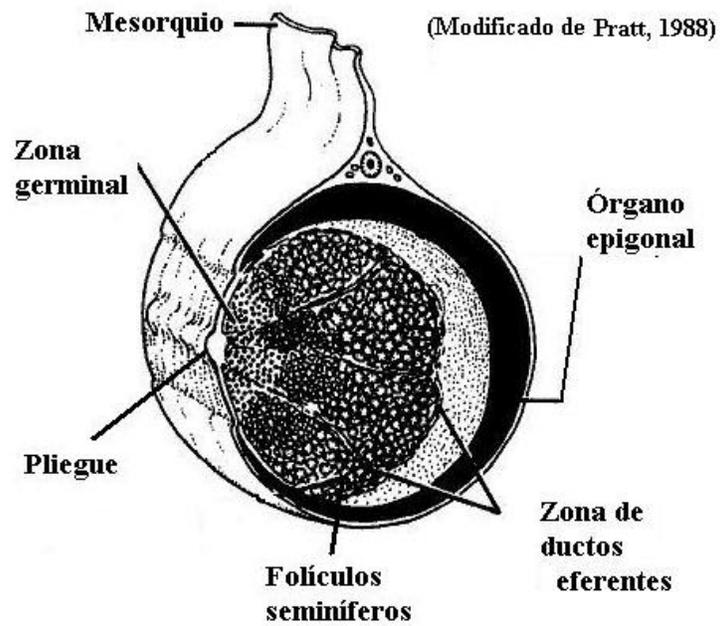


Figura 9. Esquema de un testículo de tipo diamétrico.

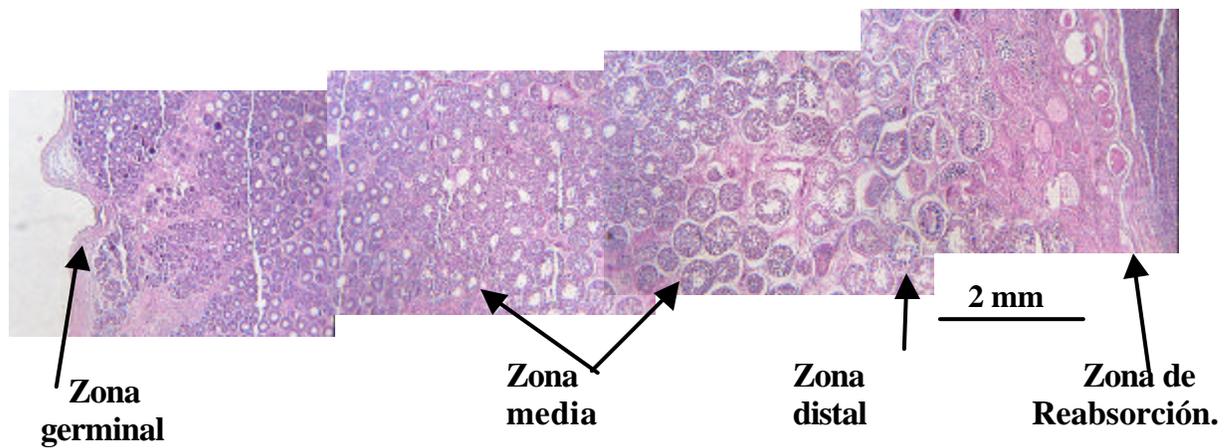


Figura 10. Corte transversal del testículo visto al microscopio, mostrando el desarrollo diamétrico de los folículos seminíferos.



### **Desarrollo de los folículos seminíferos.**

Dentro del testículo, el desarrollo de los folículos seminíferos empieza con la asociación de una sola célula germinal y de una sola célula de Sertoli, estos folículos se encuentran en la zona germinal (Fig.11a) y termina cuando los espermatozoides son liberados junto con células de Sertoli remanentes dentro del lumen de los conductos eferentes.

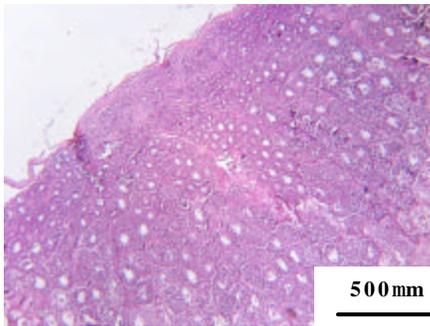
En las primeras fases las espermatogonias están en la periferia de los folículos y las células de Sertoli están en el centro delimitando el lumen, después se incrementa el número de espermatogonias y las células de Sertoli empiezan a migrar a la periferia (Fig. 11b).

Estas espermatogonias entran en la profase de la primera división meiótica, para llegar a ser espermatoцитos primarios, que se encuentran abarcando todo el folículo. Durante esta fase los folículos incrementan notablemente su tamaño (Fig.11c)

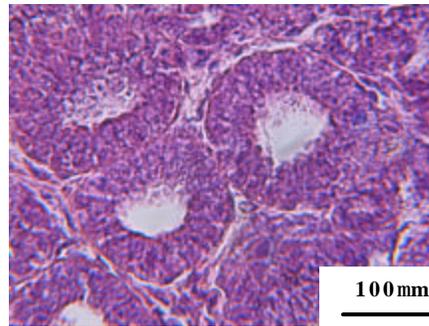
La fase de espermatoцитo secundario es de corta duración, seguido por el estadio de espermátidas, donde se observan todas las células en la periferia y el centro despejado (Fig.11d) Aquí finaliza el proceso de espermatogénesis e inicia la espermiogénesis, que es la etapa donde se lleva a cabo la diferenciación de los espermatozoides.

Como resultado de la meiosis se tienen 64 espermatozoides por célula de Sertoli, las cuales se encuentran alrededor del folículo (Fig. 11e), y se observa un arreglo con las cabezas de los espermatozoides dirigidas hacia la periferia, éstas se tiñen fuertemente de azul y los flagelos se dirigen hacia el centro ligeramente en espiral (Fig. 11f)

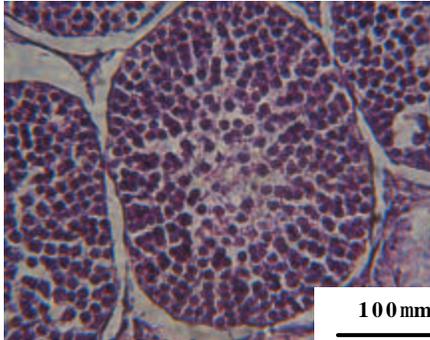
Posteriormente los espermatozoides son liberados en los conductos eferentes (Fig.11g). Del lado opuesto a la zona germinal está la zona de reabsorción, aquí se encuentran folículos con células de Sertoli remanentes y espermatozoides residuales, después de la liberación (Fig.11h).



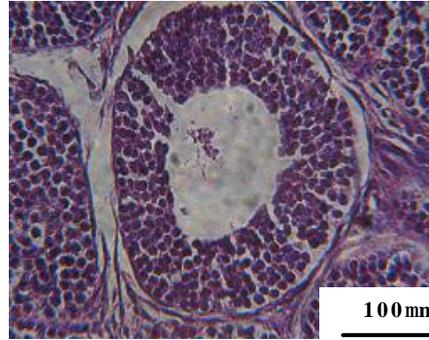
a). Zona germinal



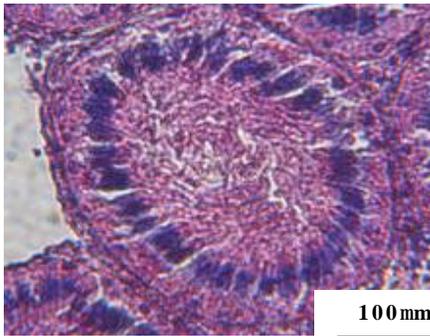
b). Espermatogonias



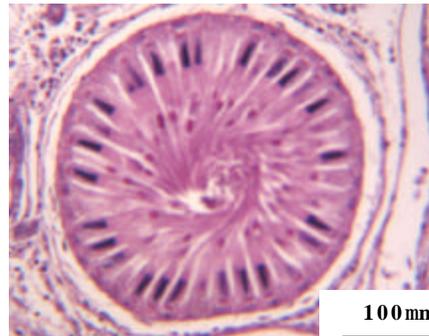
c). Espermatocitos



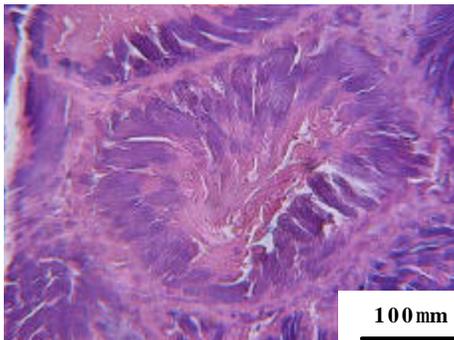
d). Espermatidas



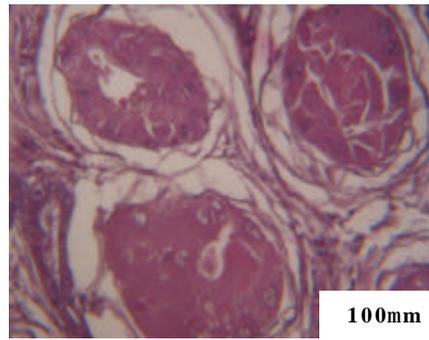
e). Espermatozoides



f). Arreglo de los espermatozoides



g). Liberación de espermatozoides



h). Folículos con restos de células de Sertoli.

Figura 11. Fases del desarrollo de los folículos seminíferos en el tiburón azul.



### Epidídimo.

Al lado de cada testículo, se encuentra un epidídimo, los cuales se originan por detrás de los testículos. En los juveniles es delgado y liso, y no distinguen las regiones que lo conforman. Los conductos que constituyen el epidídimo (CE) se encuentran vacíos o en ocasiones con muy poco espermatozoides, se observan también las glándulas de Leidyg (GL) (Fig. 12a)

En los machos adultos el epidídimo se diferencia fácilmente en regiones; en la parte anterior hay una región que se caracteriza por ser voluminosa la cual se denomina cabeza; en corte transversal presenta una forma casi circular (Fig.12 b), después hay un adelgazamiento conocido como cuello y vuelve a ser más ancho en la parte posterior. Cuando los espermatozoides son expulsados del testículo, pasan por los conductos eferentes hasta llegar a los conductos del epidídimo que están constituidos de epitelio columnar simple (ECS). Estos espermatozoides almacenados (EA), se encuentran inmersos en una matriz secretada por las glándulas de Leydig (Fig. 12 c). En ocasiones se pueden observar agrupaciones de espermatozoides conocidos como espermatóforos (Fig. 12 d).

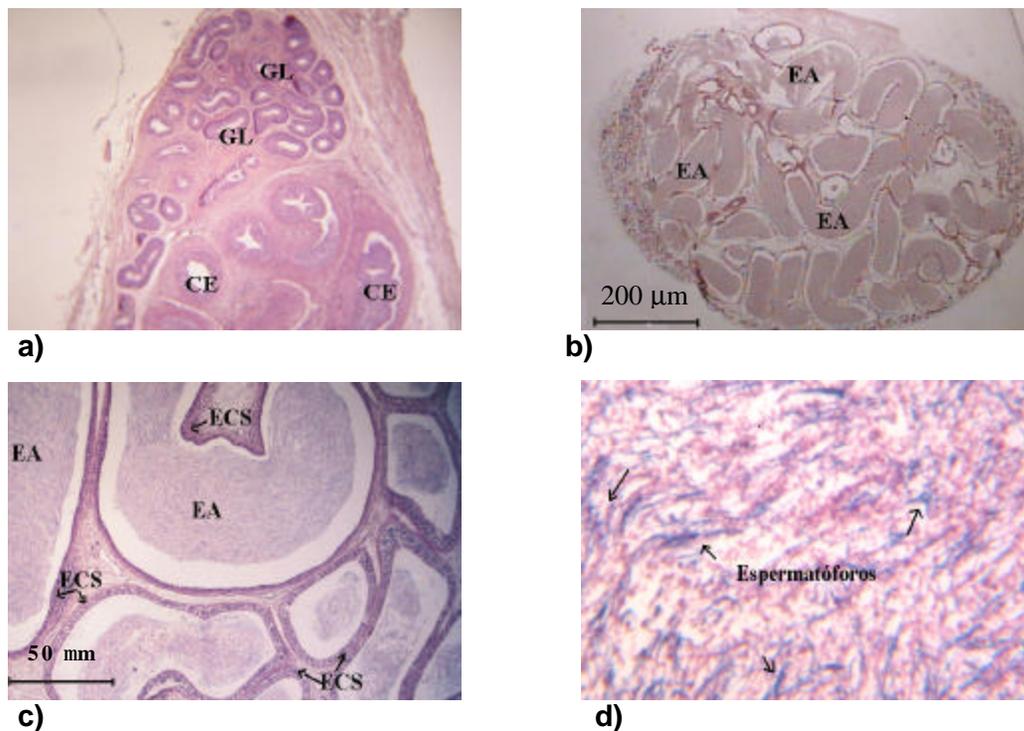


Figura 12. Vista del Epidídimo a nivel microscópico; a) en un macho juvenil; b) en un macho adulto; c) Conductos con espermatozoides y d) Espermatóforos. Abreviaturas: GL, Glándulas de Leidyg; CE, Conductos del Epidídimo; EA, Esperma Almacenado; ECS, Epitelio Columnar Simple.



### **Conductos deferentes.**

Los conductos deferentes, son la continuación de los conductos del epidídimo. En los juveniles son delgados y lisos, en ocasiones no son muy visibles ya que se encuentran inmersos en el riñón y aun no presentan espermatozoides o son muy escasos (Fig. 7). Mientras que en los adultos estos conductos constituyen el lugar donde se almacena el esperma, incrementando su grosor a medida que se acerca a la parte posterior del aparato reproductor. Dando una apariencia turgente y sinuosa, aun estando debajo del riñón.(Fig. 8). Los espermatozoides almacenados están libres o formando espermatóforos.

