UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

BIOLOGÍA

Biología reproductiva del tiburón *Rhizoprionodon longurio* (JORDAN & GILBERT, 1882) de Santa Rosalía, Baja California Sur.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA:

CHÁVEZ SILES MARÍA FERNANDA DHAMAR

Asesor: Ph. D. Xareni Pacheco Pacheco

Coasesor: M.C. Gabriela García Vázquez

TOLUCA, MÉXICO **DICIEMBRE 2021**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

BIOLOGÍA

Biología reproductiva del tiburón *Rhizoprionodon longurio* (JORDAN & GILBERT, 1882) de Santa Rosalía, Baja California Sur.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA:

CHÁVEZ SILES MARÍA FERNANDA DHAMAR

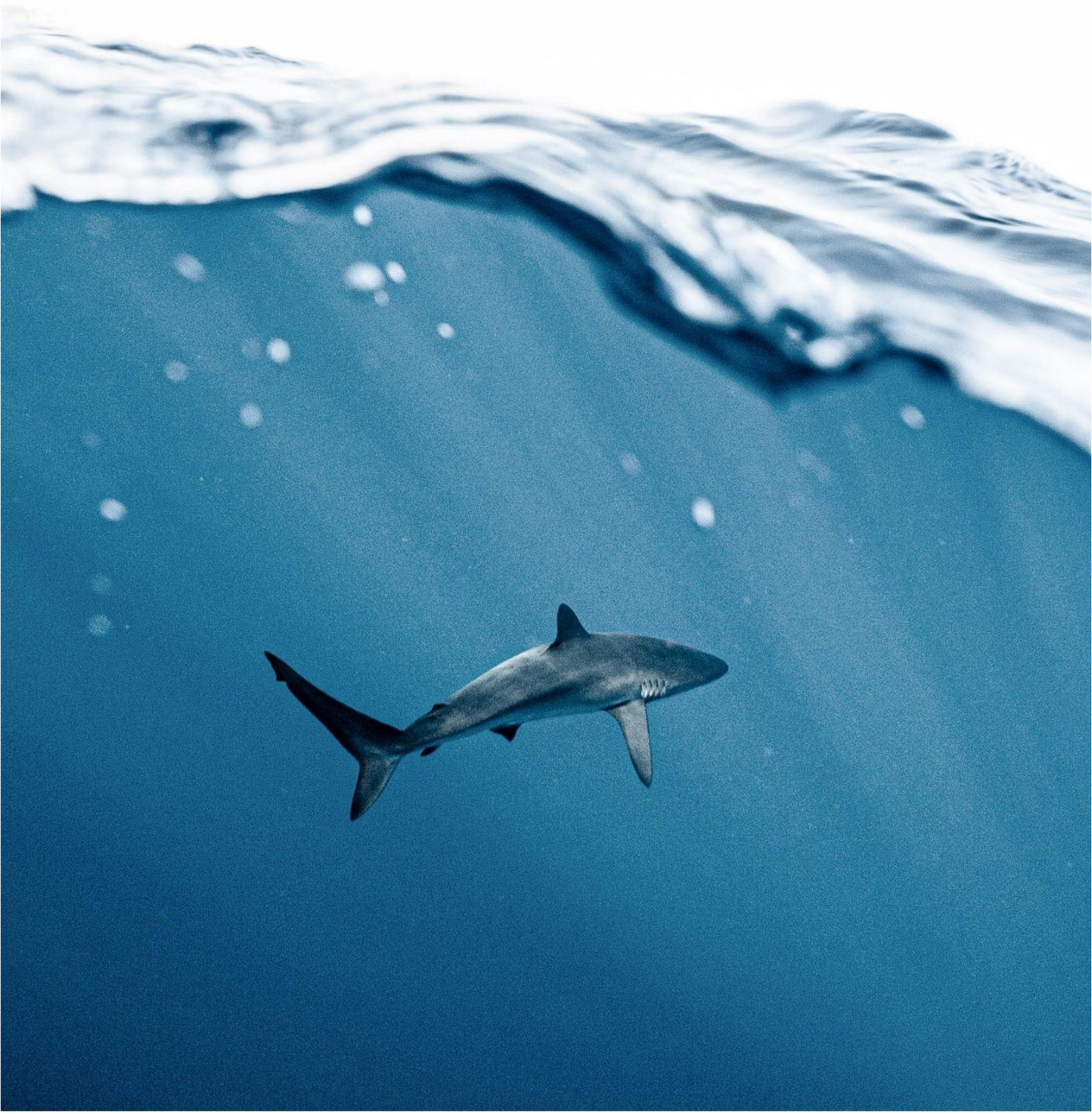
Asesor: Ph. D. Xareni Pacheco Pacheco

Coasesor: M.C. Gabriela García Vázquez

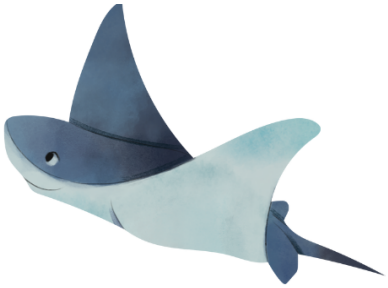
TOLUCA, MÉXICO **DICIEMBRE 2021**

“When you enter the ocean you enter the food chain, and not necessarily at the top”

Jacques-Yves Cousteau



Dedicatoria

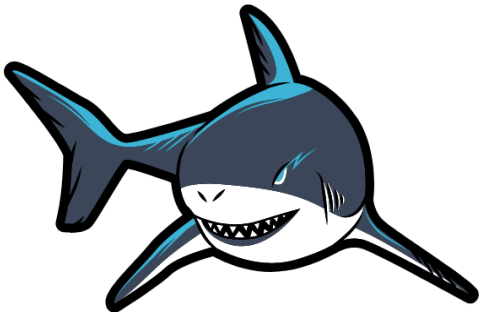


A mis padres

María Antonieta y Ángel Chávez por brindarme todo el apoyo para mi formación académica, sin ustedes esto no hubiera sido posible, gracias por darme una vida llena de mucho amor y una probadita de mar, gracias por ser mi motor, por tanta paciencia y motivación. los amo mucho.

A Pablo J.G.L.

Gracias por todo tu apoyo, por los camping, los atardeceres, por los desvelos, el estrés, y mejor aún por el cariño, y la paciencia. Nunca pierdas de vista el horizonte.



A mí

Recuerda siempre quien eres

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por todo el apoyo y cariño incondicional a lo largo de toda mi vida, sin ustedes nada de esto hubiera sido posible, nunca tendre palabras sufcientes para agradecerles por todo. Los amo mucho.

Pablo page, muchas gracias por haber formado parte de esta aventura agradezco el apoyo que recibi por tu parte, mi cariño por ti en inmenso.

Gracias a toda mi familia por el apoyo brindado en las divesas trayectorias de mi vida.

A mis directoras de tesis Ph. D. Xareni Pacheco Pacheco y M.C. Gabriela García Vázquez, por darme la oportunidad de formar parte de este proyecto, por asesorarme, y sobre todo por la enseñanza, el apoyo y paciencia incondicional de su parte.

Al Dr. Felipe Galván Magaña por el apoyo y aprendizaje proporcionado durante mi estancia en CICIMAR.

A los integrantes del comité tutorial, Dr. Monica Garduño por la revisión y sugerencias para mejorar y enriquecer este trabajo.

A mis compañeros de la UAEMéx, por todas esas practicas de campo, risas, debates y demás, sobrevivimos para ser Biologos.

A todos los compañeros del Galvan-Team por aportar algo en mi trabajo, por hacer excelentes debates cuando existían las dudas.

A ti que con tu granito de arena se llevo a cabo este trabajo, que tuviste que ver en mi crecimiento profesional y personal, que estuviste presente o no en muchas aventuras, travesías y miedos para llegar a ser lo que soy… Infinitas gracias.

ÍNDICE

Índice de figuras

Glosario

1. Introducción

1.1 Estrategias reproductivas

1.2 Generalidades del tiburon *Rhizoprionodon longurio*

1.3 Importancia pesquera

2. Antecedentes

2.1. Estudios realizados en la especie *Rhizoprionodon longurio*

3. Justificación

4. Objetivo

4.1. General

4.2. Particulares

5. Área de estudio

6. Material y método

6.1. Trabajo de campo

6.2. Trabajo de laboratorio

6.3. Análisis estadísticos

7. Resultados

7.1 Composición de talla y proporcion de sexos

7.2 Descripción macroscópica del aparato reproductor de las hembras

7.3 Estadios de madurez

7.3.1 Inmadura

7.3.2 Madura

7.3.3 Grávida

7.4 Descripción macroscopica del aparato reproductor de los machos

7.5 Estadios de madurez

7.5.1 Inmaduro

7.5.2 Maduro

7.6 Composición de tallas y proporción de sexo de los embriones

7.7 Crecimiento embrionario

7.8 Fecundidad uterina

7.9 Índice gonadosomático (IGS)

7.10 Ciclo reproductivo

7.11 Talla media de madurez sexual (L_{50})

7.12 Talla de maternidad (Lm_{50})

8. Discusión

8.1 Composición de tallas y proporcion de sexos

8.2 Descripción mácroscopica del aparato reproductor de *Rhizoprionodon longurio*

8.3 Hembras

8.3.1 Ovario

8.3.2 Glándula oviducal

8.3.3 Útero

8.4 Machos

8.4.1 Testículos

8.5 Crecimiento embrionario y ciclo reproductivo

8.6 Índice gonadosomático

8.7 Fecundidad uterina

8.8 Talla media de madurez sexual (L_{50}) y talla de maternidad (Lm_{50})

9. Conclusiones

10. Referencias

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplar de tiburon bironche *Rhizoprionodon longurio.*

Figura 2. Área de estudio cercano a Santa Rosalía, Baja California Sur, México.

Figura 3. Ejemplar de una hembra *R. longurio* al ser extraído el órgano reproductor en campo.

Figura 4. Composición de tallas por sexo del tiburón *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

Figura 5. Estadios de madurez de hembras por intervalo de tallas de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

Figura 6. Regresión lineal entre el ancho de la glándula oviducal y la longitud total de las hembras de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

Figura 7. Regresión exponencial entre el largo de la glándula oviducal y la longitud total de las hembras de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

Figura 8. Regresión exponencial entre el largo del útero y la longitud total de las hembras de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

Figura 9. Regresión lineal entre el largo del útero y la longitud total de las hembras de *R. longurio* en Santa Rosalía B.C.S.

Figura 10. Anatomía del aparato reproductor de una hembra inmadura de *R. longurio.*

Figura 11. Anatomía del aparato reproductor de una hembra madura de *R. longurio.*

Figura 12. Anatomía del aparato reproductor de una hembra grávida de *R. longurio.*

Figura 13. Anatomía del aparato reproductor de una hembra grávida y presencia de embriones de *R. longurio.*

Figura 14. Anatomía del aparato reproductor de una hembra grávida y presencia de embriones de *R. longurio.*

Figura 15. Embrión del tiburón *Rhizoprionodon longurio.*

Figura 16. Estadios de madurez de machos por intervalo de tallas de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

Figura 17. Regresión lineal entre el largo del gonopterigio y la longitud total de los machos de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

Figura 18. Regresión lineal entre el ancho del testículo y la longitud total de los machos de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

Figura 19. Regresión lineal entre el largo del testículo y la longitud total de los machos de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

Figura 20. Gráfica del ancho del testículo de los machos por mes de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

Figura 21. Anatomía del aparato reproductor de un macho inmaduro de *R. longurio.*

Figura 22. Anatomía del aparato reproductor de un macho maduro de *R. longurio.*

Figura 23. Tipo de crecimiento alométrico en los embriones de *R. longurio.*

Figura 24. Útero de una hembra grávida de *R. longurio,* con embriones desarrollados.

Figura 25. Etapa 1 del crecimiento embrionario de *R. longurio.*

Figura 26. Etapa 2 del crecimiento embrionario de *R. longurio.*

Figura 27. Etapa 3 del crecimiento embrionario de *R. longurio.*

Figura 28. Etapa 4 del crecimiento embrionario de *R. longurio.*

Figura 29. Etapa 5 del crecimiento embrionario de *R. longurio*.

Figura 30. Etapa 6 del crecimiento embrionario de *R. longurio*.

Figura 31. Etapa 7 del crecimiento embrionario de *R. longurio* vista dorsal/ventral.

Figura 32. Etapa 7 del crecimiento embrionario de *R. longurio* vista lateral.

Figura 33. Regresión lineal entre la fecundidad y la talla materna de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

Figura 34. Relación mensual del índice gonadosomático (IGS) en hembras de *R. longurio* durante el año de muestreo en Santa Rosalía, B.C.S.

Figura 35. Relación mensual del índice gonadosomático (IGS) en machos de *R. longurio* durante el año de muestreo en Santa Rosalía, B.C.S.

Figura 36. Variación mensual del diámetro de los ovocitos y la longitud total del embrión.

Figura 37. Talla media de madurez sexual para hembras de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

Figura 38. Talla media de madurez sexual para machos de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

Figura 39. Talla de maternidad para hembras de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

GLOSARIO

Appendiculae: Procesos dendríticos, aplanados que se proyectan desde la superficie del cordón umbilical (Alcock, 1890).

Fecundidad: Capacidad máxima reproductiva. Está basada en la tasa de producción de huevos en especies ovíparas y el número de embriones en los úteros de especies vivíparas (Dood, 1983).

Glándula oviducal: Modificación del oviducto del tracto reproductivo de las hembras, en la cual se almacena el esperma, se fertiliza el ovocito y se produce la cápsula dura en las especies ovíparas (Hamlett, 2005).

Gonopterigios: Órganos copuladores del macho, característicos de los elasmobranquios. Son modificaciones de los bordes internos de las aletas pélvicas y se prolongan hacia atrás, más que las aletas mismas. Sinónimo a clasper (Álvarez del Villar, 1978).

Órgano epigonal: Órgano linfomieloide, exclusivo de los condrictios, adyacente a las gónadas. Especializado en la producción de granulocitos y linfocitos (Honma *et al*., 1984).

Ovario externo: Se caracteriza por presentar 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)

Ovocito: Célula sexual femenina en fase de crecimiento (Gilbert, 2005).

Talla de maternidad (Lm $_{50}$): talla a la cual el 50% de las hembras se encuentran preñadas y contribuirán a la siguiente cohorte (Walker, 2005).

Talla media de madurez sexual (L_{50}): talla a la cual el 50 % de la población se encuentra sexualmente madura (Walker, 2005).

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

Vitelo: Conjunto de sustancias nutritivas (ricas en lípidos, carbohidratos y proteínas) almacenadas en forma de gránulos en el citoplasma de un huevo destinado a la nutrición del embrión (Curtis *et al.,* 2008).

Vitelogénesis: Proceso mediante el cual se acumula el vitelo en el citoplasma del ovocito.

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, 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).