### **Vesícula seminal.**

La vesícula seminal, es la parte posterior donde desembocan los conductos deferentes. En los juveniles es muy delgada y de un color blanquecino, esta constituida por epitelio columnar simple y es de forma circular, presenta pliegues delgados que se unen al epitelio.( Fig. 13 a). En los adultos la vesícula seminal es muy notoria, presentando una forma semialargada y en corte transversal es circular. En esta estructura los espermatozoides forman paquetes o grupos conocidos como espermatozeugmata. También se observan pliegues que incrementan la superficie para el intercambio de nutrientes (Fig. 13 b).

### **Almacén de esperma.**

Los espermatozeugmata son masas cohesivas de matriz y espermatozoides. Los espermatozoides crean formas delimitadas con las cabezas hacia la parte interna del paquete; mientras que los flagelos se encuentran expuestos (Fig. 14 a). De acuerdo la clasificación de Pratt y Tanaka (1994), el tiburón azul presenta una espermatozeugmata de tipo compuesto; donde los espermatozoides periféricos, tienen los flagelos expuestos delimitando la agrupación con una capa externa (CE). Mientras que en la matriz (M) hay otros espermatozoides con los flagelos dirigidos hacia el centro formando proyecciones irregulares o capas internas (CI)(Fig.14 b y c).

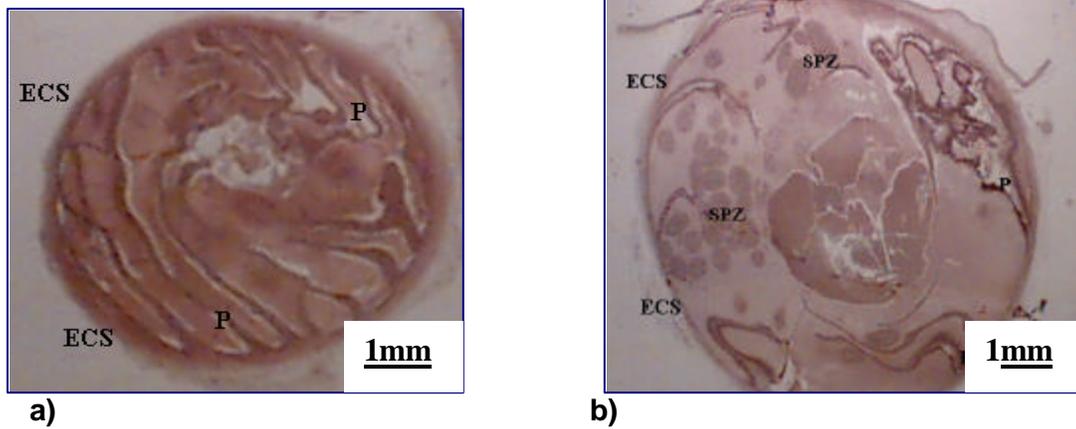


Figura 13. Vesícula seminal; a) en un macho juvenil y b) en un macho adulto.  
ECS, Epitelio columnar simple; P, pliegues.

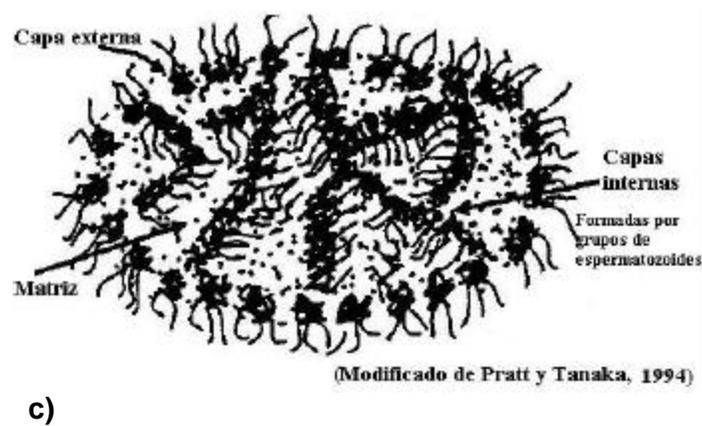
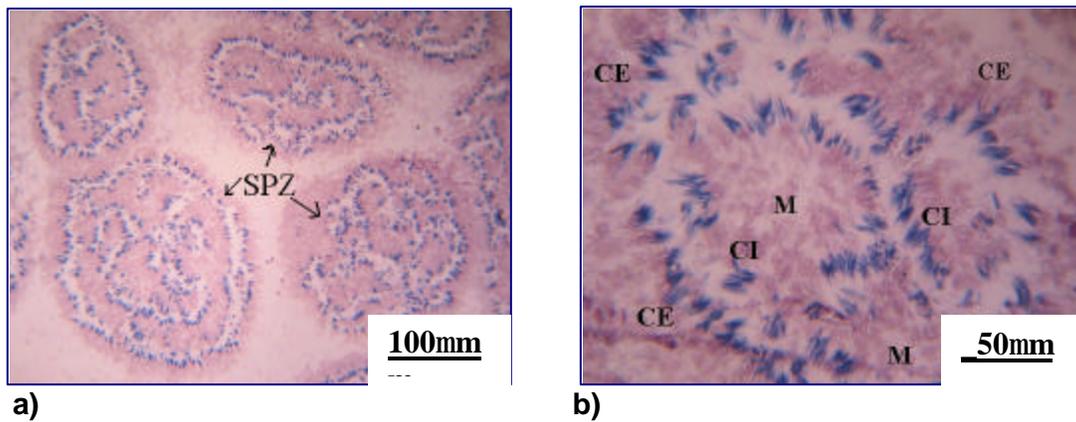


Figura 14. Espermatozeugmata de tipo compuesto (SPZ). a) inmersos en la vesícula seminal. b) y c),constituido por una matriz (M), capas internas (CI) y la capa externa (CE).



#### 7.4.2 Escala de madurez en machos.

Considerando las características morfológicas del aparato reproductor expuestas anteriormente, el análisis histológico y las características externas, se propone la siguiente escala de madurez.

**Machos inmaduros o juveniles (I):** Se caracterizan por presentar testículos pequeños y suaves de un color crema, dentro de los cuales se observan espermatozoides en la parte distal; los conductos del epidídimo son pequeños están muy juntos al igual que los conductos deferentes, son lisos, el esperma esta ausente, la vesícula seminal es lisa y no presentan agrupaciones de espermatozoides. Externamente los machos presentan gonopterigios que están en proceso de calcificación, sin embargo no rotan fácilmente, el rifiodón no se abre y se nota la ausencia de fluido seminal. Existe un periodo de transición debido a que los gonopterigios tienen un desarrollo gradual en cuanto al tamaño y la calcificación, sin embargo este periodo se considera dentro de los inmaduros debido a las demás características. Se registraron 432 machos en este estadio

**Machos maduros o adultos. (II):** Presentan testículos con una textura más firme, de un color rosa, en estos se presentan folículos seminíferos con espermatozoides maduros en la región media. En el epidídimo se diferencian fácilmente la cabeza y cuello y se observa gran cantidad de esperma. Los conductos deferentes son gruesos y sinuosos, debido al esperma almacenado, Se observan agrupaciones como espermatóforos o espermatozeugmata en la vesícula seminal. Los gonopterigios son grandes, se encuentran completamente calcificados, rotan fácilmente y el rifiodón puede abrirse, en algunos casos se observa un mucus blanco entre los pliegues de los gonopterigios. Dentro de la categoría se identificaron 194 tiburones.



### 7.4.3 Talla de primera madurez en machos.

La calcificación de los gonopterigios es la característica sexual más utilizada para determinar la madurez en los machos. Los gonopterigios, consisten en un par de apéndices cilíndricos y alargados que son modificaciones de las aletas pélvicas.

Los tiburones azules machos que presentaban una longitud total menor a 150 cm LT presentaron en promedio, gonopterigios de 12 cm sin calcificar; después de los 150 cm se observó un aumento en el tamaño y calcificación de los gonopterigios, hasta los 170 cm. En esta talla los órganos copuladores alcanzan su desarrollo, con una longitud de 17 cm en promedio, incluyendo una calcificación total, fácil rotación y abertura del rifiodón (Fig.15).

La talla de primera madurez en los machos ocurre a partir de los 180 cm de longitud total (Fig. 16). El macho más pequeño que presentó las características de madurez tenía una longitud total de 145 cm. Se observó que si existe relación entre el largo y ancho de los testículos con respecto a la longitud total del organismo, a medida que el organismo es más grande los testículos también incrementan su tamaño (Fig. 17 y 18).

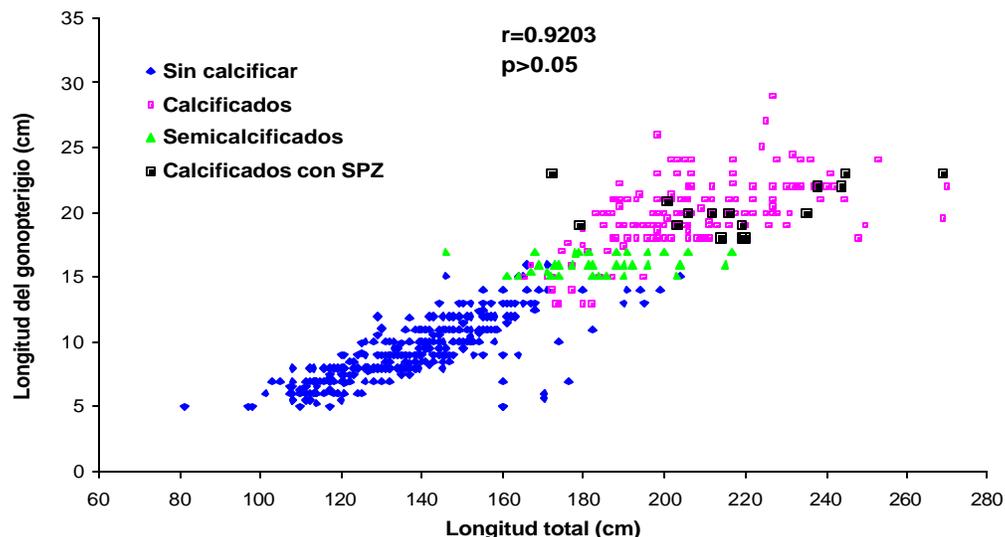


Figura 15. Relación entre la longitud total del tiburón con la longitud del gonopterigio en diferentes condiciones reproductivas. SPZ (espermatozeugmata).

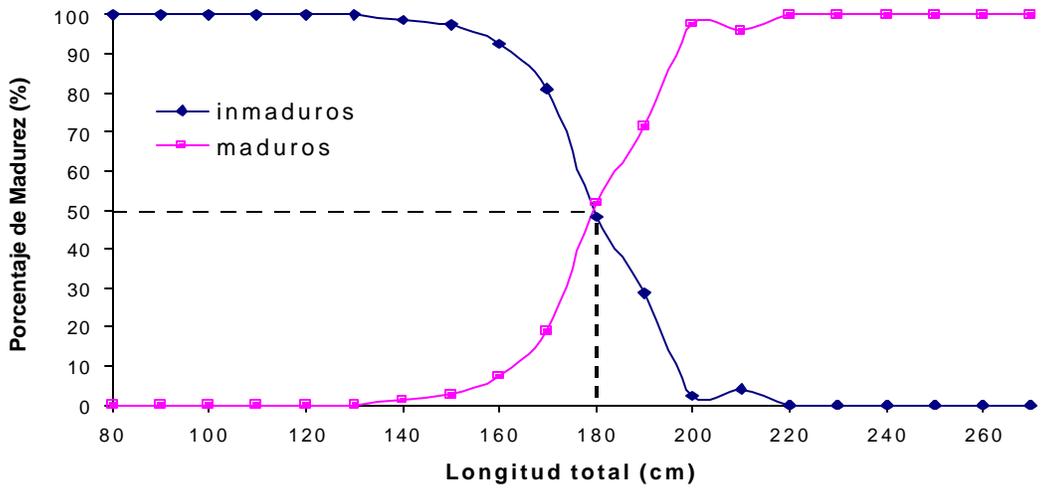


Figura 16. Talla de primera madurez en machos.

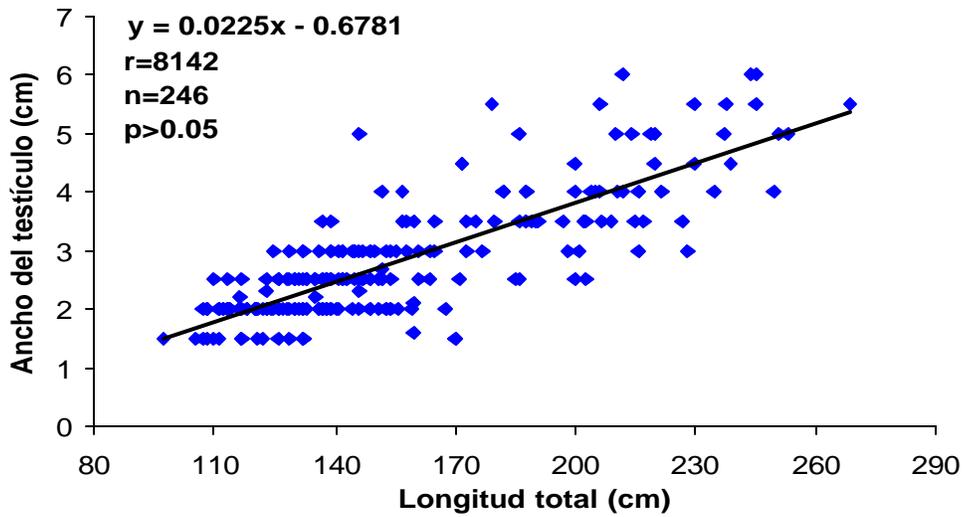


Figura 17. Relación de la longitud total del tiburón con el ancho de los testículos.

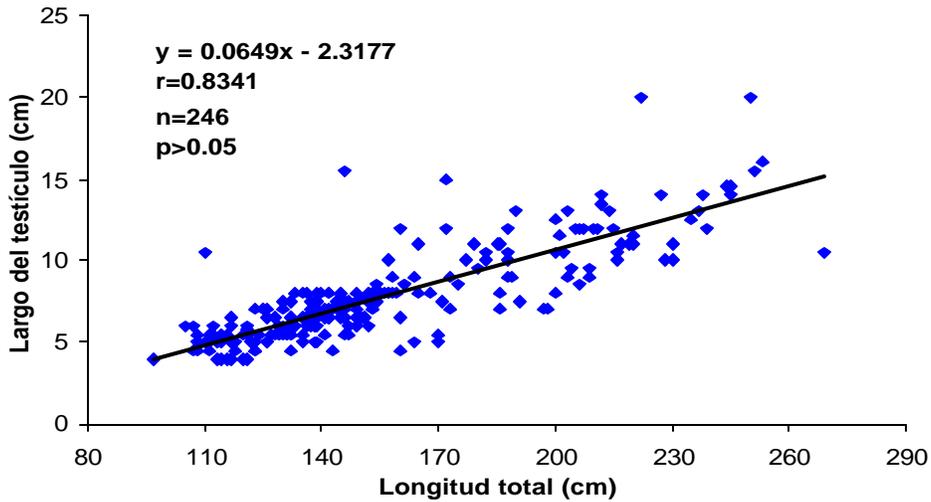


Figura 18. Relación de la longitud total del tiburón con el largo de los testículos.



## 7.5 Madurez sexual en las hembras.

Se realizó una descripción morfológica, comparando las características de las estructuras del aparato reproductor, para determinar los estadios de juvenil, subadulto y adulta.

### 7.5.1 Descripción del aparato reproductor: comparación entre juveniles y adultas.

El aparato reproductor femenino consiste de un ovario, un par de oviductos, glándulas oviduales, órgano epigonal y úteros (Fig. 19).

#### **Ovario.**

El tiburón azul solo presenta el ovario derecho funcional, que se encuentra en la parte anterior de la cavidad abdominal unido a una porción del órgano epigonal. En los juveniles el ovario es pequeño y los ovocitos no son muy visibles, los folículos son de un color blanquecino (Fig. 19). En la fase de subadulto el ovario está en desarrollo, ya que es de las últimas estructuras en madurar, se pueden observar ovocitos previtelogénicos (Fig. 20).

En las hembras adultas, el ovario presenta ovocitos visibles de un color rosa blanquecino y a medida que van madurando toman un color amarillento (Fig. 21 y 22). Este ovario es de tipo externo, constituido por un estroma de tejido conectivo, folículos y ovocitos que se encuentran expuestos, pero a la vez protegidos por una membrana fibrosa. Los ovocitos más desarrollados se encuentran en la parte anterior del ovario y los más pequeños están en la parte posterior ( Fig.23).

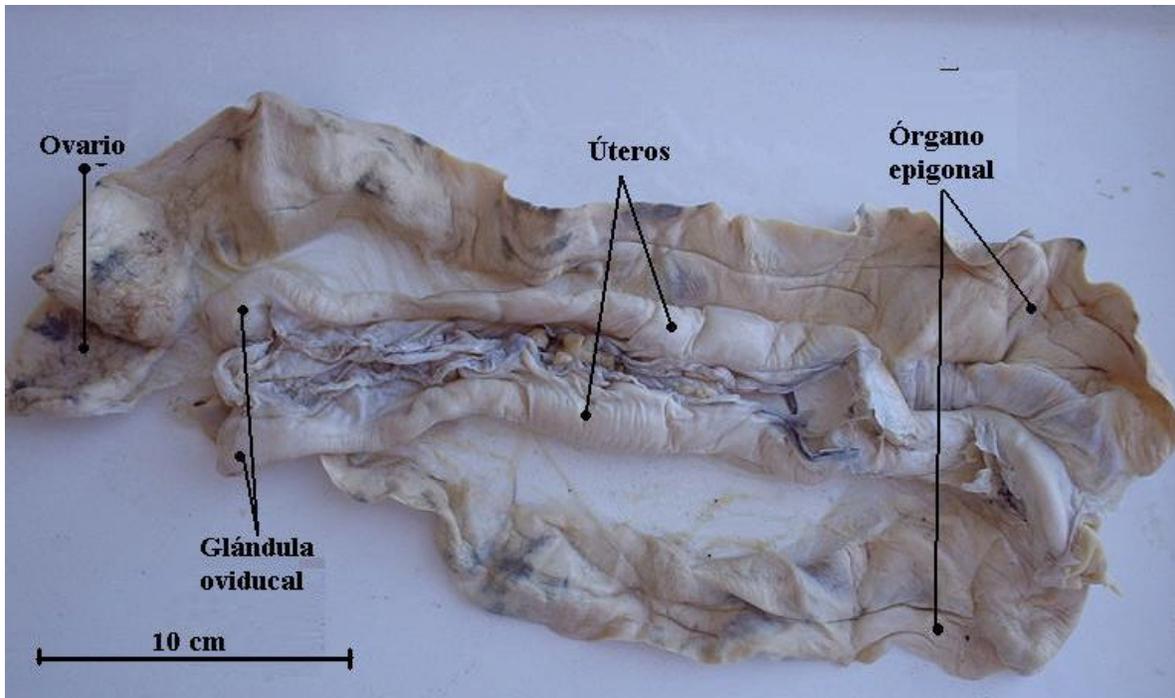


Figura 19. Morfología externa del aparato reproductor de una hembra inmadura

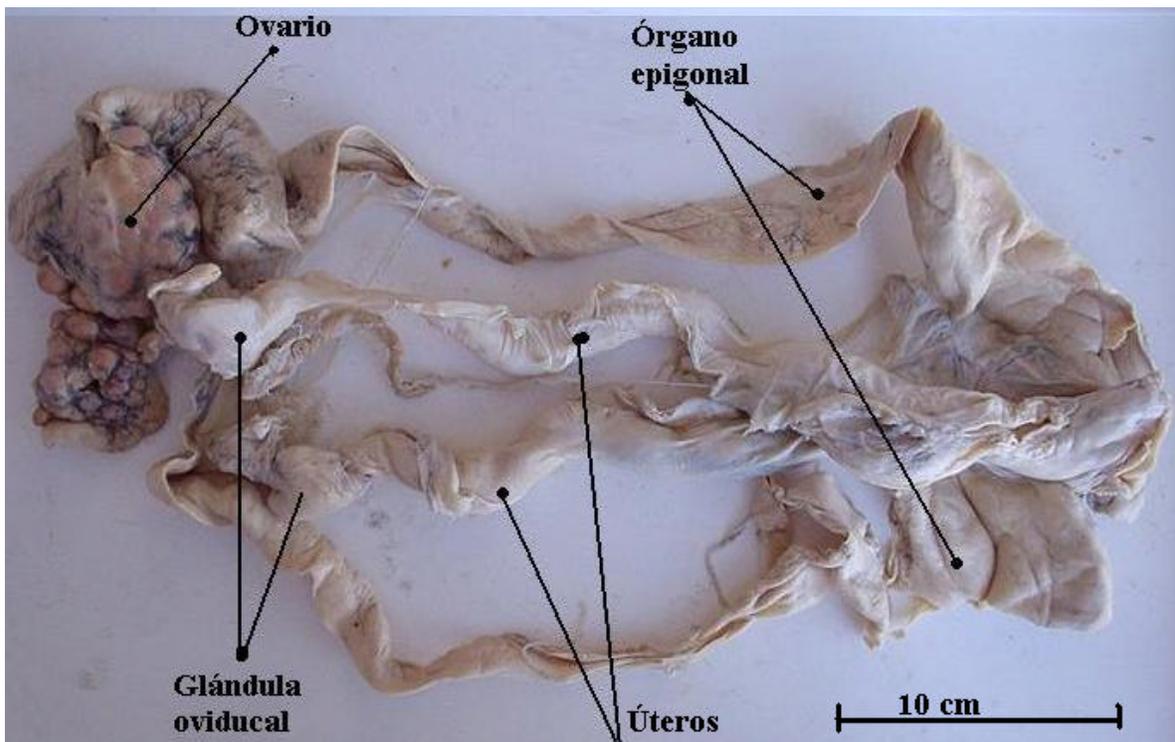


Figura 20. Morfología externa del aparato reproductor de una hembra subadulta.

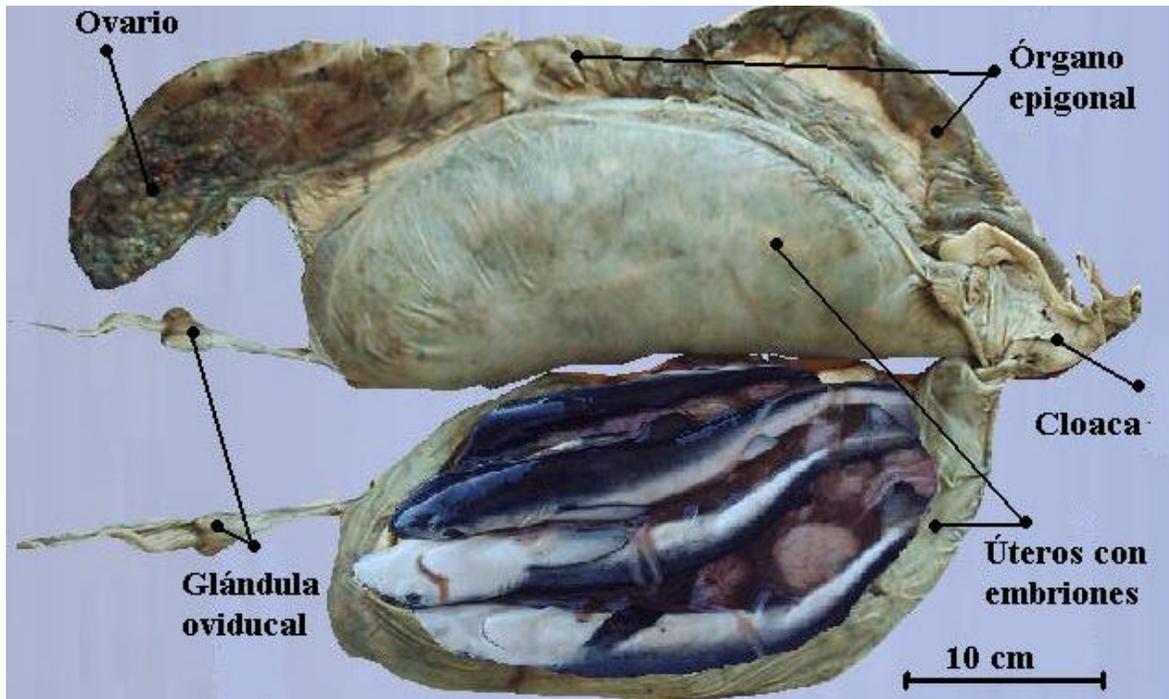


Figura 21. Morfología externa del aparato reproductor de una hembra grávida.

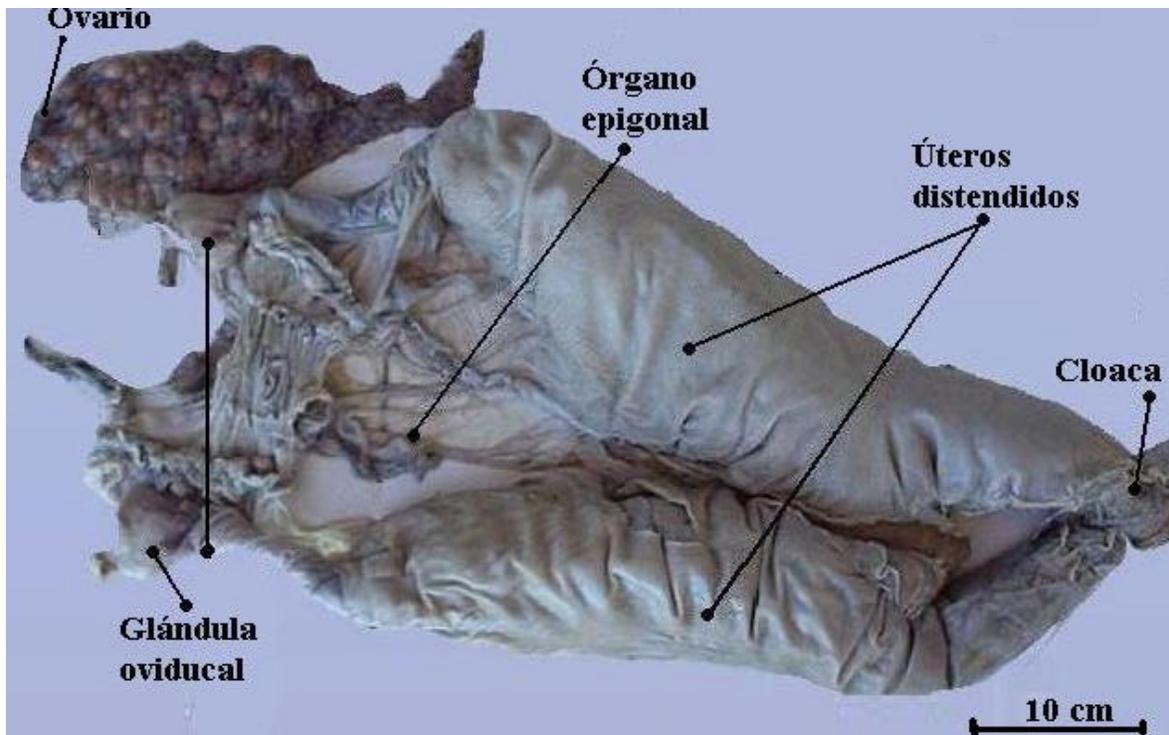


Figura 22. Morfología externa del aparato reproductor de una hembra posparto.