RESUMEN

El cazón bironche *Rhizoprionodon longurio* es una especie de importancia comercial, representando el 0.02% en las capturas totales de elasmobranquios en la costa occidental de Baja California Sur (B.C.S). La información acerca de su biología es limitada, se desconocen los aspectos reproductivos de la especie para el área geográfica del Golfo de California. El presente estudio tiene como objetivo caracterizar la biología reproductiva del tiburón bironche. Los ejemplares fueron colectados en Santa Rosalía B.C.S durante el periodo 2018-2019. Se analizaron un total de 146 hembras y 55 machos, las tallas oscilaron entre 62 y 127 cm de longitud total (LT), se encontraron diferencias significativas con respecto a la talla entre machos y hembras. Los resultados mostraron una proporción sexual de 2.65H:1M. Se llevó a cabo la descripción morfológica de los órganos reproductores, determinando dos estados de madurez para los machos y tres para las hembras. El cazón bironche tiene en promedio una fecundidad de 7.21 crías por hembra con una proporción sexual embrionaria de 0.93H:1M. La variación mensual del diámetro de los ovocitos más grandes de las hembras maduras y la LT de los embriones sugieren un ciclo reproductivo anual continuo. Por medio de un modelo logístico binomial se calculó una talla de madurez sexual de 92.99 cm de LT para hembras y 90.62 cm de LT para machos. Se estimó por primera vez para esta especie la talla de maternidad de 104.79 cm de LT. Esta información es fundamental para el diseño de planes de manejo pesquero de la especie.

Palabras clave: Madurez sexual, Morfometría, Fecundidad, Maternidad, Pesca artesanal, Manejo sustentable.

ABSTRACT

The sharpnose shark, *Rhizoprionodon longurio,* is an important commercial species, representing 0.02%, of the total elasmobranchs catches, on the western coast of Baja California Sur. There is a lack of information about the biology of this species, specifically of its reproductive characteristics, in the geographical area of the Gulf of California. The present study aims to characterize the reproductive biology of the sharpnose shark. The specimens were collected in Santa Rosalía during 2018-2019. A total of 146 females and 55 males were analyzed, with a sexual ratio of 2.65F:1M. Significant differences were found between both sexes where the total length (TL) ranged between 62 and 127cm. The morphological description of the reproductive organs was achieved, where two stages of maturity for males and three for females were defined. The average litter size was 7.21 pups per female and the proportion of embryos was 0.93F: 1M. Temporal changes of the largest oocytes' diameter of mature females and the TL of embryos suggest an annual reproductive cycle. The TL at maturity was 92.99cm in females and 90.88cm in males, this was calculated using a binomial logistic model. The length at maternity was estimated for the first time for this species (TL=104.79 cm), which is essential for best practices in fisheries management.

Keywords: Length at maturity, Morphometry, Litter size, Length at maternity, Artisanal fishing, Fishing management.

1. INTRODUCCIÓN

Los tiburones a lo largo de su historia, se han catalogado como depredadores exitosos en el ecosistema marino, desempeñando un importante papel en el intercambio de energía con los niveles tróficos superiores (Bradley *et al.,* 1990; Compagno, 1990). Durante su extenso periodo evolutivo han desarrollado adaptaciones, como sentidos refinados, diversas estrategias para la búsqueda de alimento y métodos reproductivos complejos (Conrath y Musick, 2012). Sus patrones de vida se caracterizan por presentar un crecimiento lento, maduración sexual tardía, alta longevidad, baja fecundidad y periodos largos de gestación (Holden, 1977). Debido a estas características la mayoría de las especies de tiburones se han descrito como vulnerables a la sobrepesca (Musick, 1999; Stevens *et al*., 2000).

Los elasmobranquios son capturados por pesquerías comerciales, deportivas y como fauna de acompañamiento de especies pelágicas y costeras (Walker, 1998; Stevens *et al.,* 2000). El aumento en el nivel de explotación de los elasmobranquios ha ocasionado una disminución en sus poblaciones (Bonfil, 1994; Stevens *et al.,* 2000). Por lo cual es importante generar un manejo sustentable de la pesca de tiburones para la conservación de estos organismos (Punt *et al.,* 2000).

A nivel mundial México ocupa la sexta posición en producción de pesca de tiburón (Dent y Clarke, 2015), registrando los mayores volúmenes de captura para la zona noroeste, incluyendo el Golfo de California (GC) y la costa occidental de Baja California (Torres-Huerta *et al.,* 2008).

El GC ha sido reconocido como la región pesquera más importante por ser un mar altamente productivo con gran biodiversidad y designado como un gran ecosistema marino (Sherman, 1994; Sosa-Nishizaki, 2003; Lluch-Cota *et al.,* 2007).

1.1 Estrategias reproductivas

Los tiburones y rayas, generalmente llamados elasmobranquios, se ubican en la clase de Chondrichthyes o peces cartilaginosos (Compagno, 2005). A pesar de tener una larga historia evolutiva de más de 400 millones de años y de jugar un papel importante en los ecosistemas acuáticos, los estudios sobre su biología son limitados en comparación con otros vertebrados (Grogan y Lund, 2004; Chatzispyrou y Megalofonou, 2005).

Los tiburones tienen éxito como grupo, debido a diversos factores, uno de ellos es el desarrollo de eficientes estrategias reproductivas (Wourms, 1977; 1981), incluyendo la fertilización interna (Conrath y Musick, 2012; Isla, 2013), la nutrición embrionaria y el nacimiento de organismos completamente desarrollados e idénticos a sus progenitores permitiéndoles sobrevivir en el medio marino por sí mismos (Pratt y Castro, 1990; Galván-Tirado, 2014).

Dentro de las diferentes especies de tiburones existen aquellas que se caracterizan por tener un modo de reproducción ovíparo, así como los vivíparos, donde se distinguen las formas aplacentadas y placentadas (Otake 1990; Hamlett y Koob, 1999). Además, los tiburones presentan órganos reproductores especializados que conllevan a una conducta pre-copulatoria y copulatoria compleja (Sosa-Nishizaki, 2003; Compagno, 2005).

La oviparidad es la condición más primitiva, está presente en el 40% de las especies de elasmobranquios (Hamlett y Koob, 1999), se caracteriza por la ovoposición de huevos en forma de cápsulas con una consistencia protéica coriácea, la cual contiene el suficiente vitelo y nutrientes para el desarrollo del embrión hasta su eclosión (Hamlett y Koob, 1999; Galván-Tirado, 2014). Por otra parte, en la viviparidad los organismos retienen los embriones en el útero hasta que completan su desarrollo (Compagno,

1990), esta condición reproductiva está presente aproximadamente en el 60% de los elasmobranquios (Wourms, 1977; Musick y Ellis, 2005).

Dependiendo de las estrategias reproductivas, la nutrición embrionaria se divide en lecitotrófica y matrotrófica. Los lecitotróficos son aquellos donde el desarrollo del embrión depende del vitelo, como los tiburones ovíparos y los vivíparos lecitotróficos (presentan saco vitelino). Por otra parte, en la nutrición matrotrófica los embriones dependen de la conexión con la madre durante una parte del desarrollo fetal, como la viviparidad aplacentaria por oofagia (los embriones se alimentan de ovocitos no fertilizados), la viviparidad aplacentaria por adelfófagia o canibalismo uterino, la viviparidad aplacentaria denominada trofonemata (con micro vellosidades en el útero, capaces de secretar una sustancia conocida como "leche uterina"); así como la viviparidad placentaria (los embriones durante los primeros meses de gestación presentan un saco vitelino que después se forma en una pseudo-placenta, la cual permite el paso de los nutrientes) (Wourms, 1977; Luer y Gilbert, 1991; Hamlett y Koob, 1999; Garrier *et al*., 2004; Hamlett, 2005; García-Vázquez, 2018).

1.2 Generalidades del tiburón *Rhizoprionodon longurio*

El tiburón bironche *Rhizoprionodon longurio* (Jordan & Gilbert, 1882), pertenece a la familia Carcharhinidae, es considerado como una especie de talla pequeña que habita aguas costeras del Océano Pacífico Oriental y se distribuye desde el sur de California hasta Perú, incluyendo el Golfo de California, Isla Malpelo e Isla Cocos (Compagno 1984, Robertson y Allen, 2002; Fig. 1).

La longitud total (LT) máxima reportada de esta especie de tiburón en México es de 170 cm (Alatorre-Ramírez *et al*., 2013), su morfología se caracteriza por poseer un hocico largo puntiagudo con apariencia semi-traslucida vista desde abajo, la posición del origen de su segunda aleta

dorsal está colocada por detrás del origen de la aleta anal (Compagno *et al*., 2005). Así mismo presenta surcos labiales largos en las esquinas de la boca, hendiduras nasales oblicuas, con una coloración corporal en el dorso y costados gris o gris café y el vientre blanco, y su mandíbula se compone de dientes cúspides oblicuos con bordes ligeramente aserrados (Castro, 1983; Compagno, 1984; Compagno *et al*., 2005).

Existen registros que afirman que el tiburón bironche realiza migraciones verticales a través de la columna de agua y migraciones reproductivas estacionales durante el periodo frio del año (Corro-Espinoza, 2011); además se afirma que frecuentan zonas de fondo fangoso, alimentándose principalmente de especies de hábitos demersales y epipelágicos (Márquez-Farías *et al*., 2005; Alderete-Macal, 2007; Muratalla-Torres, 2008; Conde-Moreno, 2009; Alatorre-Ramírez *et al*., 2013; Trejo-Ramírez, 2017).

Figura 1. Ejemplar de tiburon bironche *Rhizoprionodon longurio* (fotografía tomada por el autor).

1.3 Importancia pesquera

Rhizoprionodon longurio se registró como una de las especies más abundantes en la captura de Nayarit, representando el 45.46% (Torres-Herrera y Tovar-Ávila, 2014). En Sonora se pueden capturar junto con *Mustelus lunulatus, M. californicus y M. henlei* en cantidades de 1,200 a 1,500 tiburones por viaje de pesca (Márquez-Farías, 2001; Hueter *et al*., 2002). En Sinaloa se registró la captura de esta especie con 62% (Corro-

Espinoza *et al.,* 2015), y para el área de Mazatlán el 45% de la pesca artesanal total de tiburones (Castillo-Géniz, 1992).

El tiburón bironche se clasificó como la especie con mayor productividad comercial en las capturas por la pesquería artesanal en la entrada del GC durante varias décadas (Saucedo-Barrón, 1982; Pérez-Jiménez *et al*., 2005; Tovar-Ávila *et al.,* 2011). En el GC, *R. longurio, Mustelus henlei* (Gill, 1863) y *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834), representaron el 91% de las capturas de tiburones (Castillo-Géniz, 1992).

Por otra parte, en la costa occidental de Baja California Sur (B.C.S), *R. longurio* representa el 0.02% de la captura total de condrictios (Ramírez-Amaro *et al*., 2013).

2. ANTECEDENTES

2.1 Estudios realizados en la especie *Rhizoprionodon longurio*

Las especies que están agrupadas dentro del orden Carcharhiniformes son las principales para la pesquería de tiburón en México (Márquez-Farías, 2001). Dentro de este orden la familia Carcharhinidae es una de las más importantes (Compagno *et al*., 1995).

Existen pocos estudios en cuanto a la anatomía y estrategia reproductiva de *R. longurio*, sin embargo, se encuentran algunas publicaciones.

El tiburón bironche es una especie vivípara placentada. Márquez-Farías *et al*. (2005), mencionan que en las costas de Sinaloa tiene una gestación de 10 a 11 meses con una media de 7 crías por hembra. Por otra parte, en el GC y en la costa de Oaxaca, Mejía-Salazar (2007) describió la biología reproductiva sugiriendo un periodo de gestación con una duración de 11-12 meses y una temporada de nacimiento en los meses de mayo-agosto, siendo la Bahía La Paz (BLP) una posible área de expulsión de neonatos. Trejo-Ramírez (2017), considera a la parte sur de

la BLP como un área de crianza primaria y secundaria del tiburón bironche, en la que existe una proporción sexual 1H:1M sugiriendo que no hay segregación sexual para esta área en los primeros estadios de desarrollo.

Con respecto a la edad y talla e madurez sexual, Corro-Espinoza *et al.* (2011) mencionan que en la costa oriental del GC, la edad máxima de *R. longurio* es de 6.5 y 7.5 años para machos y hembras respectivamente, mientras que la edad y talla de madurez sexual establecida para esta especie es de 2.4 años con 100.5 cm de LT para machos y de 1.5 años con 92.4 cm LT para hembras. En Mazatlán, López-García (2006) determina que 5-6 años es la edad de la primera madurez sexual para hembras y en machos de 4-5 años.

3. JUSTIFICACIÓN

Los tiburones presentan una estrategia reproductiva tipo K, se caracterizan por un bajo potencial reproductivo, un número de crías reducido, periodos de gestación largos, crecimiento lento y un largo periodo para alcanzar la madurez sexual (Castro, 1993; Walker, 1992). Motivos por los cuales han sido vulnerables a la sobre-explotación, exhibiendo actualmente una alta tasa de reducción en sus poblaciones a causa de la pesca (Bonfil, 1994; Stevens *et al*., 2000)

La importancia de realizar estudios sobre la biología reproductiva radica en obtener información de la biología básica de los tiburones, que incluye la talla de madurez sexual, periodos de gestación, actividad reproductiva y fecundidad. Esta información se utiliza en modelos demográficos que permiten a las autoridades del sector pesquero contar con elementos técnicos necesarios para regular y administrar la pesca de forma responsable.

Baja California Sur es uno de los estados de México con mayor tradición en la pesquería de tiburón, presenta características que le permite tener una gran diversidad y abundancia de especies (Holden, 1974; Abitia-Cárdenas *et al.,* 1994; Balart *et al.,* 1995; Casas-Valdez y Ponce-Díaz, 1996; Bizzarro *et al.,* 2007; Castillo, 2009). Actualmente el tiburón bironche *R. longurio* es una especie de importancia en la pesca artesanal, en el centro y sur del GC (Bizzarro *et al*., 2000; Corro-Espinoza y Hernández-Carvallo, 2002) y está catalogado en la Lista Roja IUCN como una especie "vulnerable" (Pollom, *et al*., 2021).

Los estudios de reproducción junto con los de hábitos alimentarios, uso de hábitat, edad y crecimiento, favorecerán las bases para la implementación de un desarrollo de conservación y manejo de la especie.

4. OBJETIVO

4.1 General

- ✓ Caracterizar la biología reproductiva de *Rhizoprionodon longurio* en el área de Santa Rosalía, Baja California Sur, México.

4.2 Particulares

- ✓ Conocer la composición de tallas y la proporción sexual en la población muestreada durante el periodo de estudio.
- ✓ Describir la anatomía macroscópica del aparato reproductor de hembras y machos.
- ✓ Calcular el índice gonadosomático para ambos sexos.
- ✓ Conocer la fecundidad uterina y proporción sexual embrionaria
- ✓ Estimar la talla media de madurez sexual (L_{50}) de cada sexo y la talla de maternidad (Lm_{50}).
- ✓ Describir el crecimiento embrionario
- ✓ Estimar el ciclo reproductivo

5. ÁREA DE ESTUDIO

El área de muestreo fue cercano a la localidad de Santa Rosalía, perteneciente al municipio de Mulegé, ubicada entre las coordenadas 27° 20' latitud Norte y 112° 16' longitud Oeste **(Fig. 2).**

Santa Rosalía es un puerto minero y pesquero localizado en la parte central de la costa este de la península de Baja California (Rodríguez-Figueroa, 2004), a lo largo de la historia fueron descubiertos depósitos de cobre, los cuales fueron explotados por mineros alemanes, franceses y mexicanos (Romero-Gil, 1991, Mendoza-Arroyo, 2003, Arce-Peinado, 2019).

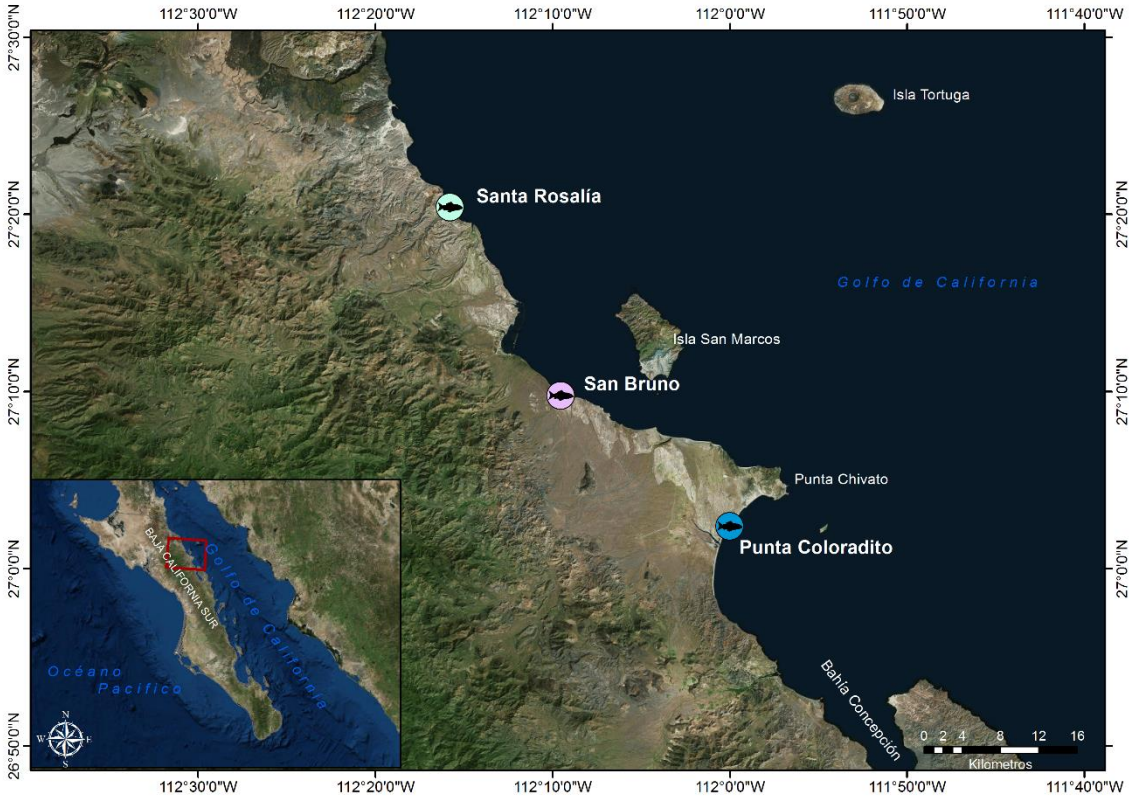


Figura 2. Área de estudio cercano a Santa Rosalía, Baja California Sur, México (27° 20' N y 112° 16' W). Los campos pesqueros están ubicados en Santa Rosalía, San Bruno y Punta Coloradito.

La zona de estudio se encuentra en la región central del Golfo de California (Méndez-Tenorio, 2001). Esta zona presenta un clima árido,

donde se registra una temperatura media de 23.4°C y 117.2 mm de precipitación media anual, con temporada de lluvia durante el verano (Salinas-Zavala *et al.,* 1992).

La temperatura superficial del mar presenta un comportamiento estacional, con temperaturas mínimas de 16-17° C (febrero a marzo) y máximas de 31° C (agosto) (Trasviña-Carrillo, 2012), y una salinidad de 35-35.8 ppm (Álvarez-Borrego, 1983). La mezcla por mareas en el norte del GDC y la corriente del Golfo de California hace de este una de las regiones más productivas en todo el mundo y es tan notable que esta región sostiene un gran número de mamíferos marinos, aves marinas y peces (Brusca *et al.,* 2005).

6. MATERIAL Y MÉTODO

6.1 Trabajo de campo

La información biológica utilizada para este estudio se obtuvo los años 2018 y 2019, con excepción de los meses que cubren la temporada de veda (del 1 de mayo hasta el 30 de julio).

Los ejemplares del cazón bironche fueron colectados mediante la pesca artesanal, que se realiza en el área de Santa Rosalía, B.C.S., dicha actividad cuenta con los permisos necesarios y actualizados para su realización. Para la captura de *R. longurio* e incluidos otros elasmobranquios los pescadores de la flota artesanal utilizan una red de pesca de 1.5 km de largo y 2 metros de ancho la cual es colocada a una profundidad de 25 brazas (50 metros). Se colocan las redes en los campos pesqueros de San Bruno y Coloradito **(Fig. 2)** operando durante toda una noche y posteriormente la recogen al día siguiente.

Una vez obtenidos los organismos, se realizó la identificación de la especie por sus caracteres morfológicos externos y con ayuda de claves

dicotómicas. Posteriormente, se procedió a tomar el registro de la longitud total (LT) de cada uno de los ejemplares midiendo desde la punta del morro hasta el lóbulo superior de la aleta caudal (Compagno, 1984). Se identificó y registró el sexo, diferenciando machos de las hembras por presentar gonopterigios (órganos copuladores) en las aletas pélvicas (Álvarez del Villar, 1978), así mismo se registró la longitud de los órganos copuladores, midiendo desde la inserción de la cloaca hasta la punta distal.

La madurez sexual de los machos se determinó con base en las características externas como la longitud del gonopterigio, grado de calcificación con valores de 0= sin calcificación 1= semi-calcificado y 2= calcificado, rotación, apertura del rifiodón localizado en la punta distal del gonopterigio y presencia del semen (Olsen, 1954; Springer, 1960).

En las hembras la madurez sexual se estimó mediante la observación directa de la presencia de ovocitos vitelogénicos y embriones **(Fig. 3)**.

Para obtener los órganos reproductores de ambos sexos se realizó una incisión desde la cloaca hasta el centro de las aletas pectorales. Una vez extraídos los órganos se fijaron en formol al 10%, después de 24 horas se hizo un recambio de formol para lograr una fijación adecuada, finalmente se etiquetaron y fueron transportados al laboratorio para su posterior análisis.

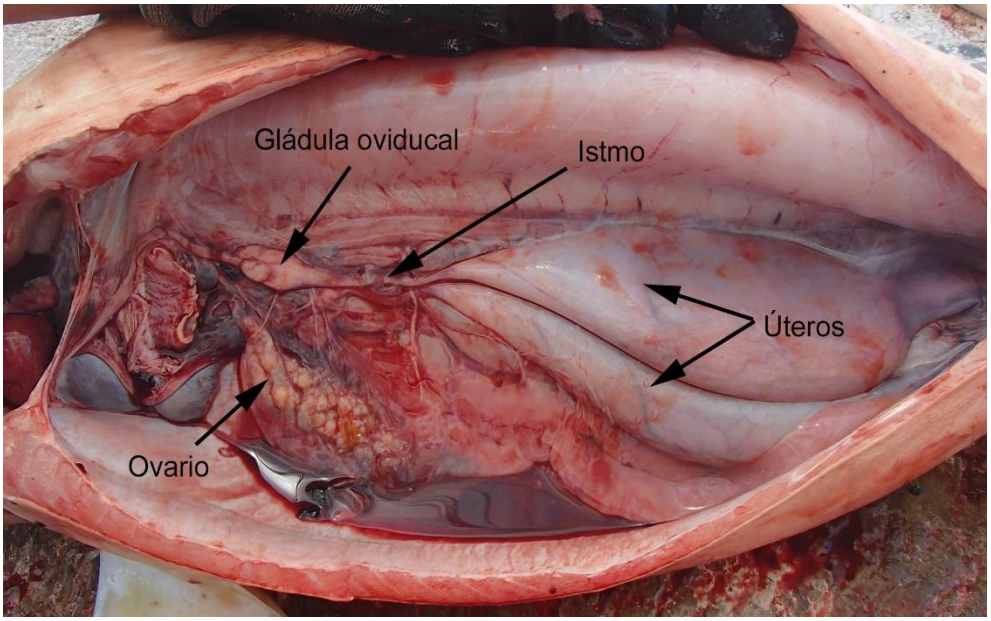


Figura 3. Ejemplar de una hembra *R. longurio* al ser extraído el órgano reproductor en campo (fotografía tomada por el autor).

6.2 Trabajo de laboratorio

Limpieza de órganos reproductores

En el Laboratorio de Ecología de Peces del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) se procesaron las muestras de los sistemas reproductores de los tiburones y se sometieron a una serie de pasos para eliminar arena y exceso de formol. Para ello, se lavaron con agua corriente de 12 a 24 horas. Después fueron sumergidos en sus respectivos recipientes con alcohol al 70% para su conservación.

Determinación del estadio de madurez

Para la determinación del estadio de madurez, se realizó la descripción morfológica de los aparatos reproductores de ambos sexos, tomando en cuenta el tamaño, la coloración y aspecto. Con un vernier se tomaron las medidas de los órganos. En las hembras se midió el diámetro de los ovocitos más grandes, se registró el peso del ovario, se tomaron las medidas del ancho y el largo de las glándulas oviducales, así

como el ancho y largo de los úteros. En el caso de las hembras grávidas se registró el total de los embriones, sexo, peso y la LT de cada embrión. En los machos se midió el ancho y el largo del testículo y se pesó en la báscula.

Fecundidad uterina

Los úteros de cada hembra grávida fueron cortados longitudinalmente para examinarlos internamente. Posteriormente, para conocer la fecundidad uterina se contó el número de embriones o huevos fecundados presentes en cada útero (Pratt, 1979).

Crecimiento embrionario

Para la caracterización del crecimiento embrionario durante la gestación se tomaron las medidas de longitud total (LT) y peso (gr) de los embriones y se describieron las características morfológicas como el tamaño, forma y coloración.

Ciclo reproductivo

Se estimó con base en la variación mensual del diámetro de los ovocitos y la LT de los embriones a lo largo del año.

6.3 Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos y gráficos se realizaron con el programa estadístico *RStudio* (R Development Core Team, 2019) versión 1.2.5019.

Composición de tallas de machos y hembras

Se agruparon los datos en tablas de frecuencias generando histogramas de tallas. Se realizó una prueba "t" de Student para determinar si existían diferencias significativas entre las tallas de las hembras con respecto a la de los machos.

Proporción sexual de machos y hembras

La proporción sexual se obtuvo mediante el conteo total de individuos de cada sexo, analizándose con la prueba estadística de X^2 bajo la hipótesis nula de que existe una proporción 1H:1M (Daniel, 2002).

Talla de madurez sexual y maternidad

La talla media de madurez sexual (L_{50}) y la talla de maternidad (L_{m50}), se estimaron mediante la siguiente ecuación logística binomial (Mollet *et al*, 2000; Walker, 2005).

$$Pm = 1/\left[1 + e^{-(a+bXLT)}\right]$$

Donde

a y b: son parámetros

Pm: es la proporción sexual de individuos maduros de la muestra, variable binomial donde 0= individuos inmaduros, 1=individuos maduros, 0= hembras no preñadas, 1= hembras preñadas.

Índice Gonadosomático (IGS)

Para evaluar la condición reproductiva se calculó el (IGS) según el criterio de Holden y Raitt (1975), el cual se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$IGS = (PG/PC) \times 100$

Donde

PG: peso de la gónada (g)

PC: peso del cuerpo (g)

7. RESULTADOS

7.1 Composición de tallas y proporción de sexos

Se obtuvo un total de 201 individuos de los cuales 55 fueron machos con un intervalo de tallas de 62 y 114 cm de LT y 146 hembras con tallas entre los 66 y 127 cm de LT, siendo significativamente más grandes que los machos (t = 4.6609, p<0.05) **(Fig. 4).** La proporción de sexos fue de 2.65H:1M, mostrando diferencias significativas entre el número de individuos (x^2 = 22.354, p < 0.05).

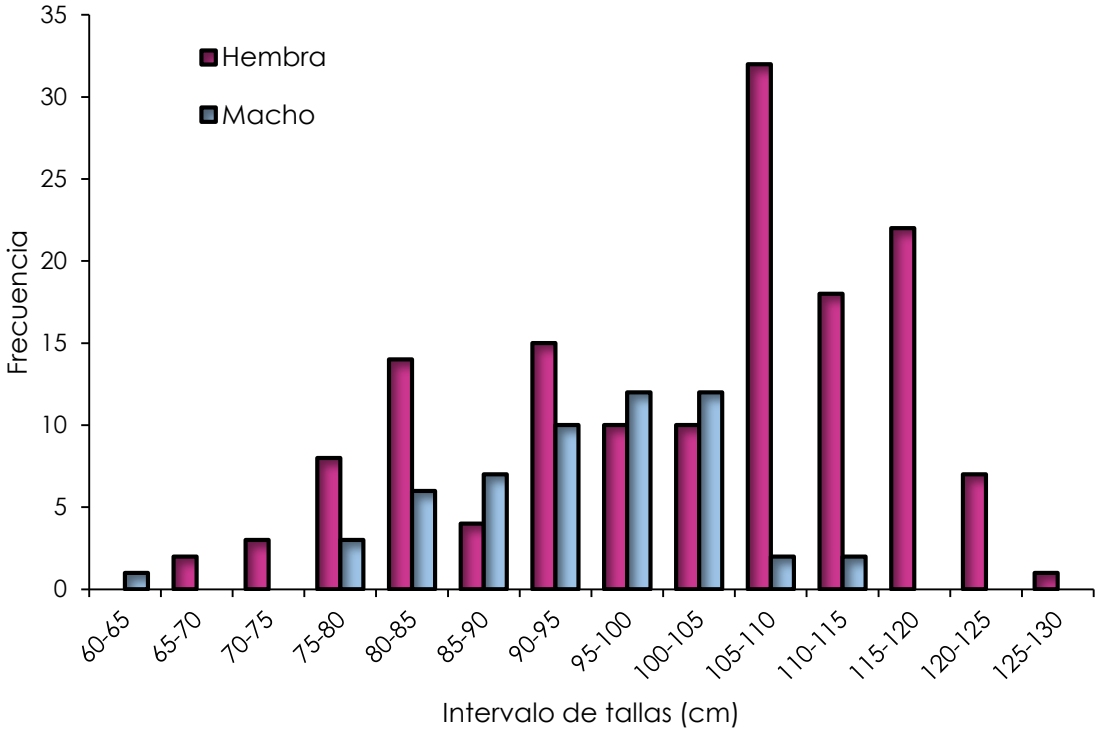


Figura 4. Composición de tallas por sexo del tiburón *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

7.2 Descripción macroscópica del aparato reproductor de las hembras

El aparato reproductor de las hembras de *R. longurio* está compuesto por dos ovarios externos, siendo el izquierdo el funcional, posicionado en la porción anterior de la cavidad abdominal unido a la

superficie del órgano epigonal. Este presenta una entrada llamada ostium que se divide en dos oviductos los cuales llegan a las glándulas oviducales, seguido del istmo que continua hasta llegar a los úteros, posteriormente se ubica el seno urogenital y finalmente la cloaca.

Se establecieron tres estadios de madurez: inmaduras, maduras y grávidas. De las 146 hembras, 35 se clasificaron como inmaduras con un intervalo de tallas entre los 66 a 96 cm de LT, 33 maduras con tallas entre 85 y 120 cm de LT y 71 grávidas oscilando entre los 97 a 127 cm de LT. **(Fig. 5)**.