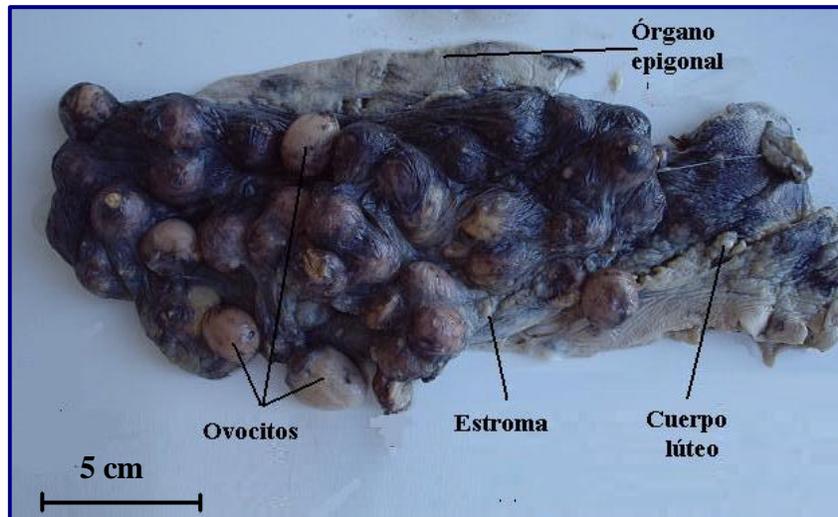


Figura 23. Ovario externo del tiburón azul.

### **Glándula oviducal.**

El ostium es la abertura común de los dos oviductos, los cuales presentan un ensanchamiento en la parte anterior, a esta modificación se le conoce como glándula oviducal. En los juveniles los oviductos son muy delgados y muy poco desarrollados, la glándula oviducal, es muy pequeña y en ocasiones no se diferencia de los oviductos por presentar el mismo grosor y no tiene forma definida. En las hembras subadultas la glándula oviducal se desarrolla rápidamente diferenciándose de los oviductos que también aumentan su grosor. En las adultas la glándula adquiere forma de corazón y tiene tres funciones: almacenar esperma, fertilizar a los ovocitos y dar una cubierta al huevo. La glándula está compuesta por dos tejidos mayores delimitados por un lumen central, el cual en un corte transversal tiene forma de “S” (Fig. 24).

### **Almacén de esperma.**

En cuanto al almacén de esperma, solo 13 de la 40 hembras en las que se realizaron cortes histológicos en la glándula oviducal, presentaron espermatozoides almacenados en los túbulos oviducal.(Fig.25). En las muestras de juveniles no se observó este fenómeno. Una hembra subadulta de 177 cm LT con marcas de cortejo, presentó abundante esperma en los túbulos oviducal y en el lumen central de la glándula oviducal. Se encontró esperma almacenado en 11 hembras adultas; siendo abundante en aquellas que presentaron



actividad reproductiva como ovocitos maduros y marcas de cortejo; mientras que las que presentaron embriones, así como una hembra adulta sin actividad reproductiva y un hembra posparto (222 cm LT) presentaron cantidades moderadas de espermatozoides que solo se encontraron en los túbulos oviduciales (Tabla 2).

Una hembra de 208 cm de longitud total, capturada en el mes de agosto, sugiere que estaba a punto de la fertilización ya que presentaba los ovocitos más grandes (35 ovocitos de 2.4 cm de diámetro en promedio) y restos de tercer membrana en las glándulas oviduciales. Estas presentaron las medidas más grandes (3.7 cm de largo por 3 cm de ancho) y con abundante espermatozoides. El espermatozoides se diferencia fácilmente al hacer la lectura de las laminillas debido a que los espermatozoides se tiñen de azul con la técnica de Hematoxilina-Eosina (Fig. 26).

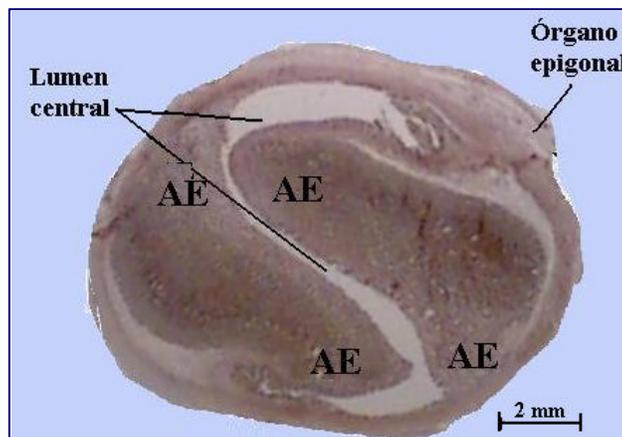


Figura 24. Corte transversal de la glándula oviducal. AE, área de almacén de espermatozoides.



Figura 25. Almacén de espermatozoides (AE) en túbulos oviduciales (TO).

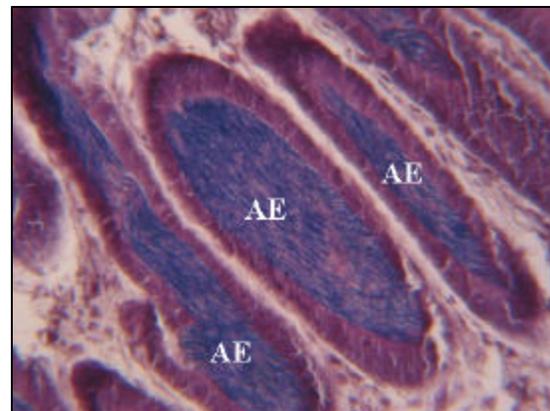


Figura 26. Túbulos oviduciales con espermatozoides almacenados (AE) teñidos de azul.



Tabla 2. Relación de las hembras que presentaron almacén de esperma

Talla Materna	Fecha de Captura	Estado de Madurez	Cantidad de Esperma	Localidad de Muestreo	Presencia de:	Localización del esperma
208	Ago-00	Adulta	Abundante	Punta Belcher	Ovocitos maduros	Túbulos
177	Feb-01	Subadulta	Abundante	Punta Belcher	Marcas de cortejo	Lumen y túbulos
203	Abr-01	Adulta	Abundante	Punta Belcher	Marcas de cortejo	Túbulos
205	Abr-01	Adulta	Abundante	Punta Belcher	Marcas de cortejo	Túbulos
252	Abr-01	Grávida	Moderado	Punta Belcher	Embriones	Túbulos
225	May-01	Adulta	Abundante	Punta Belcher	Marcas de cortejo	Lumen y tubulos
188	May-01	Adulta	Moderado	Punta Belcher		Túbulos
201	Dic-02	Adulta	Moderado	Punta Belcher	Huevos uterinos	Túbulos
223	Feb-03	Grávida	Moderado	Punta Belcher	Embriones	Túbulos
189	Feb-03	Grávida	Moderado	Punta Belcher	Embriones	Túbulos
200	Mar-03	Adulta	Poco	Las Barrancas		Túbulos
222	Mar-03	Postparto	Poco	Las Barrancas		Túbulos
215	Mar-03	Adulta	Moderado	Las Barrancas		Túbulos

### Úteros.

La parte posterior de los oviductos se modifican conformando los úteros, los cuales varían su diámetro dependiendo de su condición reproductiva. En hembras inmaduras, estos miden desde 0.5 cm hasta 1.6 cm de ancho. En las subadultas, los úteros presentan un engrosamiento siendo más notables a simple vista, con un ancho que va desde 1.6 cm hasta 3 cm en promedio.

En las hembras maduras se observaron úteros mayores a los 4 cm, observándose un incremento en el grosor de las paredes uterinas. En las hembras grávidas, los úteros pueden medir hasta 30 cm de ancho o más, ya que contienen a los embriones o huevos uterinos, a medida que los embriones incrementan su tamaño la pared de los úteros se va adelgazando hasta llegar a ser casi transparente. En las hembras posparto los úteros se encuentran distendidos con restos de material placentario, el cual se encuentra en reabsorción; los úteros pueden medir hasta 8 cm, pero la pared del útero presenta un grosor de 3 cm.

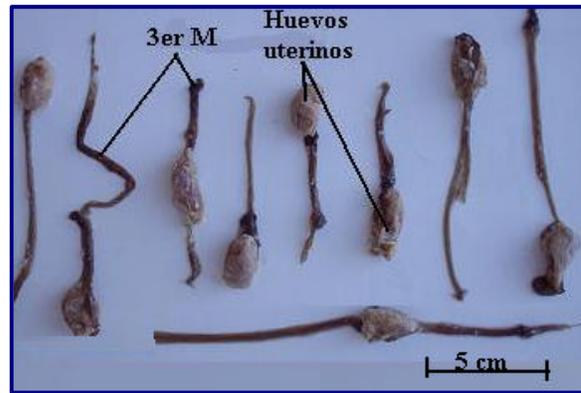


### Desarrollo embrionario

El desarrollo embrionario en el tiburón azul ocurre dentro de los úteros durante todo el periodo de gestación, iniciando con la presencia de huevos o cápsulas uterinas. Una hembra de 194 cm capturada en septiembre presentó 9 huevos de 3.5 x 1.8 cm, de color amarillo, de forma ovoide, cubiertos por la tercer membrana (Fig. 27 a). Esta hembra también presentaba marcas de cortejo, así como 15 ovocitos maduros de 2 cm de diámetro, además de restos de tercer membrana en las glándulas oviduales, sugiriendo que estaba en pleno proceso de fertilización. Este tipo de huevos se observaron en 7 hembras más que presentaron embriones, sin embargo, estos huevos ya no continuaron su desarrollo, quedándose en esa fase mientras que los demás se desarrollaron en embriones.

Los embriones más pequeños observados, midieron entre 3 y 6 cm de LT; aun presentaban filamentos branquiales externos y ya se encontraba formado el cordón umbilical y la pseudoplacenta (Fig. 27 b). En los embriones con talla superior a 10 cm, aun puede observarse restos de la tercer membrana, pero ésta desaparece al continuar el desarrollo (Fig. 27 c). El cordón umbilical va aumentando su longitud a medida que el embrión crece. El cordón es liso y se encuentra en la parte ventral en medio de las aletas pectorales del embrión y en su punta distal se encuentra la pseudoplacenta (Fig. 27 d) A partir de los 25 cm de LT, los embriones ya son una réplica exacta de un adulto, presentando la coloración característica de esta especie y no se observan restos de la tercer membrana (Fig. 27 e).

Se encontraron embriones que no continuaron su desarrollo, por ejemplo se observó una hembra con embriones de 30 cm de LT, junto con dos embriones de 15 cm. En general los embriones presentan un acomodo especial, con la cabeza dirigida anteriormente; en ocasiones los embriones están separados uno de otro por una membrana delgada, que es una extensión de la pared del útero, pero sin llegar a formar compartimentos uterinos. Cuando ocurre el nacimiento, los embriones salen de cola, protegiendo la cabeza que es la parte más vulnerable; el cordón umbilical se desprende y solo queda una cicatriz umbilical, con la cual se les reconoce como neonatos a los organismos más pequeños de vida libre.



a)



b)



c)



d)



e)

Figura 27. Embriones de tiburón azul en diferente grado de desarrollo. a) Huevos; b) en desarrollo temprano; c) con restos de tercer membrana (3er M); d) con cordón umbilical y e) en desarrollo final.



### 7.5.2 Escala de madurez en hembras.

Considerando las características morfológicas del aparato reproductor expuestas anteriormente, el análisis histológico y las características externas, se propone la siguiente escala de madurez.

**Hembras inmaduras (I):** Se caracterizan por presentar un ovario pequeño, flácido y no desarrollado, los úteros son apenas visibles y las glándulas oviducuales presentan poco desarrollo, sin esperma almacenado. En este estadio se encontraron 180 organismos (Fig. 19).

**Hembras subadultas (II):** Presentan ovarios y oviductos en desarrollo. Los ovocitos incrementan su tamaño, las glándulas oviducuales se diferencian y pueden presentar esperma, en esta fase pueden observarse marcas de cortejo reciente. 121 hembras fueron subadultas (Fig.20).

**Hembras maduras (III):** Se caracterizan por presentar un ovario bien desarrollado conteniendo ovocitos grandes vitelados de un color amarillo, las glándulas oviducuales presentan forma de corazón y pueden contener esperma; los úteros aumentan su grosor, también pueden observarse marcas de cortejo. Se registraron 61 organismos en este estadio.

**Hembras grávidas (IV):** Se distinguen fácilmente por presentar huevos fertilizados o embriones en el útero. El ovario puede presentar ovocitos en diferentes fases de desarrollo. Es común observar en este estadio marcas de cortejo e incluso esperma almacenado en glándulas oviducuales. Se registraron 37 hembras (Fig. 21).

**Hembras posparto (V):** Se caracterizan porque presentan úteros distendidos con grandes cantidades de material placentario en el interior, los ovocitos presentes en el ovario son de gran tamaño, pueden observarse cicatrices como marcas de cortejo y en algunos casos poco esperma en las glándulas oviducuales. Se asignaron 3 hembras en este estadio (Fig.22).