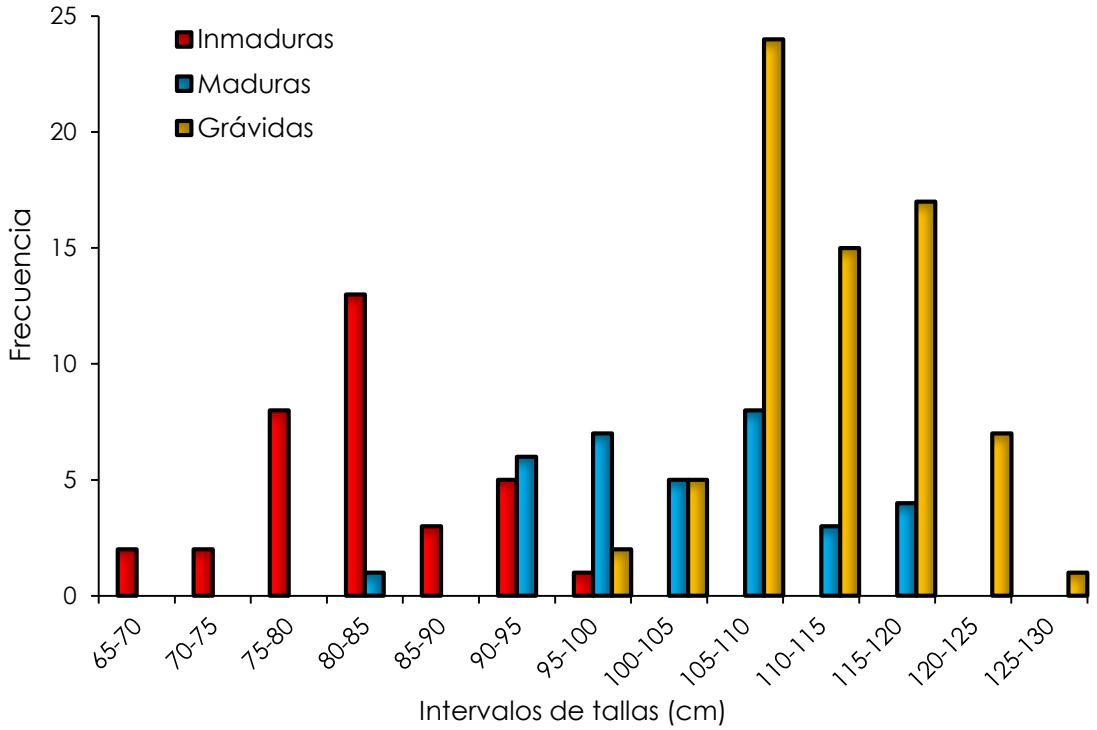


Figura 5. Estadios de madurez de hembras por intervalo de tallas de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

El resultado de la regresión lineal mostró una asociación significativa entre la LT y el ancho de la glándula oviducal **(Fig. 6)**, se observó el aumento del ancho de la glándula oviducal conforme a la LT de la hembra y a su vez al estadio de madurez sexual de los organismos. Para el caso de las hembras maduras y grávidas no se observó un cambio significativo, esto

quiere decir que el ancho de la glándula oviducal se mantiene en ese límite. Por otra parte, existe una relación exponencial significativa entre la LT de la hembra y el largo de la glándula oviducal, en la exponente se observa el cambio morfológico en las hembras grávidas **(Fig. 7)**.

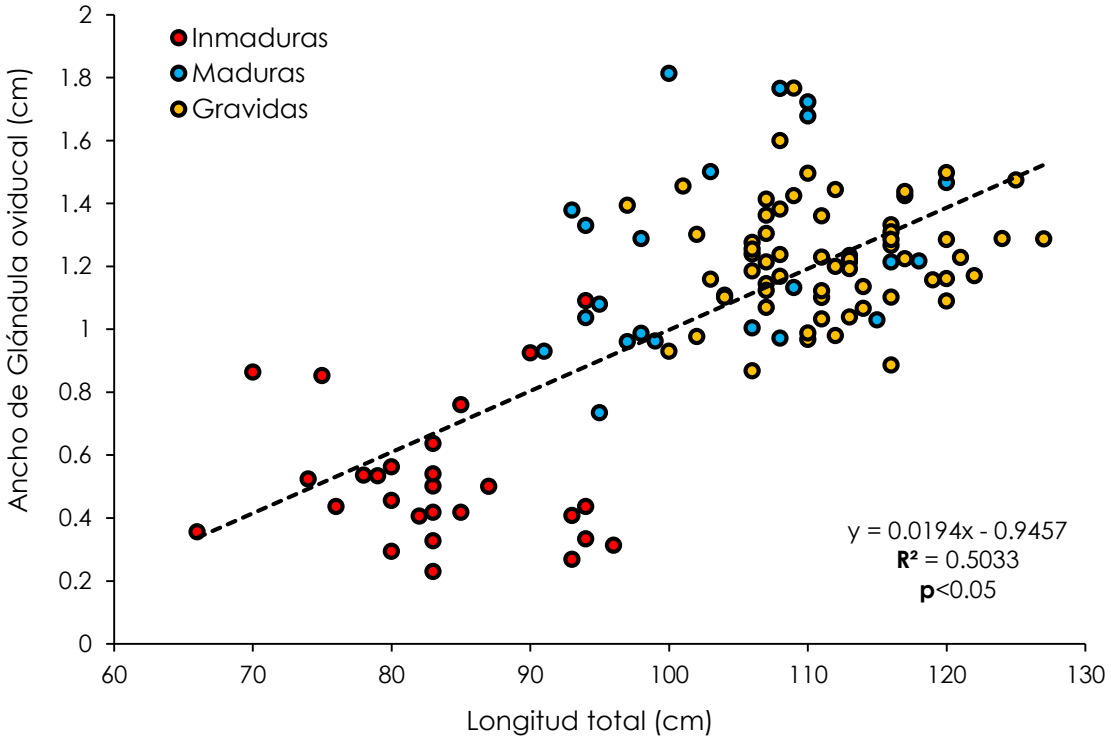


Figura 6. Regresión lineal entre el ancho de la glándula oviducal y la longitud total de las hembras de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

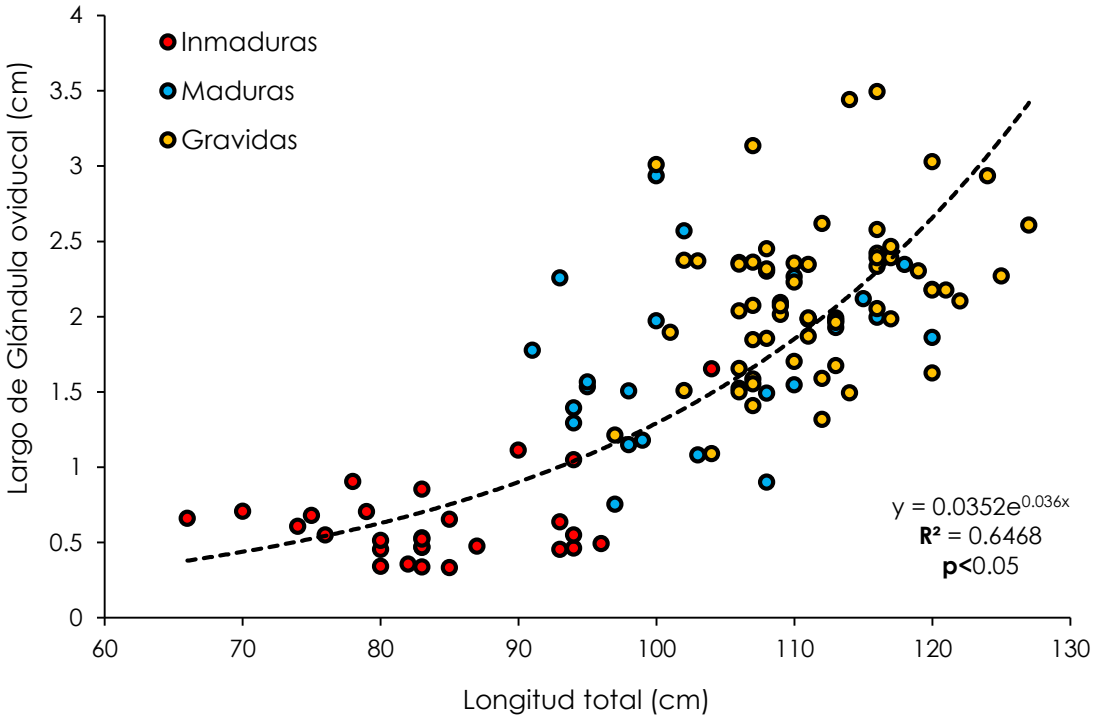


Figura 7. Regresión exponencial entre el largo de la glándula oviducal y la longitud total de las hembras de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

De la misma manera se obtuvo como resultado una relación exponencial significativa entre la LT de la hembra y el ancho del útero **(Fig. 8)**, se observó un evidente cambio principalmente en las hembras grávidas, debido a la presencia de embriones.

Por otro lado, se registró una regresión lineal con coeficiente bajo por lo que no hay dependencia entre la LT y el largo del útero **(Fig. 9).**

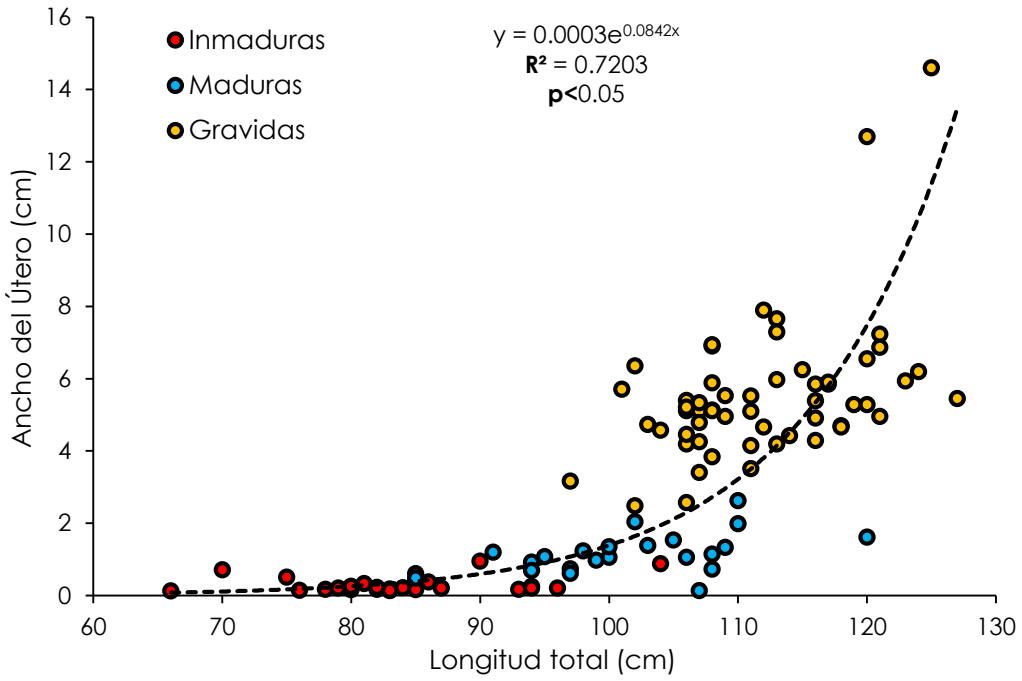


Figura 8. Regresión exponencial entre el largo del útero y la longitud total de las hembras de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

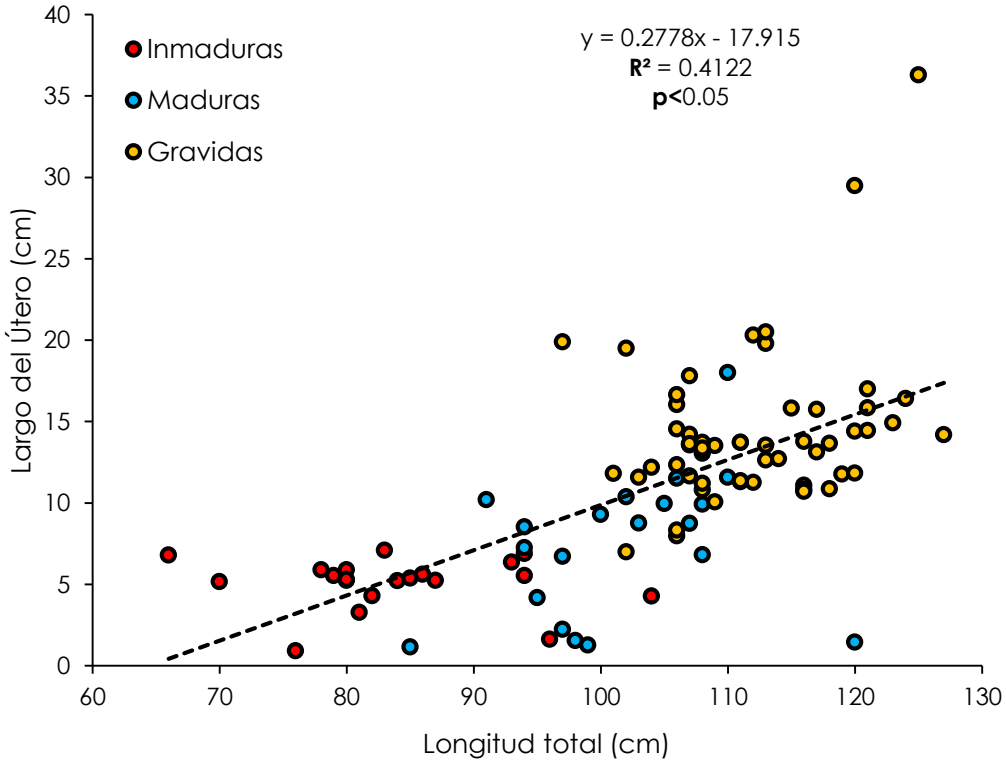


Figura 9. Regresión lineal entre el largo del útero y la longitud total de las hembras de *R. longurio* en Santa Rosalía B.C.S.

7.3 Estadios de madurez

7.3.1 Inmadura

Las hembras durante este estadio presentaron un ovario funcional posicionado del lado izquierdo, de tamaño pequeño aplanado y cubierto por parte del órgano epigonal. En el ovario, se encontraron los ovocitos con coloraciones blanquecinas y poco perceptibles entre 0.01 cm a 0.47 cm de diámetro, el istmo es delgado y con una consistencia flácida, mientras que las glándulas oviducales se caracterizaron por tener una forma ligeramente ovalada o acorazonada con un ancho de 0.2 a 1.6 cm. Los úteros estrechos y de forma tubular fueron de los 0.13 cm a los 0.88 cm de ancho, en general las estructuras presentaron coloraciones entre blanco y amarillo (**Fig. 10**).

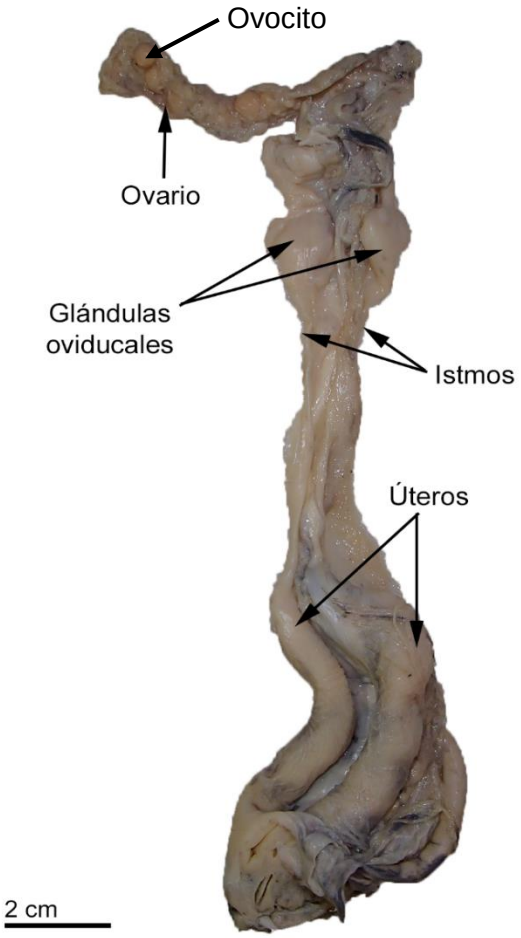


Figura 10. Anatomía del aparato reproductor de una hembra inmadura de *R. longurio* (fotografía tomada por el autor).