### 7.5.3 Talla de primera madurez en hembras.

El desarrollo de los ovarios y úteros se encuentra directamente relacionado con el estadio de madurez en las hembras. Las tallas menores a los 140 cm LT se consideraron como hembras inmaduras por presentar ovocitos menores a los 0.7 cm (Fig. 28) y los úteros presentaron poco desarrollo (1.6 cm de ancho). La glándula oviducal también se considera como indicador, debido a que presenta un mayor desarrollo después de los 1.5 cm. (Fig. 29), encontrándose todavía en proceso de maduración.

En la fase de subadultas se encuentran hembras mayores a 120 cm LT, que presentaron ovocitos con un diámetro mayor a los 0.4 cm; la glándula oviducal fue mayor de 1.6 cm. En esta fase también se observan hembras de 180 cm de LT, con ovocitos de 1 cm, la glándula oviducal puede alcanzar 2.5 cm y el útero 3 cm de ancho. Algunas de estas hembras presentaron esperma almacenado en las glándulas oviducal y marcas de cortejo

A partir de los 170 cm LT ya se encuentran algunas hembras maduras y también hembras grávidas, el ovocito llega a alcanzar un diámetro de 2.4 cm, y la glándula oviducal es de 3.7 cm. Los úteros tienen un ancho desde 4 cm. En esta fase se presentaron hembras con esperma almacenado además de embriones.

La talla de primera madurez en las hembras ocurre a los 200 cm de longitud total, (Fig.30). La hembra grávida más pequeña midió 172 cm de LT y es la longitud donde se empiezan a considerar como maduras.

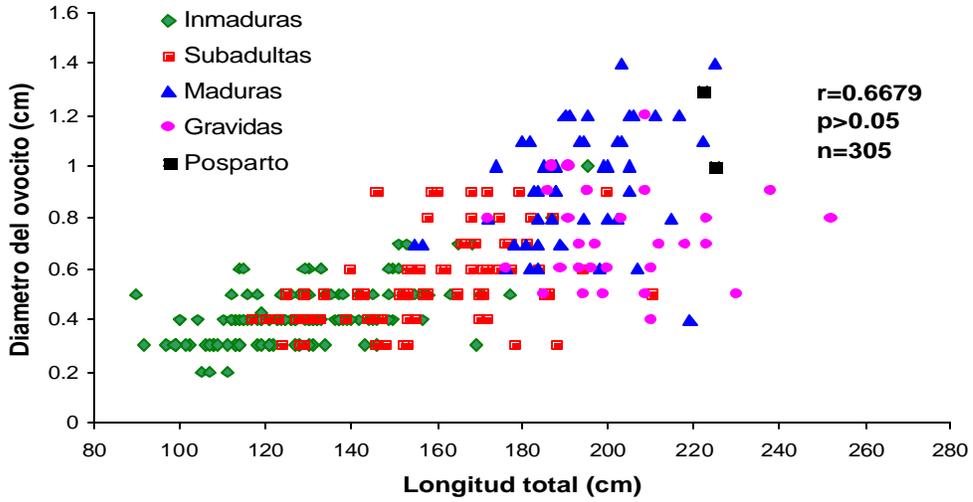


Figura 28. Relación entre el diámetro del ovocito y la longitud total de la hembra.

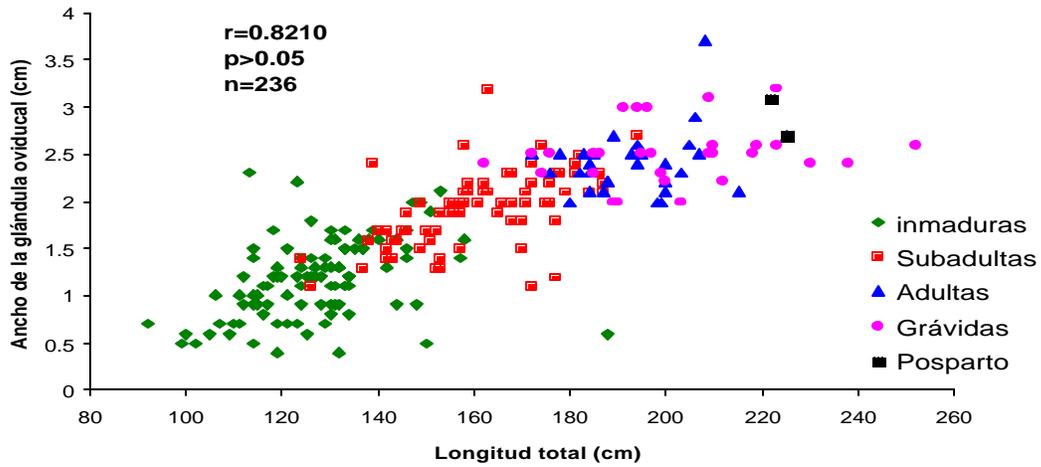


Figura 29. Relación entre el ancho de la glándula oviducal y la longitud total.

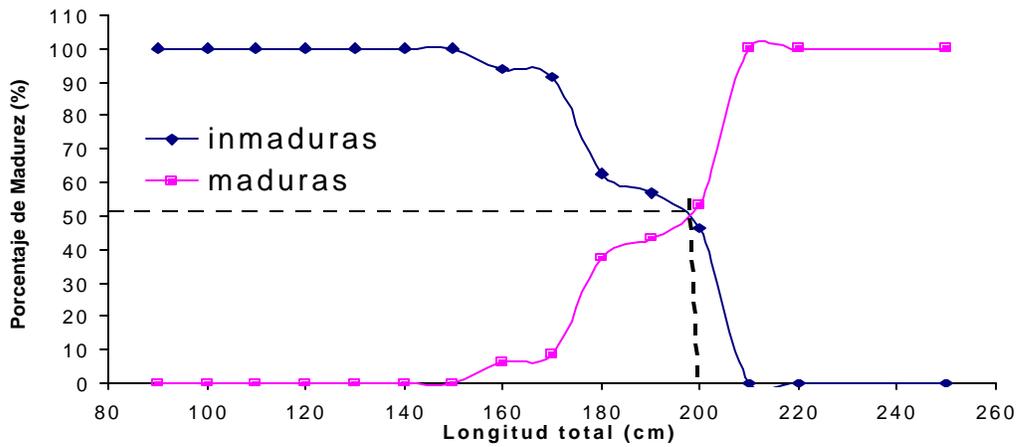


Figura 30. Talla de primera madurez para las hembras de tiburón azul.



#### 7.5.4 Fecundidad y periodo de gestación.

Durante los meses de muestreo se registraron 37 hembras con embriones. El número de embriones varió de 7 a 64, siendo más frecuentes de 27-33 embriones por hembra (Tabla 3). El número de ovocitos en el ovario fluctuó entre 22 a 80, siendo el valor más común de 31-50 ovocitos. La hembra que presentó mas embriones (64) midió 185 cm de LT; mientras que la hembra más grande que midió 252 cm de longitud total solo presentó 9 embriones; por lo que no se observó una relación directa entre el número de embriones con respecto a la talla materna (fig. 31).

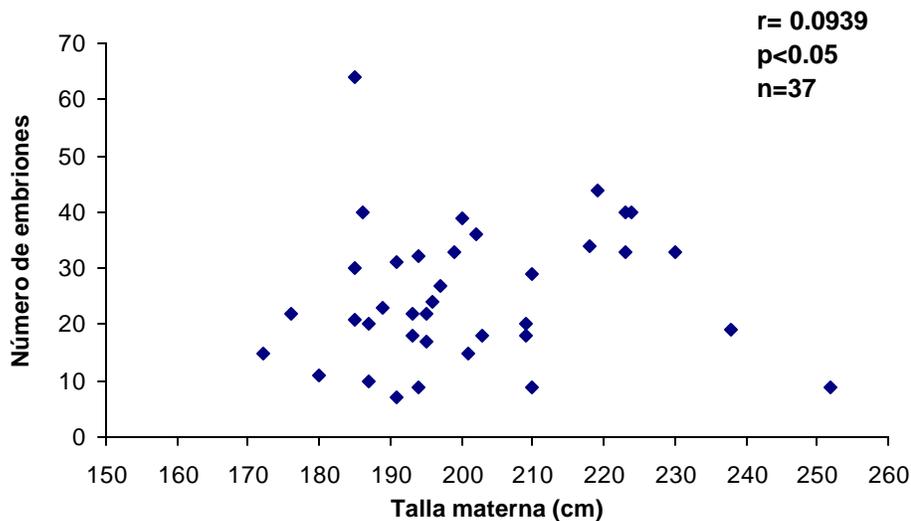


Figura 31. Relación de la talla materna con el número de embriones.



Tabla 3. Relación de hembras grávidas. A. G., Ancho de la glándula oviducal; D.O., Diámetro del ovocito; Núm. Emb., Número de embriones; H.U =Huevos uterinos; ENV =Embriones no viables.

Talla materna	Fecha	Localidad	A.G. (mm)	D.O. (mm)	Núm. Emb.	Talla embrionaria			Presencia de
						Mínima	Máxima	Promedio	
224	20-Sep-00	P. Belcher	-	-	40	26	34	31	-
194	20-Sep-00	P. Belcher	30	20	9	3	6	4.5	9 H.U.
219	20-Sep-00	P. Belcher	26	4	44	23	30	27	-
187	22-Sep-00	P. Lobos	19	8	20	30	34.5	31	2 H.U.
185	22-Sep-00	P. Lobos	28	9	64	3	6	4.5	-
210	25-Oct-00	P. Belcher	26	5	29	20	23.5	22	-
185	10-Nov-00	P. Lobos	23	5	21	20	28	22	4 H.U.
187	01-Dic-00	P. Lobos	-	-	10	28.5	31.5	29.5	-
200	15-Dic-00	P. Lobos	-	-	39	25	32.5	29	2 H.U., 2 E.NV
194	31-Ene-01	P. Lobos	27	6	32	23.5	35	25	-
210	22-Mar-01	P. Belcher	25	6	9	36.5	40.5	38.5	-
252	24-Abr-01	P. Belcher	-	-	9	28	36	31	-
186	03-Jul-01	P. Belcher	-	-	40	34	45	37	-
209	29-May-02	P. Belcher	-	-	18	32	44	35	-
185	01-Ago-02	P. Belcher	-	-	30	13	17	15	-
238	13-Nov-02	P. Belcher	-	-	19	28.5	32	30	-
209	09-Dic-02	P. Belcher	-	-	20	35	42	39	-
218	09-Dic-02	P. Belcher	-	-	34	28.5	35	32	2 H.U., 1 E.NV
176	09-Dic-02	P. Belcher	-	-	22	18.5	29	26	-
203	09-Dic-02	P. Belcher	-	-	18	28	33	31	-
197	09-Dic-02	P. Belcher	-	-	27	22.5	30	28	-
223	09-Dic-02	P. Belcher	-	-	33	31	40	37	-
196	09-Dic-02	P. Belcher	-	-	24	30	35	33	-
172	09-Dic-02	P. Belcher	-	-	15	20.5	25	23	-
195	09-Dic-02	P. Belcher	-	-	22	19	22.5	21	-
230	09-Dic-02	P. Belcher	-	-	33	17	29.5	22.5	-
202	09-Dic-02	P. Belcher	-	-	36	30.5	36	34	-
180	09-Dic-02	P. Belcher	-	-	11	23.5	28	26	-
201	10-Dic-02	P. Belcher	-	-	15	27	32	29	-
199	10-Dic-02	P. Belcher	-	-	33	18	22	20	-
223	12-Feb-03	P. Belcher	32	7	40	26	32.5	30	-
193	12-Feb-03	P. Belcher	-	-	18	10	11	10.5	4 H.U.
191	12-Feb-03	P. Belcher	-	-	31	31	34.5	32.5	-
193	12-Feb-03	P. Belcher	-	-	22	24	40	33	-
191	12-Feb-03	P. Belcher	30	10	7	44	45.5	44.5	-
189	12-Feb-03	P. Belcher	20	6	23	29	38	35	2 E.NV.
195	12-Feb-03	P. Belcher	-	-	17	30	36	33	-



El diámetro promedio mensual de los ovocitos presentes en hembras maduras; indica que las hembras con los ovocitos más grandes se encontraron en los meses de agosto-septiembre y estaban listas para la ovulación. Así mismo en septiembre se encontró una hembra con huevos fecundados en el útero. (Fig. 32) Por otra parte, se registraron embriones de las tallas más pequeñas a partir de agosto concordando con los meses de apareamiento, se tiene el registro de una hembra en el mes de septiembre con los embriones más pequeños (3 a 6 cm de LT). Los embriones alcanzaron las tallas mayores en invierno y primavera, siendo la talla más grande de 45 cm LT en el mes de julio. Por lo que se puede considerar que el periodo de gestación es de 12 meses (Fig. 33).

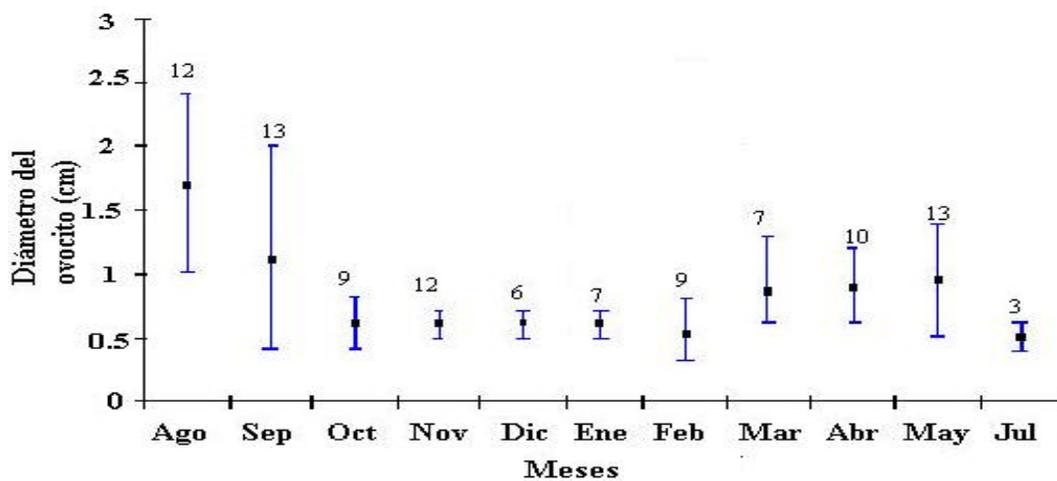


Figura 32. Diámetro mensual de los ovocitos de hembras maduras. Mínimos, máximos y promedio el número indica el número de ovocitos medidos.

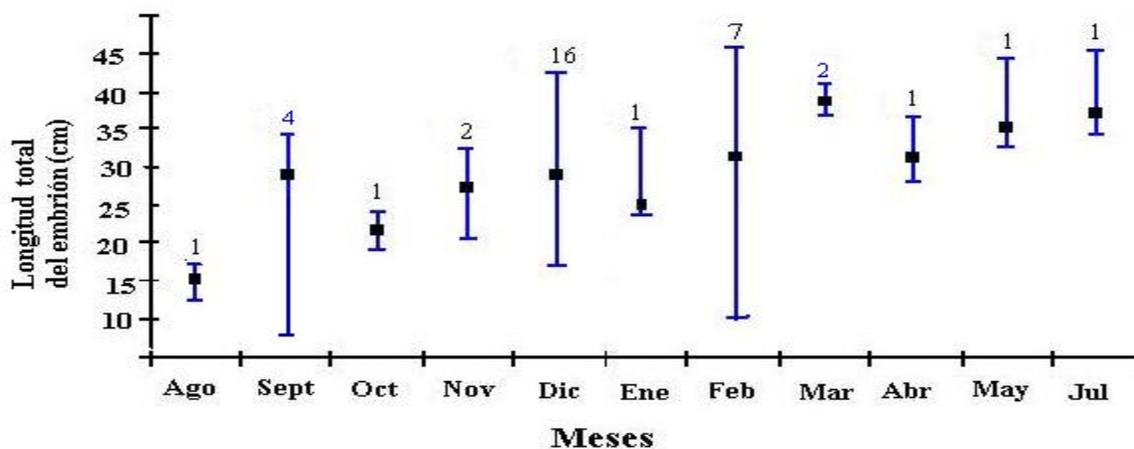


Figura 33. Longitud total mensual de los embriones del tiburón azul. Mínimos, máximos y promedio, el número indica el número de hembras.



## VIII. DISCUSIÓN

### 8.1 Distribución temporal del tiburón azul en Baja California Sur.

El tiburón azul es una de las especies más abundantes en todo el mundo; por consecuencia también es uno de los más capturados en la pesquería, tanto ribereña como de altura. En el Océano Pacífico Oriental mexicano no es la excepción, en este estudio se encontró que el tiburón azul aportó el 63 % de las capturas totales. Sin embargo, se ha reportado una dominancia superior al 95 % en trabajos anteriores para la misma zona (Reyes-González, 2001; Ramírez-González, 2002). Con lo cual se afirma que el tiburón azul constituye la especie más importante de la pesquería en la costa occidental de la península de Baja California.

El tiburón azul estuvo presente durante todo el periodo de estudio, registrándose las mayores capturas durante invierno y primavera. De acuerdo a Robles-Gil (1985), el flujo de la corriente de California que se caracteriza por ser fría, se incrementa durante el invierno, con temperaturas que oscilan entre 15°C a 20°C (Gómez y Vélez, 1982). Con los vientos del norte en primavera, esta corriente se acerca más a la costa frente a Baja California. Se ha reportado que el tiburón azul prefiere aguas templadas entre 17°C y 21°C (Compagno, 1984). Por lo que se sugiere que la temperatura es un factor importante en la abundancia de esta especie en la zona de estudio.

Se registró un menor número de organismos en verano-otoño. Esta estacionalidad en la abundancia se puede explicar con base en el estudio de Bigelow y Schroeder (1948); quienes mencionan que los tiburones se encuentran durante el invierno entre los 20°N y 30° N (donde se encuentra nuestra zona de estudio) y en verano entre los 40°N a 50° N. Los resultados del presente estudio concuerdan con lo encontrado por Ramírez-González (2002), quien observó que en la primera mitad del año cuando el agua es más fría hubo mayor presencia de tiburón azul en la costa occidental de Baja California Sur. Miranda-Vázquez (1996) menciona que las temporadas principales de captura son de octubre a noviembre y en junio; Sin embargo esta diferencia puede deberse a que el muestreo no fue tan intenso como en este trabajo y con los estudios realizados por los otros autores.



## 8.2 Composición de tallas.

La composición de tallas para el tiburón azul, muestra dos grupos bien diferenciados, una en los juveniles (con una moda principal de 131-150 cm LT) y otra en los adultos (con una moda principal de 190-210cm LT). Esta estructura bimodal nos sugiere una variación en la distribución, esta puede ser espacial o temporal, en este caso se observó que la mayoría de los organismos juveniles fueron capturados en los meses de invierno y primavera de manera más abundante entre enero y marzo. En los siguientes meses se observa la disminución de los juveniles para dar paso a los adultos, que tienen un pico de abundancia en los meses de julio, agosto y septiembre. Esto esta relacionado con una segregación por tallas, ya que durante los diferentes muestreos se observó la dominancia de tallas similares.

Se sabe que la segregación ocurre en muchas especies de tiburones. Springer (1967) en su estudio sobre organización social, menciona la tendencia de algunas especies de asociarse en numerosos grupos de individuos de la misma talla y en ocasiones del mismo sexo, señalando que este comportamiento denota un alto desarrollo en el comportamiento social. Pratt (1979) reafirma lo anterior señalando que es común que las capturas de tiburón estén compuestas por un limitado intervalo de tallas, lo que hace evidente la segregación por talla y sexo en algunas especies, esta tendencia es característica de la familia *Carcharhinidae*, y por lo tanto también del tiburón azul.

Las tallas registradas en el presente estudio reflejan que los organismos pequeños (111-160 cm LT) son los que se capturan comúnmente. Miranda-Vázquez (1996), reporta una mayor captura de organismos que presentan tallas entre los 100 y 150 cm de LT, con edades entre uno y tres años. Mientras que Reyes-González (2001) menciona que más del 50% de los tiburones muestreados se encontraron entre 80 cm y 115 cm de LT para Bahía San Quintín. Considerando estos resultados, es posible afirmar que la pesquería en la península de Baja California está incidiendo principalmente en los juveniles de tiburón azul.



La talla mínima reportada en este trabajo fue de 80 cm, mientras que la máxima fue hasta 270 cm de LT, intervalo similar a lo encontrado por Cailliet y Bedford (1983) que reportan tallas de 28 a 252 cm de LT incluyendo a los embriones. Mientras que Ramírez-González (2002) registró una talla mínima de 80 cm y una máxima de 290 cm LT. Lo anterior, se podría explicar por el hecho de que la zona de pesca en el estudio de Ramírez-González es más oceánica, con mayor acceso a organismos grandes, a diferencia del presente estudio. Ya que éste está enfocado a pesca ribereña y donde se encontraron muy pocos organismos mayores a 230 cm de LT. Esto es apoyado por el estudio de Furlong-Estrada (2000) quien encontró que los organismos entre 70 y 180 cm LT fueron obtenidos por la pesca artesanal, mientras que los organismos de 140 a 270 cm LT fueron en su mayoría capturados por barco de altura.

Considerando que la talla de nacimiento es de 45 a 63 cm LT y la talla máxima reportada es de 380 cm LT, en este estudio faltan los individuos más pequeños y los más grandes. Esto podría deberse en gran medida a la selectividad del arte de pesca; ya que las muestras fueron obtenidas de la pesca ribereña, la cual se realiza con embarcaciones pequeñas tipo pangas. Esto ocasiona que los pescadores estén limitados a pescar cerca de la costa (a una distancia máxima de 40 millas náuticas), capturando ejemplares de tallas medianas. También es importante considerar que los tiburones azules de más de 260 cm de LT son raros en el Océano Pacífico noreste, según lo reportado por Strasburg (1958). No se registraron neonatos debido en gran parte, a que las redes que se utilizan en la captura tienen una luz de malla de 10 a 12 pulgadas, por donde los tiburones pequeños pueden pasar fácilmente sin ser capturados, otra razón es que los neonatos puedan encontrarse en áreas más oceánicas.

### 8.3 Proporción de sexos.

Durante todo el periodo de estudio los machos predominaron sobre las hembras en una proporción de 0.63H:1M: La mayoría de estos machos fueron juveniles que se encontraron durante el invierno y primavera. Sin embargo, Ramírez González (2002) encontró una proporción de 1.2H:1M. Esta diferencia en la proporción puede deberse a que las juveniles, preferentemente los machos, se encuentran más cercanos a la costa, siendo



más accesibles para la pesca ribereña; mientras que las hembras están en áreas más oceánicas, siendo más comunes en las capturas de barcos, como los registrados por Ramírez-González (2002). Este modelo de distribución fue observado también por Harvey (1989) en Bahía Monterey, California.

En cuanto a las diferentes localidades de muestreo se observó que tanto Punta Belcher como Punta Lobos muestran una dominancia de los machos sobre las hembras, no así para la localidad de Las Barrancas, donde la proporción de hembras fue superior. Esta diferencia en la proporción puede deberse a una segregación espacial de manera latitudinal, donde las hembras se encuentran más al norte mientras que la mayoría de los machos están más al sur. Nakano(1994) propone un modelo de migración donde menciona que las hembras entre 2 y 5 años generalmente se mueven hacia el norte, mientras que los machos de entre 2 y 4 años se mueven hacia el sur, tomando en cuenta este criterio podemos observar que el área de muestreo presenta claramente esta segregación aunque en menor escala que en el modelo antes mencionado.

Esta diferencia puede ser también explicada pero de manera menos precisa, tomando en cuenta la distancia de la costa a la cual se realizaron las capturas. De acuerdo a Harvey (1989) los machos se encuentran más cercanos a la costa mientras que las hembras están en aguas más oceánicas. En Las Barrancas los pescadores salen a pescar más allá de las 50 millas, a diferencia de los pescadores de Punta Lobos y Punta Belcher que pescan a partir de las 25 millas.

Se observó una diferencia en la proporción de sexos de los juveniles incrementándose notablemente en los adultos, lo que nos indica una segregación por sexos. Wourms (1977), menciona que en los elasmobranquios existe una tendencia a segregarse cuando alcanzan la madurez sexual, excepto en la época reproductiva. Esta segregación fue observada también por Reyes-González (2001), Ramírez- González (2002) y Guerrero-Maldonado (2002) en las costas del Océano Pacífico mexicano. Debido a esta segregación se recomienda obtener la proporción de sexos con base en los embriones (Pratt y Otake, 1990). En este estudio la proporción embrionaria fue de 1.01H:1M, sin encontrar una



producción diferencial a favor de un sexo; infiriendo que la segregación por sexos solo se da en los organismos que están alcanzando la madurez.

#### 8.4 Madurez sexual en machos.

##### 8.4.1 Descripción del aparato reproductor: comparación entre juveniles y adultos.

El tiburón azul presenta testículos semialargados y levemente redondeados, los cuales incrementan su tamaño a medida que crece el organismo y no se observa un crecimiento notable en la época reproductiva. Por lo que no es fácil de diferenciar con medias entre juveniles y adultos. Parsons y Grier (1992) mencionan que *Prionace glauca* muestra pocos cambios estacionales en la producción de esperma.

Dentro de los testículos, se observó que en los folículos seminíferos maduros, las células de Sertoli se encuentran ubicadas en la periferia del folículo y los espermatozoides, con las cabezas dirigidas a la periferia están en grupos asociados con una célula de Sertoli. Este mismo arreglo tan marcado, ha sido observado en especies cercanas como *Carcharhinus falciformis* y en grupos tan lejanos como la quimera *Chimaera phantasma* (Takemura *et al.*, 1983). En *Chlamydoselachus anguineus* el arreglo es menor; mientras que en las rayas los grupos de espermatozoides parecen no tener un arreglo en los folículos, encontrándose dispersos en el estado final de la espermatogénesis, (Hara y Tanaka, 1990). El tiburón azul presenta almacén de esperma desde los conductos del epidídimo, este esperma puede encontrarse como espermátóforos en los conductos deferentes y como espermatozeugmata en la vesícula seminal.

El espermatozeugmata presente en el tiburón azul es de tipo compuesto, similar a otros carcharhinidos como *Rhizoprionodon terraenovae* y *Sphyrna lewini* (Pratt y Tanaka, 1994). A diferencia de *Carcharhinus falciformis*, *C. limbatus*, *C. obscurus*, y *C. plumbeus*, los cuales presentan espermatozeugmata de una sola capa, donde los espermatozoides delimitan formas con las colas dirigidas hacia el exterior y las cabezas hacia adentro. La forma más sencilla de espermatozeugmata es el de tipo grupo, que se encuentra en *Squalus acanthias* donde el esperma esta alineado lateralmente cabeza con cabeza sin una matriz. El espermatozeugmata ya está formado en la vesícula seminal en todas las especies. Se cree



que este tipo de agrupaciones de esperma es más útil para su almacenamiento y nutrición al permanecer dentro del macho, además de que es más útil en la fertilización interna para evitar la pérdida de este material al momento de la cópula, lo cual es importante en especies migratorias aumentando sus probabilidades de reproducirse (Pratt, 1979).