7.3.2 Madura

Las hembras que se clasificaron como maduras presentaron un cambio evidente en las estructuras del aparato reproductor. El ovario presentó una coloración amarillenta, los ovocitos vitelogénicos fueron de diversos tamaños y coloración, lo que indica que presentan diferentes grados de desarrollo, con un diámetro de 0.04 a 1.5 cm. El istmo aumentó ligeramente de grosor, las glándulas oviducales estaban más desarrolladas y definidas con una forma acorazonada y un ancho de 0.7 a 2.3 cm. Los úteros presentaron una tonalidad más clara con medidas de 0.1 a 5.8 cm de ancho (**Fig. 11**).

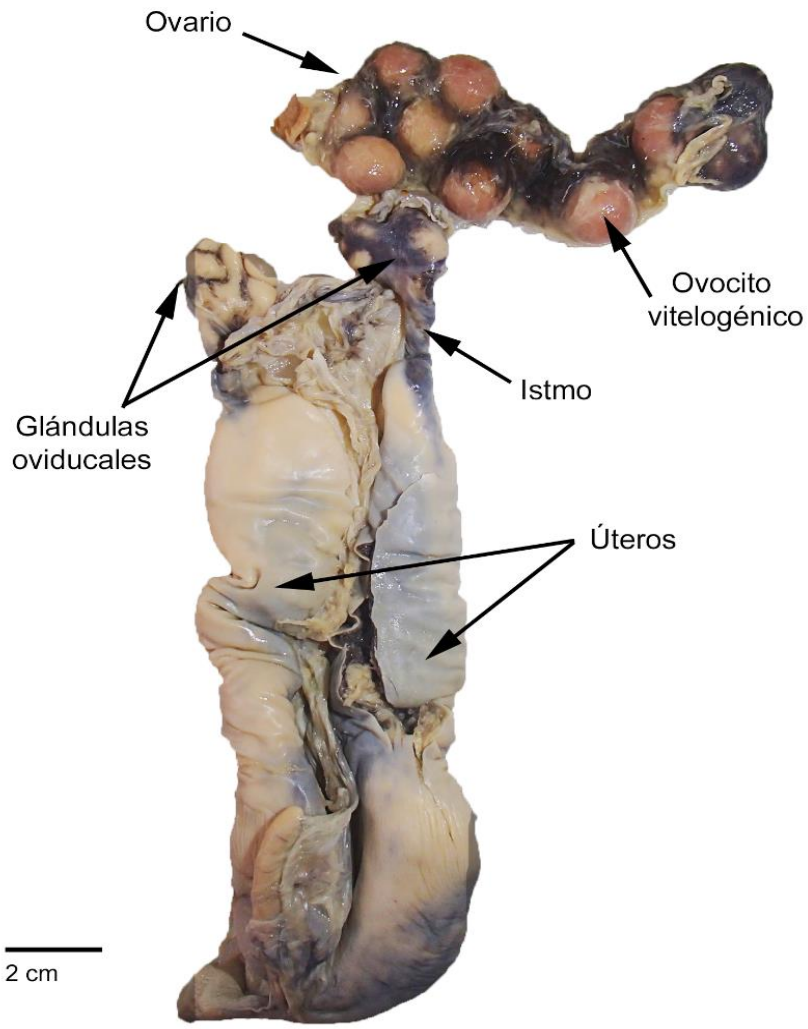


Figura 11. Anatomía del aparato reproductor de una hembra madura de *R. longurio* (fotografía tomada por el autor).

7.3.3 Grávida

La primera característica de las hembras grávidas fue la presencia de embriones dentro de los úteros, el ovario y los ovocitos presentaron una coloración más rosada y un mayor tamaño que oscila entre los 0.83 cm a los 3.89 cm de diámetro, la glándula oviducal conservó la morfología del estadio maduro **(Fig. 12 y 13)**.

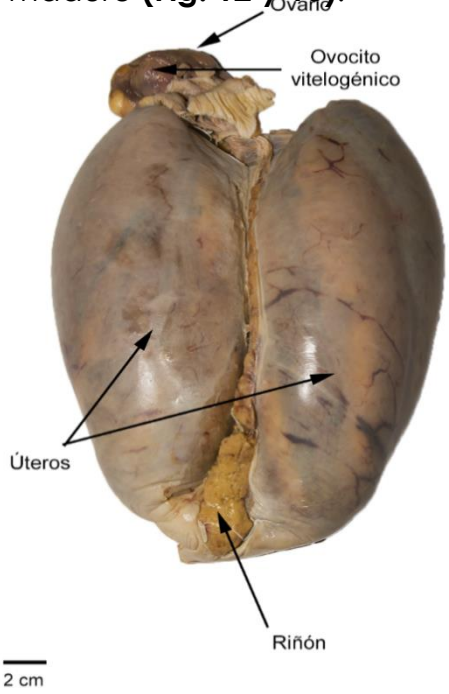


Figura 12. Anatomía del aparato reproductor de una hembra grávida de *R. longurio* (fotografía tomada por el autor).

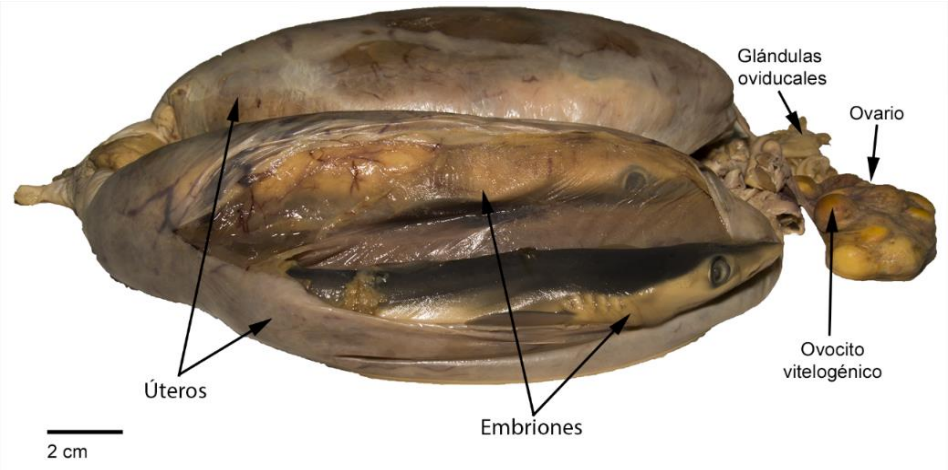


Figura 13. Anatomía del aparato reproductor de una hembra grávida y presencia de embriones de *R. longurio* (fotografía tomada por el autor).

Los embriones estaban acomodados dentro del útero paralelamente a la espina dorsal con la cabeza orientada al cráneo de la madre, el cuerpo presentó una forma de "u" con la finalidad de maximizar el espacio dentro del órgano. Cada embrión estaba protegido y separado por una delicada membrana terciaria que a su vez estaban conectados a la madre por medio de una placenta y el cordón umbilical con vellosidades (appendiculae), característico de esta especie **(Fig. 14 y 15)**. Cabe resaltar que solo 7 de las 71 hembras portaron capsulas uterinas.

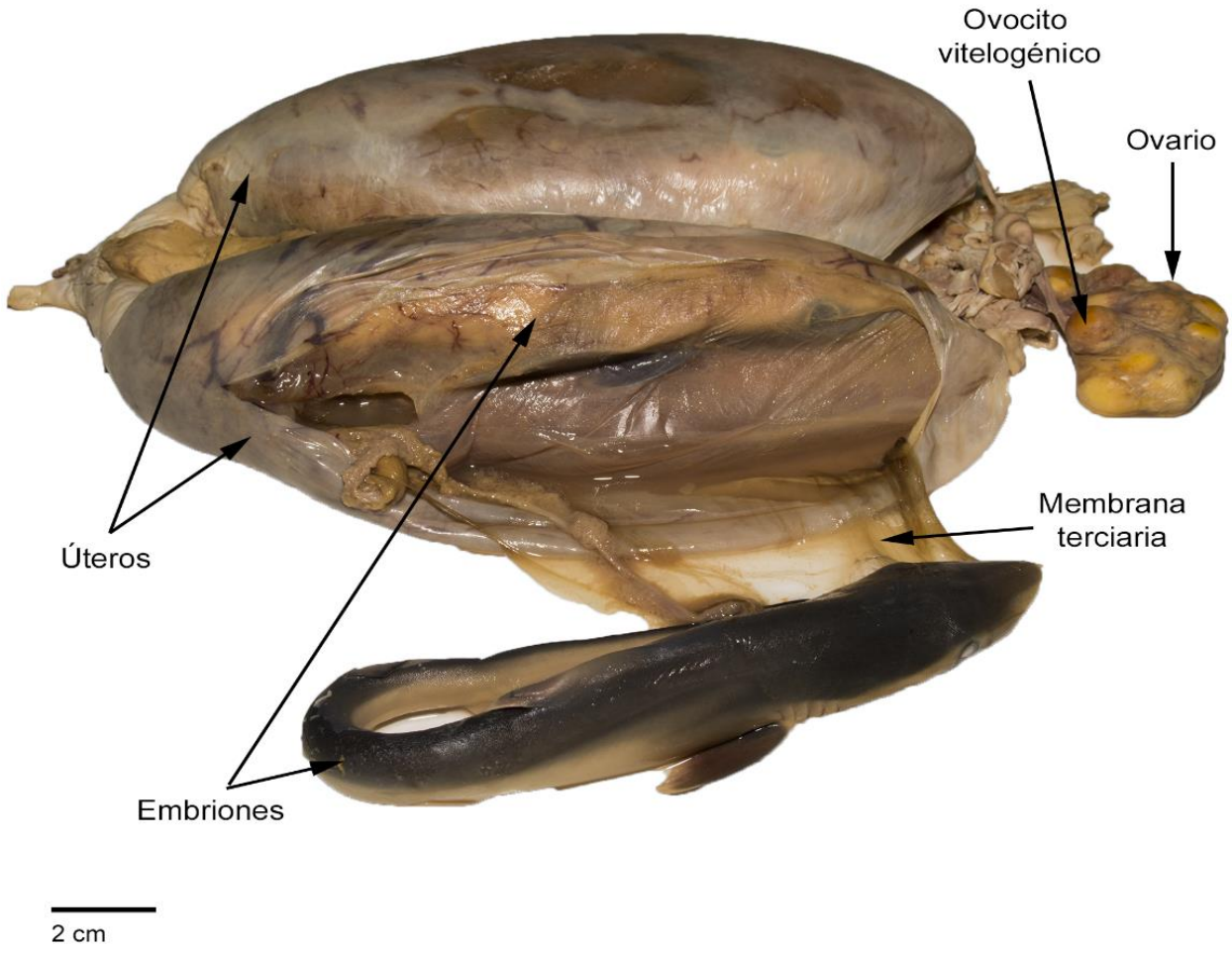


Figura 14. Anatomía del aparato reproductor de una hembra grávida y presencia de embriones de *R. longurio* (fotografía tomada por el autor).

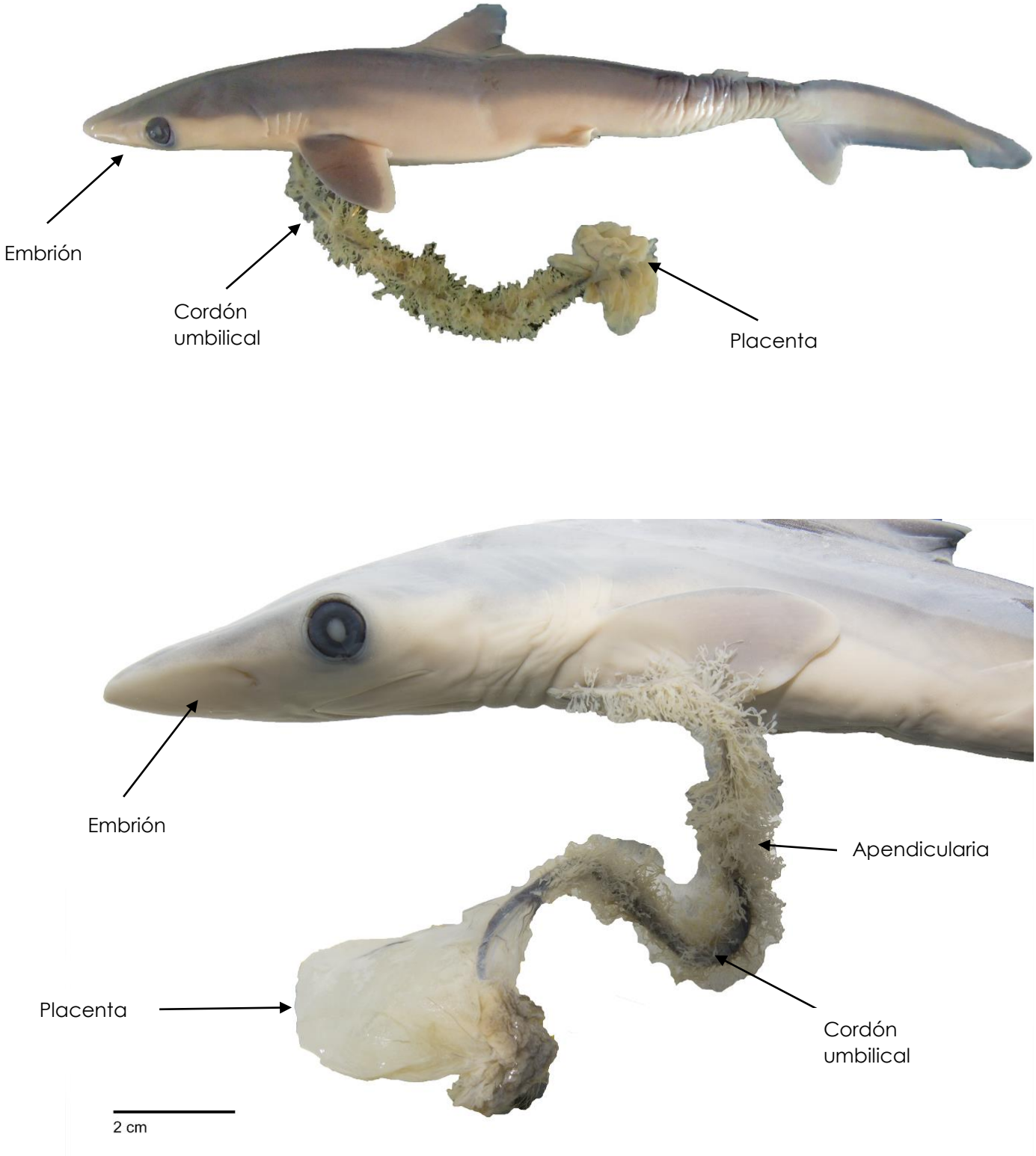


Figura 15. Embrión del tiburón *Rhizoprionodon longurio* (fotografía tomada por el autor).

7.4 Descripción macroscópica del aparato reproductor de los machos

El aparato reproductor de los machos de *R. longurio* está conformado por un par de gonopterigios externos a la altura de las aletas pélvicas. Internamente se compone por dos testículos ubicados en la pared dorsal del cuerpo, rodeados por la porción anterior del órgano epigonal, los ductos deferentes, el epidídimo y la vesícula seminal junto con el riñón.