#### **8.4.2 Escala de madurez en machos.**

Se propone una escala de madurez para los machos estableciendo dos estadios: juveniles y adultos. La importancia de esta escala radica en la complementación de las características morfológicas internas y externas, con análisis histológico. La mayoría de las clasificaciones se basan en la calcificación de los gonopterigios; sin embargo, en el tiburón azul el cambio de textura y calcificación es un proceso gradual, a diferencia de la mayoría de las especies, por lo que Pratt (1979) propone que no se considere esta característica como única para establecer la madurez.

Al combinar las características morfológicas con la presencia de productos sexuales, se da mayor confiabilidad al momento de establecer el estadio de madurez, principalmente en el período de transición. Ya que pueden observarse machos con gonopterigios completamente calcificados (que se supone ya es maduro) pero que no presenten espermatóforos o espermatozeugmata, por lo que no se le considera como macho adulto y viceversa. Si se observa un macho con grupos de espermatozoides en los conductos y vesícula seminal pero que no presenta gonopterigios completamente calcificados y que se abra el rifiodón difícilmente podrá copular, por lo que tampoco se le considera maduro, para disminuir el error por estos sesgos, se propone esta escala de madurez.

#### **8.4.3 Talla de primera madurez en machos.**

En el presente estudio se encontró que la talla mínima fue de 145 cm y se estableció la talla de primera madurez a los 180 cm LT. Resultado muy similar a lo encontrado por Guerrero-Maldonado (2002) con muestras del Golfo de California que propone una talla mínima de 162 y la talla de madurez a los 182 cm LT. Sin embargo es mayor a la registrada por Reyes-González (2001) quien encontró en Bahía San Quintín, Baja California, una talla de madurez entre los 142 y 175 cm y Ramírez-González (2002) que establece la talla de



primera madurez a los 160 cm de LT, para la costa occidental de Baja California Sur. La diferencia en la talla de madurez entre los estudios se debe a las diferentes áreas de estudio o a la diversidad de criterios para determinar la madurez, ya que la mayoría se basan solo en características morfométricas ( Reyes-González, 2001; Guerrero-Maldonado, 2002; Ramírez-González, 2002) En este estudio se combinó las medidas morfométricas con el análisis histológico para dar mayor confiabilidad a los resultados obtenidos.

## 8.5 Madurez sexual en hembras

### 8.5.1 Descripción del aparato reproductor: comparación entre juveniles y adultas.

La hembra del tiburón azul presenta solo el ovario derecho y es de tipo externo con los ovocitos expuestos característicos de la familia Carcharhinidae, a diferencia de las especies de la familia Lamnidae, las cuales presentan un ovario de tipo interno, el cual no se observa a simple vista debido a que se encuentra embebido en el órgano epigonal y presenta una serie de canales por donde salen los ovocitos cuando están maduros (Pratt, 1988).

Con respecto a la glándula oviducal, es una de las primeras estructuras en madurar, ya que permite almacenar esperma. Estas glándulas en especies vivíparas, secretan una membrana que es delgada y transparente, ya que solo le sirve para delimitar un embrión de otro, por lo tanto las glándulas son más pequeñas. Mientras que en las especies ovíparas, estas glándulas son muy grandes, ya que la membrana secretada va a ser mas gruesa, conformando la cápsula que protegerá al embrión en el medio marino.

Existen tres tipos de almacén de esperma: almacén con inseminación inmediata, de corto plazo y de largo plazo. En este estudio se pudo comprobar que el tiburón azul presenta un almacenamiento a largo plazo, ya que se observó esperma almacenado en las glándulas oviducal de hembras grávidas. Se infiere que el esperma encontrado fue depositado por lo menos 9 meses atrás, antes de iniciarse la gestación en hembras que presentaron embriones terminales, ya que durante este periodo las hembras no son receptivas para la cópula, por lo que el esperma no pudo ser almacenado recientemente.



Esta estrategia de almacenamiento es característica de especies nómadas, ya que de esta manera incrementan sus posibilidades de asegurar una reproducción exitosa. Otras especies que también exhiben este tipo de almacén de esperma son *Carcharhinus obscurus* y *Sphyrna lewini* (Pratt, 1993).

Con relación al desarrollo embrionario, esta especie es vivípara placentaria y presenta un cordón umbilical que comunica al embrión con la madre, la familia Carcharhinidae (tiburones grises) y la familia Sphyrnidae (tiburones martillo) presentan este tipo de desarrollo (Pratt y Castro, 1990). El cordón umbilical del tiburón azul, es liso a diferencia del de los tiburones martillo, el cual presenta una serie de vellosidades conocidas como apendicularia, por lo que se considera que el tiburón martillo es más evolucionado (Gilbert, 1981). Adicionalmente, se observa una membrana que separa a los embriones, pero sin formar compartimentos uterinos como se ha reportado para *Carcharhinus falciformis* (Cadena- Cárdenas, 2001; Hoyos-Padilla, 2003).

En el tiburón azul se encontraron embriones no viables, esta característica se considera común dada la cantidad de embriones que tiene esta especie (Pratt, 1979). Probablemente los embriones detienen su desarrollo debido al desprendimiento del cordón umbilical o a que se doble evitando el paso de nutrientes. De manera similar, se observó este fenómeno en una hembra grávida de tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* en la misma zona de estudio. Dentro del grupo de los carcharhinidos, el tiburón azul presenta embriones relativamente pequeños, con una talla máxima de 45 cm; mientras que el tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* presenta embriones de 72 cm (Cadena-Cárdenas, 2001) y el tiburón tigre *Galeocerdo cuvier* presenta embriones con una talla máxima de 85 cm (Branstetter et al., 1987).



### 8.5.2. Escala de madurez en hembras.

En este estudio se estableció una escala de madurez, tomando en cuenta características de las estructuras reproductivas; así como la presencia de productos sexuales como ovocitos, esperma almacenado y embriones, ya que las estructuras reproductivas no maduran simultáneamente. Esta escala comprende 5 estados: inmaduras subadultas, maduras, grávidas y posparto.

Las hembras categorizadas como inmaduras tenían una talla entre 90 cm y 160 cm LT. La fase de subadulta es un periodo más corto con tallas desde los 140 a 190 cm LT, se observaron algunas hembras con marcas de cortejo, además de esperma almacenado. Esto nos sugiere que algunas están listas para copular y que el esperma puede permanecer almacenado en las glándulas hasta que lleguen a ser adultas. Las hembras adultas presentaron un intervalo de tallas de 175 a 252 cm de LT, están listas para fecundarse. Se observaron hembras posparto en las mismas tallas.

La conducta de apareamiento no ha sido observada en el tiburón azul, pero aparentemente incluye mordidas a las hembras por parte de los machos. Existe una adaptación morfológica para esta conducta de apareamiento, donde las hembras juveniles y maduras desarrollan piel hasta 3 veces más gruesa que la de los machos (Pratt, 1979). En este trabajo se observaron hembras con marcas, principalmente de febrero a mayo en hembras adultas, sin embargo también hubo registros en agosto y septiembre. 4 de estas hembras presentaron abundante esperma almacenado en las glándulas oviduciales, sugiriendo un apareamiento exitoso, las hembras más pequeñas que presentaron marcas midieron 153 y 155 cm y se consideraron como subadultas; mientras que las adultas con marcas midieron desde 180 a 225 cm.

### 8.5.3 Tallas de primera madurez en hembras.

En este estudio se encontró que la talla de primera madurez de las hembras es de 200 cm LT. En el Océano Atlántico, la talla de madurez se ha reportado a los 215 cm de LT (Pratt, 1979); mientras que Nakano (1994) reporta que las hembras alcanzan su madurez sexual en el intervalo de talla de 189 a 218 cm LT. Reyes-González (2001) reportó en



Bahía San Quintín una talla de madurez de 199 cm LT. Adicionalmente se han reportado hembras grávidas a los 190 cm LT (Guerrero-Maldonado, 2002; Ramírez-González, 2002). Por lo tanto, el rango de tallas de primera madurez de hembras de tiburón azul va de los 190 a 218. Sin embargo, la hembra más pequeña que se consideró como madura por presentar embriones midió 172 cm LT, lo que representa un nuevo registro para la especie.

#### **8.5.4 Fecundidad y periodo de gestación.**

Durante todo el periodo de estudio, solo se registraron 37 hembras grávidas, y los embriones más grandes eran de aproximadamente 45 cm de longitud, de acuerdo a varios autores esta es la talla de nacimiento (Suda, 1953; Strasburg, 1958; Nakano, 1994), lo cual indica que existe una zona de expulsión en la costa occidental de Baja California Sur.

El número de embriones varió desde 7 en una hembra de 252 cm LT a 64 embriones encontrados en una hembra que midió 185 cm LT. Sin embargo el intervalo más común fue de 27 a 33 embriones. Se ha mencionado que en algunas especies de elasmobranquios incluyendo al tiburón azul, existe la tendencia a que las hembras más grandes sean más fecundas (Pratt y Casey, 1990; Castro y Mejuto, 1995). Sin embargo, en los resultados del presente estudio no se observó esta relación. Esto puede deberse a que fueron pocas las hembras grávidas registradas en comparación con las 419 hembras reportadas por Castro y Mejuto (1995). *Prionace glauca* esta reportado como uno de los tiburones más fecundos con un registro máximo de 135 embriones Gubanov y Gregor'yev, 1975; Pratt, 1979).

Tomando en cuenta que los embriones más pequeños se encontraron en agosto y septiembre y los más grandes se encontraron de mayo a julio con una talla de 45 cm de LT (talla de nacimiento), se sugiere que el periodo de gestación en la costa occidental de Baja California Sur es de 12 meses. Sin embargo se encontraron embriones con tallas cercanas a la talla de nacimiento en los meses de diciembre y febrero, pero esto puede deberse a que los embriones crecen rápidamente en los primeros meses de desarrollo y posteriormente disminuye su tasa de crecimiento Considerando los resultados del presente trabajo, esta zona se puede considerar como área de expulsión de crías. Esto coincide con los resultados



de Guerrero-Maldonado (2002), Furlong-Estrada (2000) y Ramírez-González (2002) quienes proponen que tanto el Golfo de California, como la costa occidental de la península de Baja California es un área de crianza. Aunque no encontraron embriones más grandes o neonatos, al igual que en el presente estudio; lo cual puede deberse a que el área de crianza sea más oceánica y que en los primeros meses de vida de los organismos libres la tasa de crecimiento sea alta. Branstetter (1990) menciona que las crías alcanzan el doble de su tamaño en su primer año de vida ya que se encuentran en áreas que no están protegidas, y continúan su rápido crecimiento hasta los siguientes dos o tres años, aun así la mortalidad puede ser alta para estos neonatos considerando el número de crías producidos por cada hembra, otra razón porque no se tienen neonatos puede ser debido al arte de pesca mencionada anteriormente.



## IX. CONCLUSIONES

- El tiburón azul es la especie más abundante en las capturas y por consiguiente, es el recurso más importante que soporta la pesquería de tiburón en la costa occidental de Baja California Sur.
- Esta especie está presente todo el año. Sin embargo, las mayores capturas fueron durante los meses de invierno-primavera incidiendo principalmente sobre organismos juveniles, mientras que la mayoría de los adultos fueron capturados en los meses de verano-otoño.
- La proporción de sexos en embriones es de 1H:1M. Sin embargo, en el área de estudio la proporción de sexos estuvo dominada por los machos (0.63H:1M), lo que sugiere una segregación por sexos al alcanzar la madurez.
- La escala de madurez propuesta para los machos, comprende los estadios de juvenil y adulto; mientras que para las hembras la escala presentó 5 estadios: inmadura, subadulta, madura, grávida y posparto.
- Los machos de tiburón azul presentan testículos con desarrollo diamétrico y esperma almacenado en espermátóforos en los conductos deferentes y como espermatozeugmata de tipo compuesto en la vesícula seminal.
- En las hembras se observó almacén de esperma a largo plazo almacenado en las glándulas oviducuales de hembras tanto subadultas como maduras. Y fue más abundante en hembras que presentaron marcas de cortejo.
- La talla de primera madurez en los machos fue de 180 cm LT, El macho más pequeño que presento características de madurez midió 145 cm LT; mientras que en las hembras la talla de primera madurez fue de 200 cm LT con una talla mínima de 172 cm LT.



- El tiburón azul presentó una fecundidad muy variable, con 64 embriones como máximo, pero la moda más común fue de 27 a 33 embriones, con una talla de nacimiento de 45 cm de LT. No se observó relación entre el número de embriones y la talla materna.
- Se propone que la costa occidental de Baja California Sur es un área de expulsión y de crianza para el tiburón azul, en los meses de primavera- verano.



## X. RECOMENDACIONES

Los estudios enfocados a la reproducción son de vital importancia, para conocer la situación de una especie. Por lo que es necesario continuar con estudios sobre biología básica, en especial con aquellas especies que tienen importancia comercial, como el tiburón azul, en las costas del Pacífico mexicano. Incrementar los periodos de estudio para tener una visión más completa de su estructura, a fin de obtener información mas precisa.

Tomando en cuenta que el tiburón azul es una especie altamente migratoria es necesario abarcar nuevas áreas de muestreo, para saber si existen diferencias en cuanto a su distribución y aspectos biológicos. Por lo que se propone ampliar la información sobre la biología reproductiva del tiburón azul, complementándola con estudios de hábitos alimenticios y de edad y crecimiento en diferentes sitios de muestreo y en un periodo mayor de monitoreo al que se presenta en este trabajo. La integración de esta información resultaría de gran importancia para el conocimiento de la biología de esta especie, además de aportar elementos para elaborar medidas, tan necesarias para un adecuado manejo de las pesquerías, dada su importancia en el sector pesquero.



## XI. LITERATURA CITADA

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

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

Beckett, J. S. 1970. Swordfish, shark and tuna tagging, 1961-69. Fish. Res. Board Can. Tech. Rept. 193:1-13.