Se establecieron dos estadios de madurez: inmaduros y maduros. De los 55 machos, 18 fueron inmaduros con intervalo de tallas entre los 62 a 103 cm de LT y 34 se clasificaron como maduros presentando intervalos entre 89 a 114 cm de LT **(Fig. 16)**.

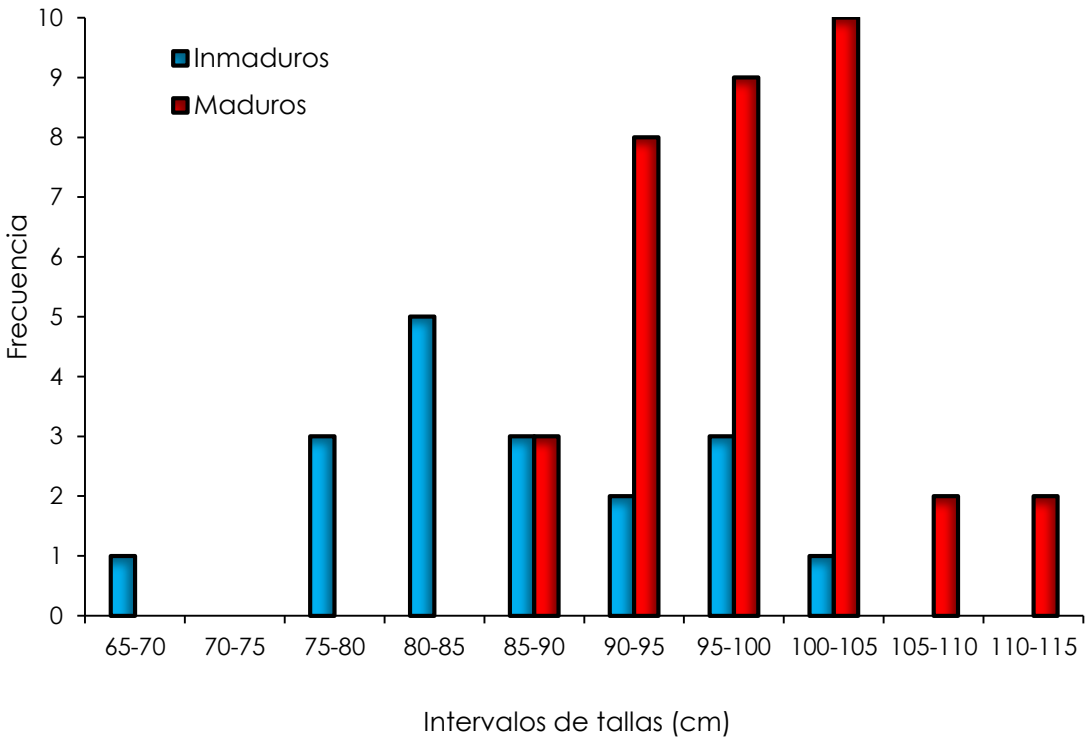


Figura 16. Estadios de madurez de machos por intervalo de tallas de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

El resultado de la regresión lineal mostró una dependencia entre la LT y el largo del gonopterigio **(Fig. 17)**, lo que sugiere que presenta un crecimiento gradual y que podrían ser indicadores apropiados para determinar la madurez sexual de los individuos.

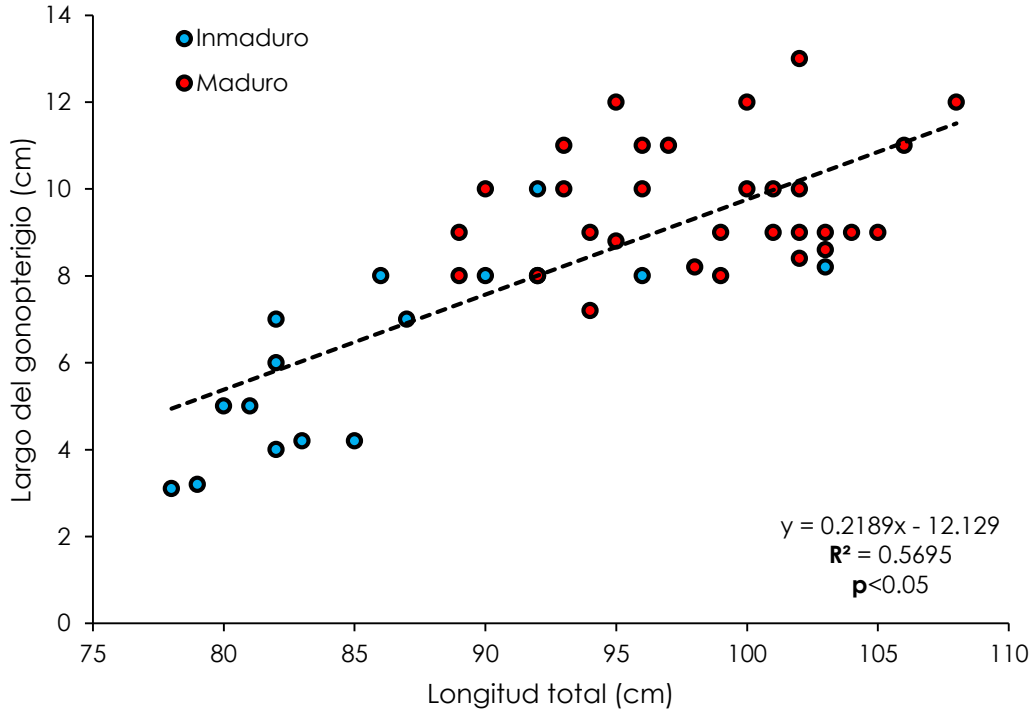


Figura 17. Regresión lineal entre el largo del gonopterigio y la longitud total de los machos de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

Las regresiones lineales del ancho y largo del testículo con respecto a la LT mostraron una relación positiva no significativa, lo que indica que no existe una dependencia entre ambas medidas **(Fig. 18 y 19).**

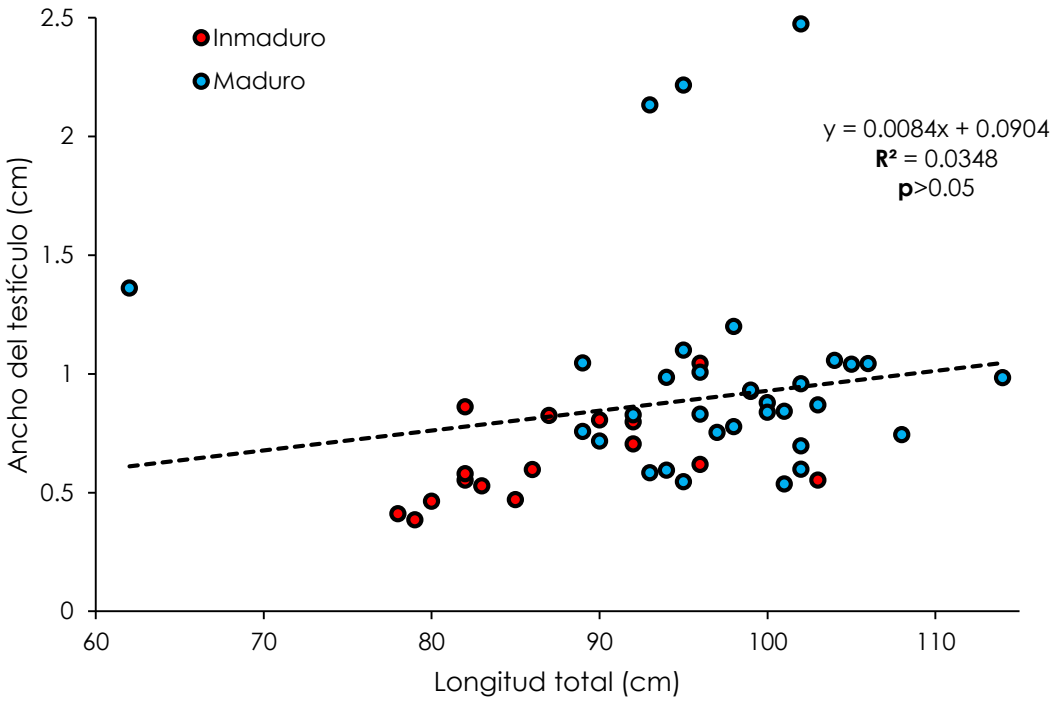


Figura 18. Regresión lineal entre el ancho del testículo y la longitud total de los machos de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

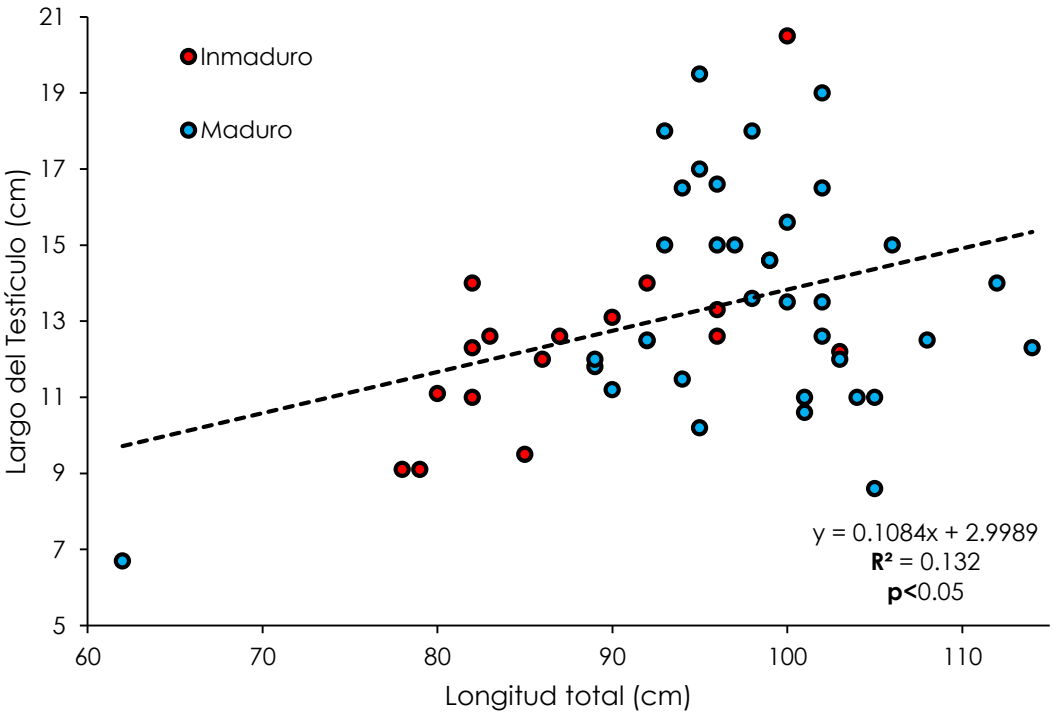


Figura 19. Regresión lineal entre el largo del testículo y la longitud total de los machos de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

Se obtuvo una gráfica del crecimiento del ancho del testículo por mes, donde se observa que durante el mes de abril el testículo de los machos tiene las características morfológicas listas para la temporada reproductiva justo antes de la veda (fase activa). En el mes de agosto el ancho del testículo sugiere una transición de la fase activa a la fase inactiva ya que existe una evidente disminución en el tamaño del testículo. Finalmente, después de la veda durante los meses de octubre y noviembre los machos se encuentran en una fase inactiva **(Fig. 20).**

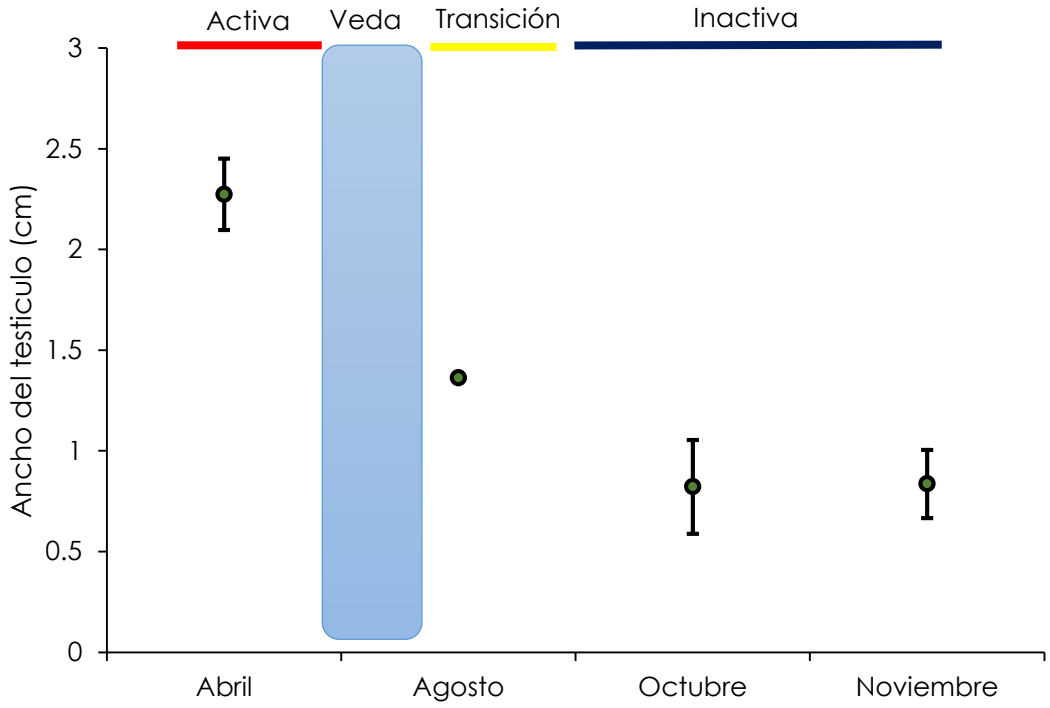


Figura 20. Ancho del testículo de los machos de *R. longurio* por mes en Santa Rosalía, B.C.S.

7.5 Estadios de madurez

7.5.1 Inmaduro

Los machos inmaduros presentaron los gonopterigios cortos con una longitud de 3 a 10 cm, sin rotación de 180°, de consistencia blanda y sin calcificación. Los testículos fueron largos y angostos, mideron entre los 6.6 y 15 cm de largo mientras que de ancho presentaron medidas entre los 0.3 y 1.0 cm. Todas las estructuras mostraron un color amarillo lechoso y con poca vascularización **(Fig. 21).**

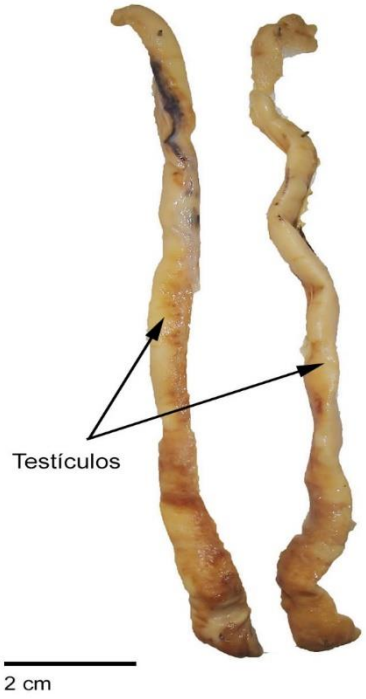


Figura 21. Anatomía del aparato reproductor de un macho inmaduro de *R. longurio* (fotografía tomada por el autor).

7.5.2 Maduro

Los machos maduros mostraron los gonopterigios totalmente calcificados y rígidos, con una rotación de 180° y con presencia de semen con una longitud de 7 a 13 cm. Los testículos aumentaron de tamaño con una longitud de 6 a 20 cm y de ancho entre los 0.5 a 3 cm.

Observando un cambio muy notorio en la coloración y en la vascularización **(Fig. 22).**

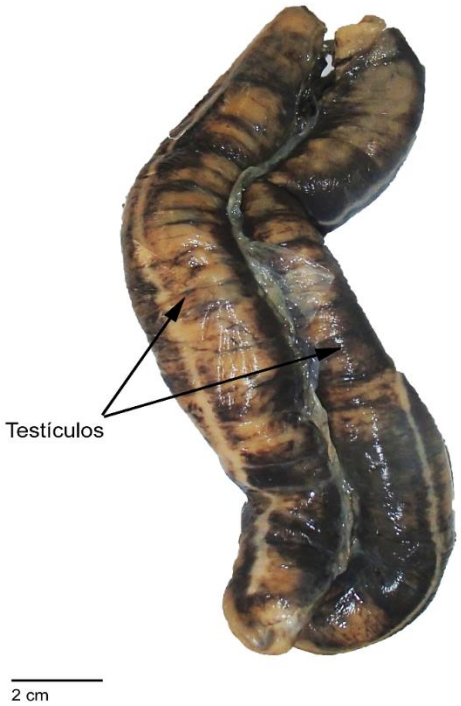


Figura 22. Anatomía del aparato reproductor de un macho maduro de *R. longurio* (fotografía tomada por el autor).

7.6 Composición de tallas y proporción de sexos de embriones

Se registraron un total de 469 embriones, 227 hembras con un intervalo de tallas de 4.2 a 34 cm de LT y 242 machos oscilando las tallas entre 4.6 a 33.5 cm de LT. La proporción sexual embrionaria fue de 0.93H:1M, por lo que no fue significativamente diferente a la proporción 1:1 ($x^2 = 0.47974$, $p>0.05$) **(Fig. 23).**

Los embriones presentaron un crecimiento alométrico, sugiriendo aumentan más rápido en talla que en peso **(Fig. 24).**

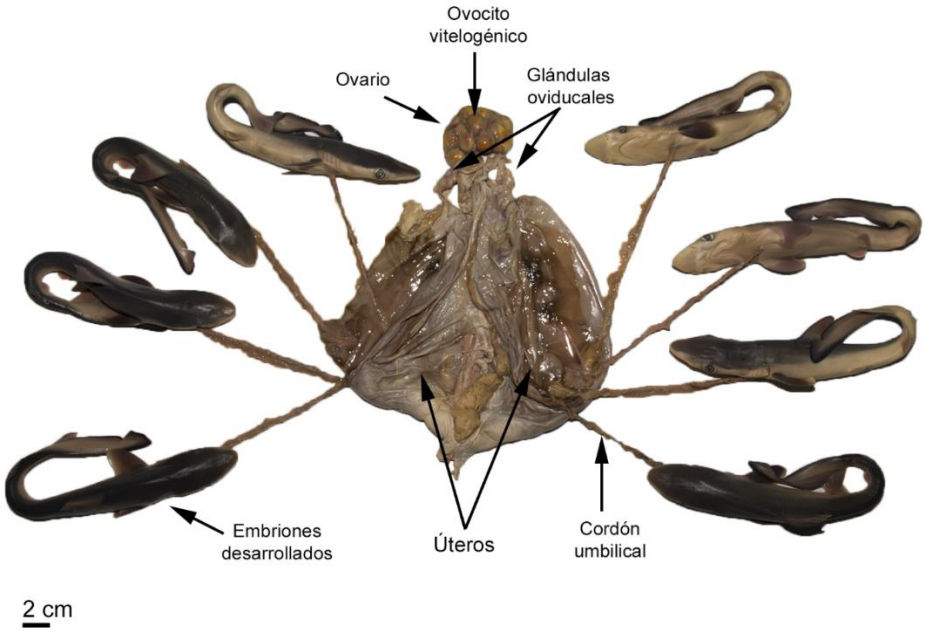


Figura 23. Útero de una hembra grávida de *R. longurio,* con embriones desarrollados (fotografía tomada por el autor).

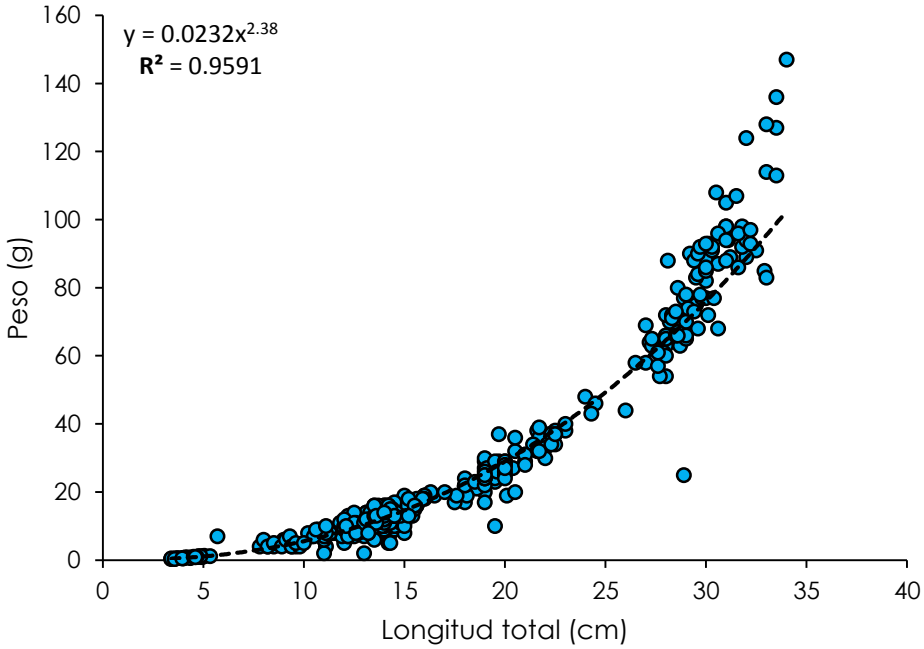


Figura 24. Tipo de crecimiento alométrico presente en los embriones de *R. longurio.*

7.7 Crecimiento embrionario

Se establecieron siete etapas de desarrollo. Todos los embriones se encontraron recubiertos por la membrana terciaria, la cual fue retirada para una mejor descripción.

Etapa 1

Esta etapa está caracterizada por huevos uterinos con un diametro de 2 a 5 cm, presenta una gran cantidad de vitelo de color amarillo, el cual está recubierto totalmente por la membrana terciaria embrionaria. Este huevo uterino será el saco vitelino del que dependerá el embrión durante las primeras etapas de desarrollo **(Fig. 25).**

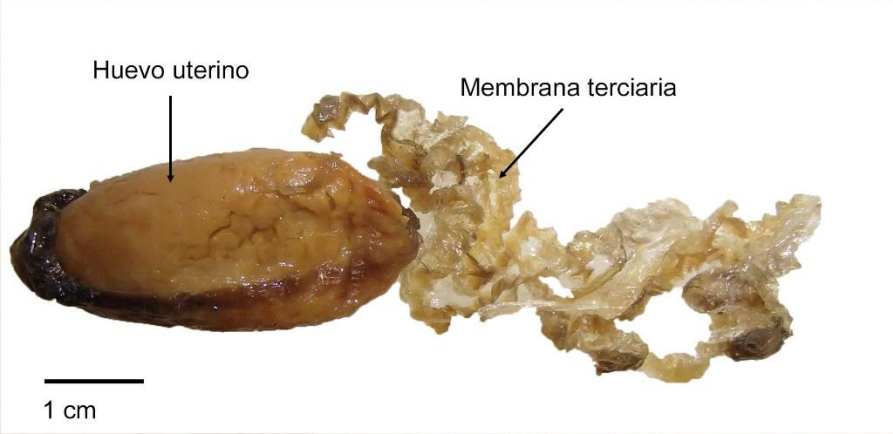


Figura 25. Etapa 1 del crecimiento embrionario de *R. longurio* (fotografía tomada por el autor).

Etapa 2

En esta etapa se consideraron embriones de 3 a 5 cm de LT, se encuentran unidos al saco vitelino mediante un cordón corto y delgado cubierto por apendicularia. El embrión, presenta como caracteristica más sobresaliente el ojo ademas es de forma semitubular con una coloración amarilla-blanca lechosa, presenta protuberancias en la cabeza y cuatro orificios laterales los cuales van a dar origen a las hendiduras branquiales, mismas que estan recubiertas por los filamentos

branquiales. El resto de las estructuras no se encuentran definidas **(Fig. 26).**

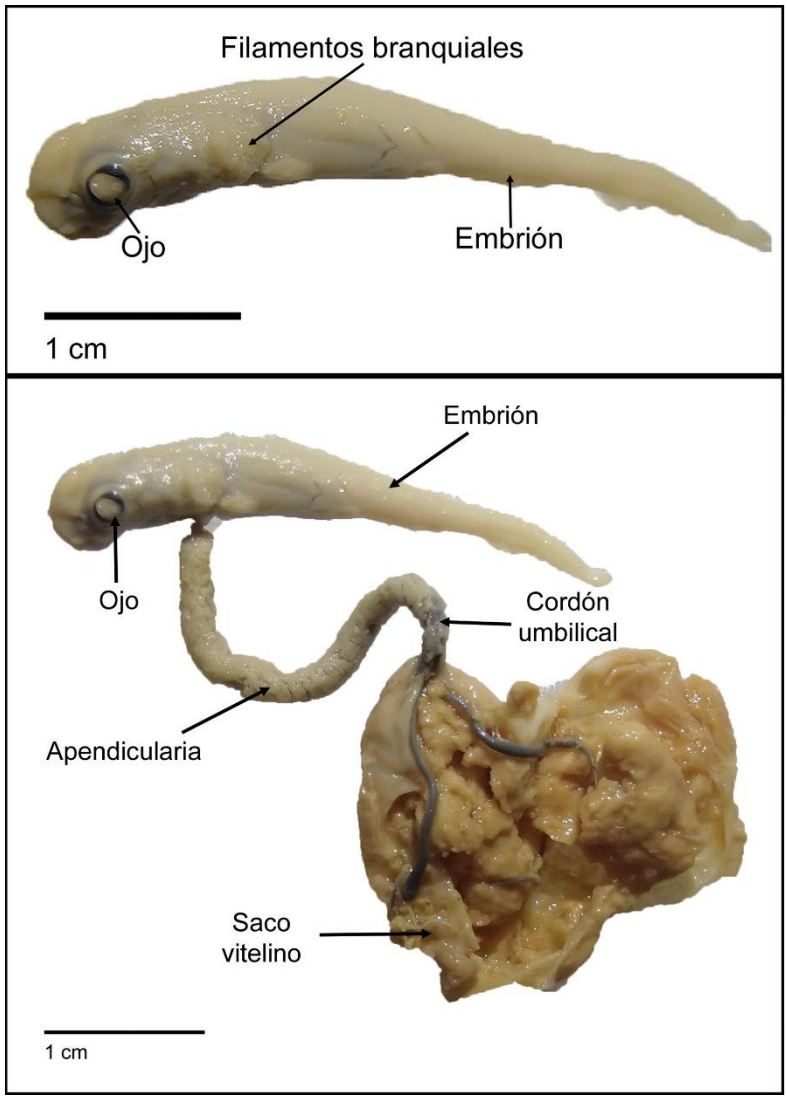


Figura 26. Etapa 2 del crecimiento embrionario de *R. longurio* (fotografía tomada por el autor).

Etapa 3

Los embriones en esta etapa tiene una LT de 4 a 6 cm, presentan la misma coloración blanca-amarilla, la boca se encuentra definida, así como las aletas pectorales, pélvicas y caudal. Los filamentos branquiales son más largos y abundantes. El cordón vitelino continúa corto, robusto y recubierto por apendicularia. Se puede identificar la presencia o ausencia de los gonopterigios **(Fig. 27).**

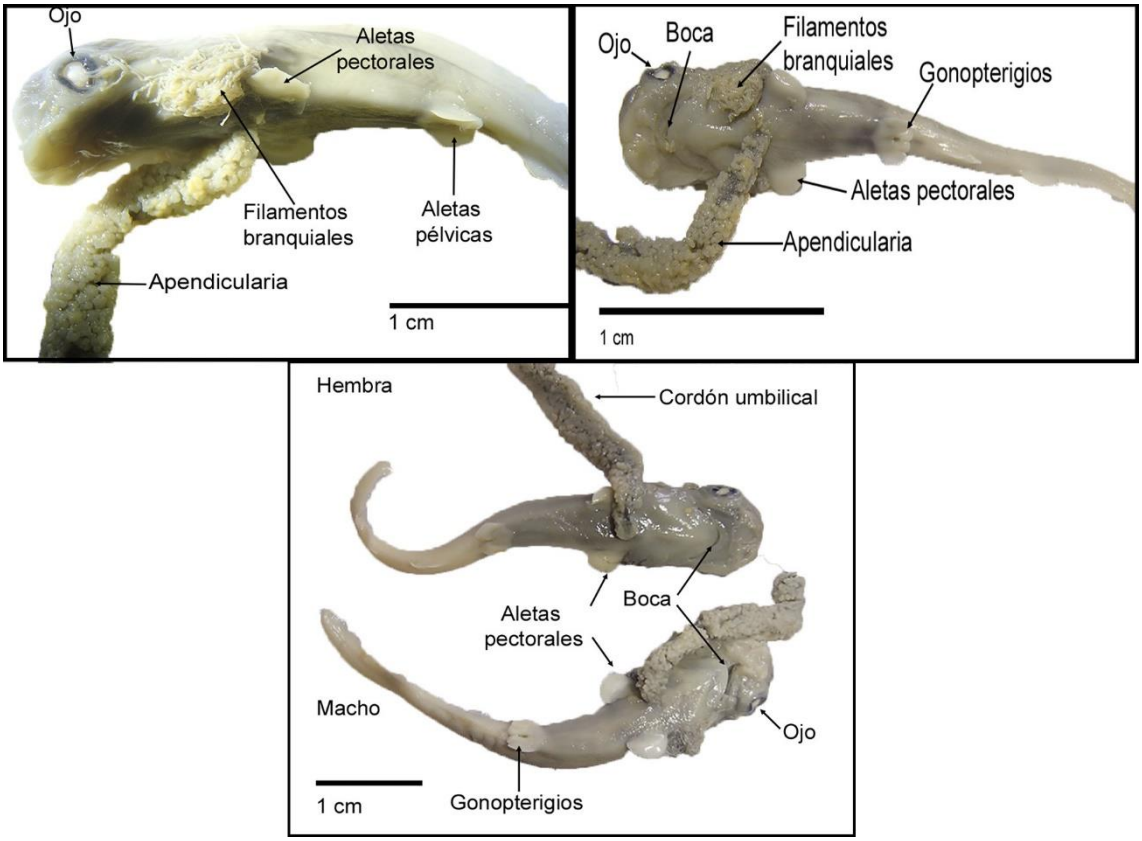


Figura 27. Etapa 3 del crecimiento embrionario de *R. longurio* (fotografía tomada por el autor).

Etapa 4

Se observaron embriones con tallas de 7 a 12 cm de LT. Presentan una coloración amarilla lechosa. La cabeza comienza a aplanarse para formar el rostrum, la boca y los orificios nasales se encuentran desarrollados, las hendiduras branquiales están completamente definidas sin la presencia de los filamentos branquiales, y se observa ligeramente la coloración de las venas. El tamaño del saco vitelino ha disminuido notablemente, este se implantará en el útero de la madre para formar la placenta. **(Fig. 28)**.