Bigelow, H. B. y Schroeder, W. C. 1948. Sharks. *En*: Fishes of the Western North Atlantic, Part 1, Vol. 1 J. Tee-Van, C.M. Breder, S. F. H. Hildebrand, A. E. Parr, y W. C. Schroeder (eds.), p. 59-546. Mem. Sears Found. Mar. Res., Yale Univ.

Branstetter, S., Musick, J.A. y Colvocoresses, J.A. 1987. A comparison of the age and growth of the tiger shark, *Galeocerdo cuvieri*, from off Virginia and from the Northwestern Gulf of Mexico. Fish. Bull., U.S. 85:269-279.

Branstetter, S. 1990. Shark early life history: One reason sharks are vulnerable to overfishing. *En*: Discovering sharks. American Litoral Society. U.S.A 29-34pp.

Cadena-Cárdenas, L. 2001. Biología reproductiva de *Carcharhinus falciformis* (Chondrichthyes: Carcharhinidae), en el Golfo de California. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S. México. 68 pp.

Cailliet, G. M. y Bedford, D. W. 1983. The biology of three pelagic sharks from California waters, and their emerging fisheries: A review. CalCOFI Rep. 24:57-68.

Carey, F. G. y Scharold, J. V. 1990. Movements of blue sharks (*Prionace glauca*) in depth and course. Mar. Biol. 106: 329-342. }



- Chase, T. E. 1968. Sea floor topography of the central eastern Pacific Ocean. U.S. Fish and Wild Life Service Circ. 291: 33.
- Clark, E. y Von Schmidt, K. 1965. Sharks of Central Gulf coast of Florida. Bull. Mar. Sci. 15:13-83.
- Castro, J. I. y Mejuto, J. 1995. Reproductive parameters of Blue shark, *Prionace glauca*, and others sharks in the Gulf of Guinea. Mar. Freshwater Res. 46:967-973.
- Castro, J. I., Woodley, C. M. y Brudek, R. L. 1999. A preliminary evaluation of the status of shark species. Blue Shark (*Prionace glauca*) FAO Fish. Tech. Paper. 380:53-54.
- Clarke, M R., Clarke, D. C., Martins, H. R. y Silva, M. 1996. The diet of the blue shark (*Prionace glauca* L.) in Azorean waters. Horta Arquipelago Cienc. Biol. Mar./Life Mar. Sci. 14A: 41-56.
- Compagno, L. J. V. 1984. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2 . Carchariniformes. FAO Fish. Synop. 125(4): 251-663.
- Compagno, L.J.V., Krupp, F y Schneider. 1995. Tiburones *En*: Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E. y Niem, V. H (eds). Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca. Pacifico Centro-Oriental. Parte 1. Roma. 2: 648- 685.
- Cortés, E. 2003 Conservación de elasmobranquios: perspectiva internacional. <http://www.jornada.unam.mx72003/ene03/030127/eco-d.html>.
- Daniel, W. W. 2002. Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud. 4ª Edición. Editorial Limusa. México. 755pp.



De Carvalho, M. R. y Gomes, U. L. 1992. Reinterpretation of the clasper morphology of *Prionace glauca* (Linnaeus 1758) (Chondrichthyes, Carcharhiniformes), with notes on clasper terminology. An. Acad. Bras. Cienc. 64(2): 199-206.

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

FAO. 2000. Species information sheet ([www.fao.org/fi/sidp/species/pr\\_gl\\_ht.htm](http://www.fao.org/fi/sidp/species/pr_gl_ht.htm))

Francis, M. y Stevens, J. D. 2000. Reproduction, embryonic development, and growth of the porbeagle shark *Lamna nasus*, in the southwest Pacific Ocean. Fish. Bull. 98: 41-63.

Furlong-Estrada, E. 2000. Caracterización de la captura de tiburón azul (*Prionace glauca*, Linnaeus, 1758) descargado en Ensenada, Baja California. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México. 63 pp.

Gilbert, P. W. 1981. Patterns of shark reproduction. Oceanus 24(4): 30-39.

Gómez, J. y Vélez, H. 1982. Variaciones estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la corriente de California. Cienc. Mar. 8(2):167-176.

Guerrero-Maldonado, L. 2002. Captura comercial de elasmobranquios en la costa suroccidental del Golfo de California, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S, México. 54 pp.

Gulland, J.A. 1971. The fish resources of the ocean. FAO. Fishing news Ltd. Surrey. 255 pp.



Guvanov, Y. E. P., y Grigor'yev, V. M. 1975. Observations on the distribution and biology of the blue shark, *Prionace glauca*, (Carcharhinidae) of the Indian Ocean. *J. Ichthyol.* 15(7): 37-43.

Hamlett, W. C. 1999. Male reproductive system. *En: Sharks, skates and rays the biology of elasmobranch fishes.* Hamlett, W. C. (Ed). The Johns Hopkins Univ. Press, E.U.A. 444-469 pp.

Hara, M y Tanaka, S. 1990. An overview of Chondrichthyan seminiferous follicles using electrón microscopy. *En: Elasmobranchs as living resources: Advances in biology, ecology, systematics and status of the fisheries.* H. L. Pratt, Jr., S. H. Gruber, y T. Taniuchi, (Eds.), U.S. Dep. Comer., NOAA Tech. Rep. NMFS, 90: 131-142.

Harvey, J. T. 1989. Food habits, seasonal abundance, size, and sex of the blue shark, *Prionace glauca*, in Monterey Bay, California. *Calif. Fish and Game.* 75(1): 33-44.

Hazin, F. H. V., Kihara, K., Otsuka, K. y Boeckman, C. E. 1994. Reproduction of the blue shark, *Prionace glauca* in the southwestern equatorial Atlantic Ocean. *Fish. Sci.* 60(5): 487-491.

Holden, M. J. 1974. Problems in the rational exploitation of elasmobranchs populations and some suggested solutions. *En: Sea fisheries research.* F. R. Harden Jones (ed.). Halsted Press, J. Wiley & Sons, New York. 117-137 pp.

Holts, D. B., Julian, A., Sosa-Nishizaky, O. y Bartoo, N. W. 1998. Pelagic sharks fisheries in the North Pacific Ocean. *Fish Res.* 39:127-138.

Houillon, C. 1978. Sexualidad. Tercera Edición. Ediciones Omega S.A. 668 pp.



Hoyos-Padilla, E. M. 2003. Biología reproductiva del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Bibron, 1839) de Baja California Sur. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S, México. 58 pp.

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. y Butler, S. B. 1988. Diurnal movements of scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*, Griffith y Smith) to and seamount in the Gulf of California. *J. Fish. Biol.* 33:751-761.

Kohler, N. E. y Stillwell, C. E. 1981. Food habits of the blue shark (*Prionace glauca*) in the Northwest Atlantic. ICES COUNCIL MEETING 1981 (COLLECTED PAPERS), ICES, COPENHAGEN (DENMARK). 12 pp

Kohler, N. E. 1989. Aspects of the feeding ecology of the blue shark, *Prionace glauca* in the western North Atlantic. DISS. ABST. INT. PT. B - SCI. & ENG. 49(7): 179.

Laughlin, L. y Urogetz, J. 1999. An observation of the blue shark parturition in the southern California Bight. *Calif. Fish and Game.* 85(2): 83-84.

Lender, T., Delavault, R y Le Moigne, A. 1982. Diccionario de Biología. Ediciones Grijalvo, S.A. 203 pp.

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

Macnaughton, R., Rogan, E., Hernández-García, V. y Lordan, C. 1998. The importance of cephalopods in the diet of blue shark (*Prionace glauca*), south and west of Ireland. ICES, Copenhagen (Denmark). 12 pp.



Martoja, R. y Martoja-Pierson, M. 1970. Técnicas de Histología Animal. Toray-Masson, S. A. Editores, Barcelona, España. 350 pp.

Mendizábal y Oriza, D., Vélez-Marín, R., Márquez-Farías, J. F. y Soriano-Velásquez, S. R. 2000. La pesquería oceánica de tiburones del Pacífico. *En*: Sustentabilidad y pesca responsable en México, evaluación y manejo 1999-2000. Instituto Nacional de La Pesca. SAGARPA. México. 181-209 pp.

Miranda-Vázquez, L. A. 1996. Análisis biológico-pesquero del tiburón azul (*Prionace glauca* Linnaeus, 1758) en Ensenada, Baja California. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, 115 pp.

Nakano, H. 1994. Age, reproduction and migration of blue shark in the North Pacific Ocean. *Bull. Natl. Res. Inst. Far. Seas Fish. Enyosuikenho.* 31:141-256.

Natanson, L. J. y Caillet, G. M. 1986. Reproduction and development of the pacific angel shark, *Squatina californica*, off Santa Barbara, California. *Copeia* (4):987-994.

Nelson, J. 1994. *Fishes of the World*. Tercera edición. Estados Unidos. John Wiley & Sons, Inc. 600 pp.

Olsen, A. M. 1954. The biology, migration and growth rate of the school shark, *Galeorhinus australis* (Macleay) (Carcharhinidae) in southeastern Australian waters. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 5: 353-410.

Otake, T. y Mizue, K. 1985. The fine structure of the placenta of the blue shark, *Prionace glauca*. *J. Ichthyol.* 32(1): 52-59.

Parsons, G. R., y Grier, H. J. 1992. Seasonal changes in sharks testicular structure and spermatogenesis. *J. Exp. Zool.* 261:173-184.



Pratt, H. L. Jr. 1979. Reproduction of the blue shark, *Prionace glauca*. Fish. Bull. 77: 445-470.

Pratt, H. L. Jr. 1988. Elasmobranch gonad structure: a descriptive survey. Copeia (3): 719-729.

Pratt, H. L. Jr. 1993. The storage of spermatozoa in the oviducal glands of western North Atlantic sharks. *En: The reproduction and development of sharks, skates, rayas and ratfishes.* Wourms, J.P., Demski, L. S, (eds.). 38(1-3): 139-149.

Pratt, H. L., Jr. y Casey, J. G. 1990. Shark reproductive strategies as a limiting factor in directed fisheries, with a review of Holden's method of estimating growth-parameters. *En: Elasmobranchs as living resources: Advances in biology, ecology, systematics and status of the fisheries.* H. L. Pratt, Jr., S. H. Gruber, y T. Taniuchi, (Eds.), U.S. Dep. Comer., NOAA Tech. Rep. NMFS, 90, 97-109 p.

Pratt, H. L. y Castro, J.I. 1990 Shark reproduction: Parental investment and limited fisheries, an overview. *En: Discovering sharks.* American Litoral Society, USA. 56-59 pp.

Pratt, H. L. y 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., y Tanaka, S. 1994. Sperm storage in males elasmobranchs: a description and survey. *J. Morphol.* 219:297-308.

Ramírez- González, J. 2002. Captura comercial de tiburones pelágicos en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S. 56 pp.



Reyes-González. J. A. 2001. Biología reproductiva y pesquería del tiburón azul (*Prionace glauca*) en la costa adyacente a Bahía de San Quintín, Baja California. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 78 pp.

Robles-Gil, S. 1985. Estudio geográfico del estado de Baja California Sur. Gob. Del Edo. Programa cultural de las fronteras, La Paz. 203 pp.

Springer, S. 1960. Natural history of the sandbar shark *Eulamia milberti*. U. S. Fish Wild. Serv., Fish. Bull. 61:1-38.

Springer, S. 1967. Social organization of Shark population, *En: Sharks, skates and rays*. Gilbert, P. W., Mat Ewson, R. F. y Rall. D. P. (eds) The Johns Hopkins Press. USA. 9:149-172

Stevens, J. D. 1974. The occurrence and significance of tooth cuts on the blue shark (*Prionace glauca* L.) from British waters. J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 54: 373-378.

Stevens, J. D. 1976. First results of sharks tagging in the northeast Atlantic, 1972-1975. J. Mar. Biol. Assoc. UK. 56 :929-037.

Strasburg, D. W. 1958. Distribution, abundance and habits of pelagic sharks in the Central Pacific Ocean. U. S. Fish. Wild. Serv. Fish. Bull. 58: 335-361

Suda, A. 1953. Ecological study on the blue shark (*Prionace glauca* L.), South Sea Area Fish. Res. Lab. Rep. 26:1-11.

Sverdrup, H. W., Johnson, M. W. y Fleming, R. H. 1942. The Oceans: the physic, chemistry and general biology. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliff, New Jersey. USA. 1087 pp.



Takemura, A., Hara, M., Mizue, K. y Malagrino, G. 1983. Electron microscopic study on the spermatogenesis of Chimaera *Chimaera phantasma*. Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ. 54:35-54.

Tricas, T. C. 1979. Relationship of the blue shark, *Prionace glauca* and its prey species near Santa Catalina Island, California. Fish. Bull. NOAA /NMFS. 77(1): 175-82.

Tovar-Ávila, J. 2000. Edad y crecimiento del tiburón puntas negras *Carcharhinus limbatus* (Valenciennes, 1839) en el Golfo de México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México DF. 67 pp.

Vaske-Junior, T. y Rincon-Filho, A. 1998. Stomach content of blue sharks (*Prionace glauca*) and anequim (*Isurus oxyrinchus*) from oceanic waters of Southern Brazil. Rev. Bras. Biol. 58(3): 445-452.

Walsh, J. J., Kelley, J. C., Whitley, T. E. y McIsaacs, J. J. 1974. Spin-up of the Baja California upwelling ecosystem. Limn. Oceanogr. 19: 553-571.

Wooster, W. S. y Cromwell, T. 1958. An oceanographic description of the Eastern Tropical Pacific. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. 7 (3): 169-282.

Wourms, J. P. 1977. Reproduction and development of condricthyan fishes. Amer. Zool. 17:379-410.

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