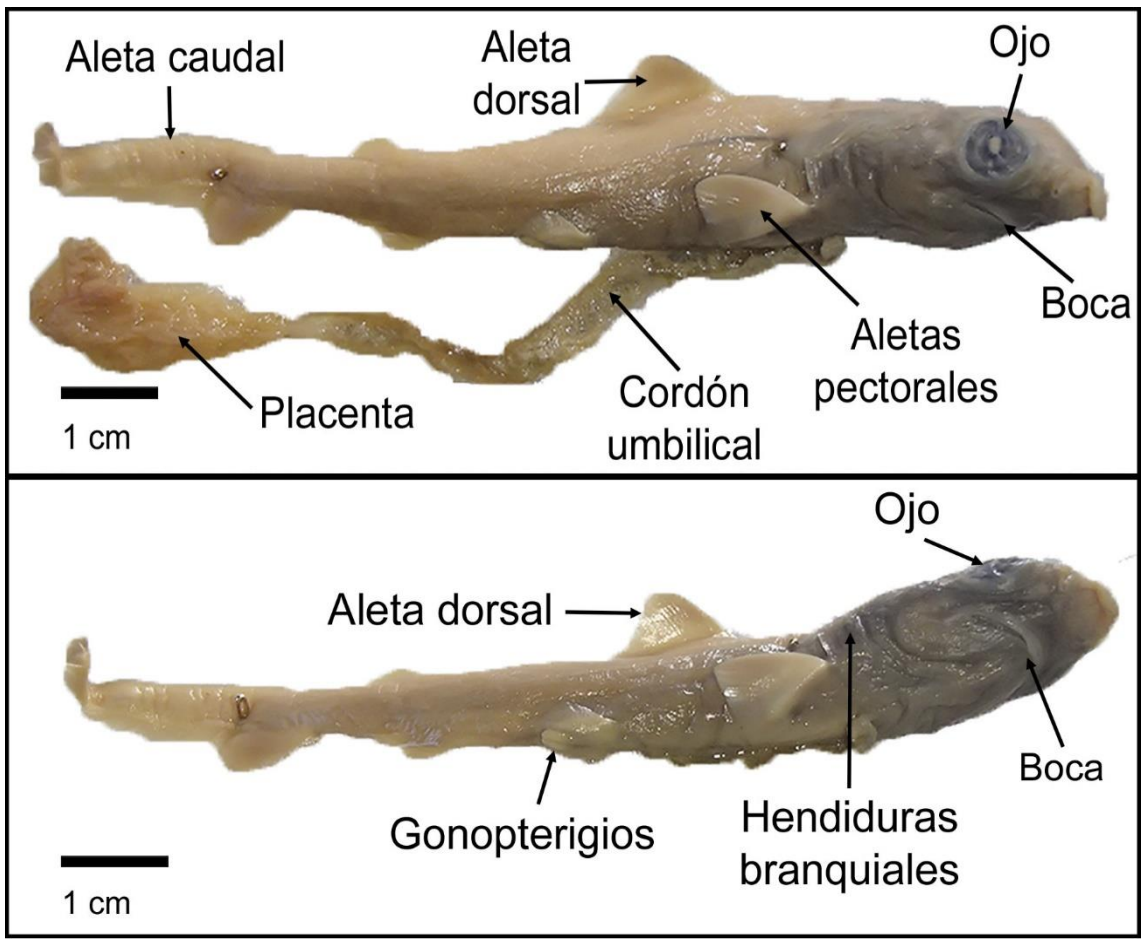


Figura 28. Etapa 4 del crecimiento embrionario de *R. longurio* (fotografía tomada por el autor).

Etapa 5

En esta etapa los embriones oscilan entre los 12 a 14 cm de LT, las aletas se encuentran más definidas. Los embriones estan unidos al útero de la madre por medio del cordón umbilical. Presenta una ligera pigmentación en los bordes de la aleta dorsal y caudal **(Fig. 29)**.

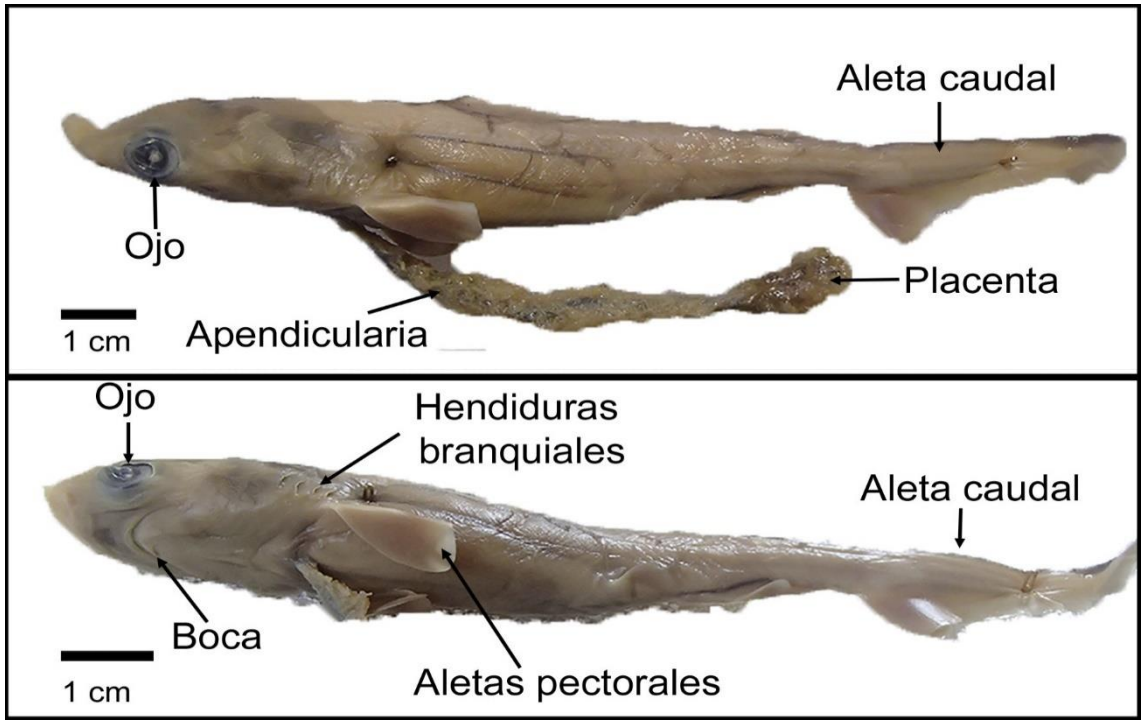


Figura 29. Etapa 5 del crecimiento embrionario de *R. longurio* (fotografía tomada por el autor).

Etapa 6

Los embriones en esta etapa tienen una LT de 15 a 23 cm, su cuerpo se encuentra en forma de "u" con la finalidad de maximizar el espacio dentro del útero. Además, su cuerpo presenta un rostrum completamente formado, las aletas ya estan perfectamente definidas al igual que el desarrollo de los dientes. Y comienza a adquirir una pirgmentación gris oscura en el dorso **(Fig. 30)**.

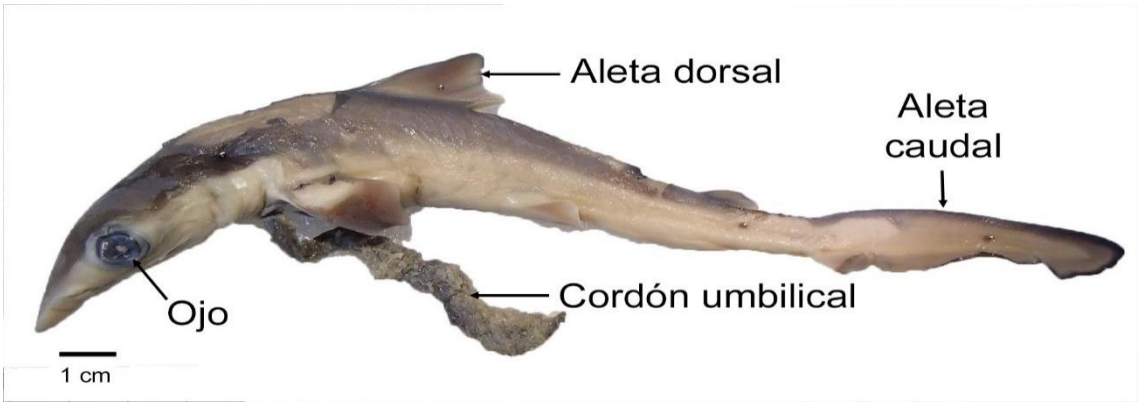


Figura 30. Etapa 6 del crecimiento embrionario de *R. longurio* (fotografía tomada por el autor).

Etapa 7

En esta etapa se consideran embriones con tallas mayores a los 24 cm de LT, ya no presentan cambios en la anatomía, todas las estructuras se encuentran completamente definidas, la apendicularia sobresale más por ser fibras más largas que en las etapas anteriores, adquiere la coloración característica de la especie, gris en el dorso y blanco en el abdomen. El tamaño máximo fue de 34 cm de LT **(Fig. 31)**.

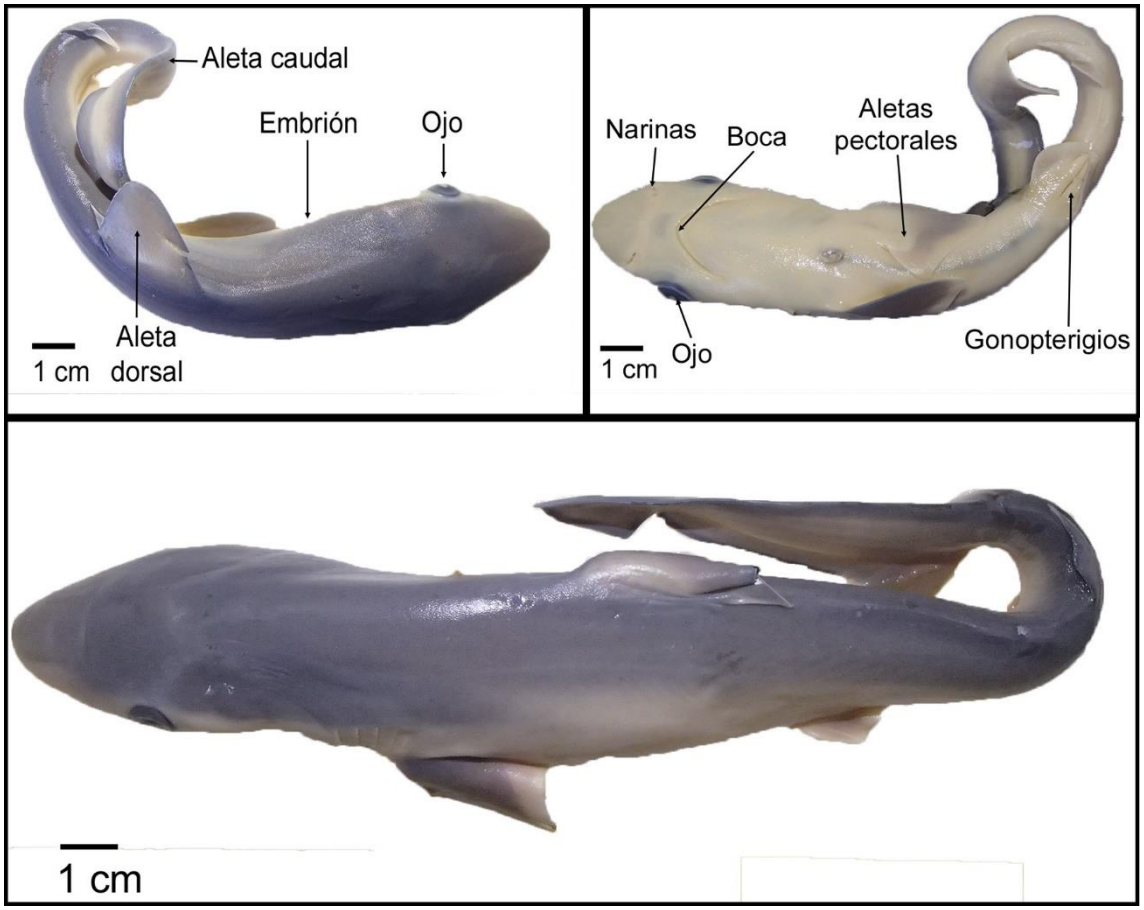


Figura 31. Etapa 7 del crecimiento embrionario de *R. longurio* vista dorsal/ventral (fotografía tomada por el autor).

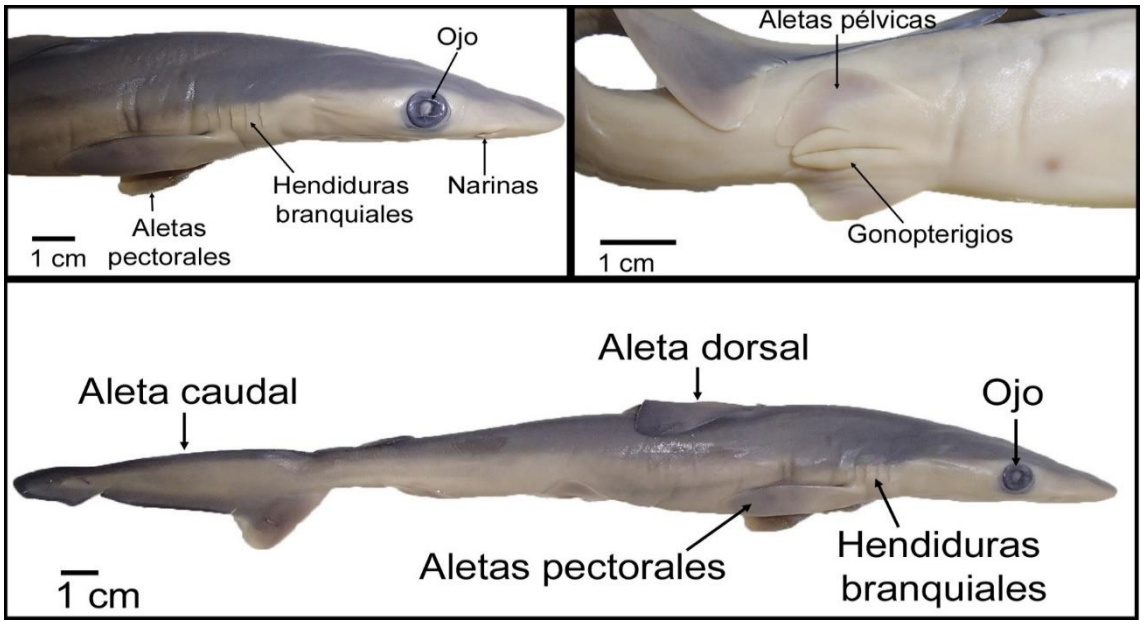


Figura 32. Etapa 7 del crecimiento embrionario de *R. longurio* vista lateral (fotografía tomada por el autor).

7.8 Fecundidad uterina

Del total de las hembras registradas, se encontraron embriones en 69 hembras con tallas mayores a los 97 cm de LT. El número de embriones varió de 2 a 12, con una moda de 8 y un promedio de 7.21. La regresión lineal nos indica como resultado que existe una relación positiva no significativa entre la talla materna y la fecundidad, esto quiere decir que el número de embriones puede ser entre 2 a 12 sin importar el tamaño de la hembra **(Fig. 33).**

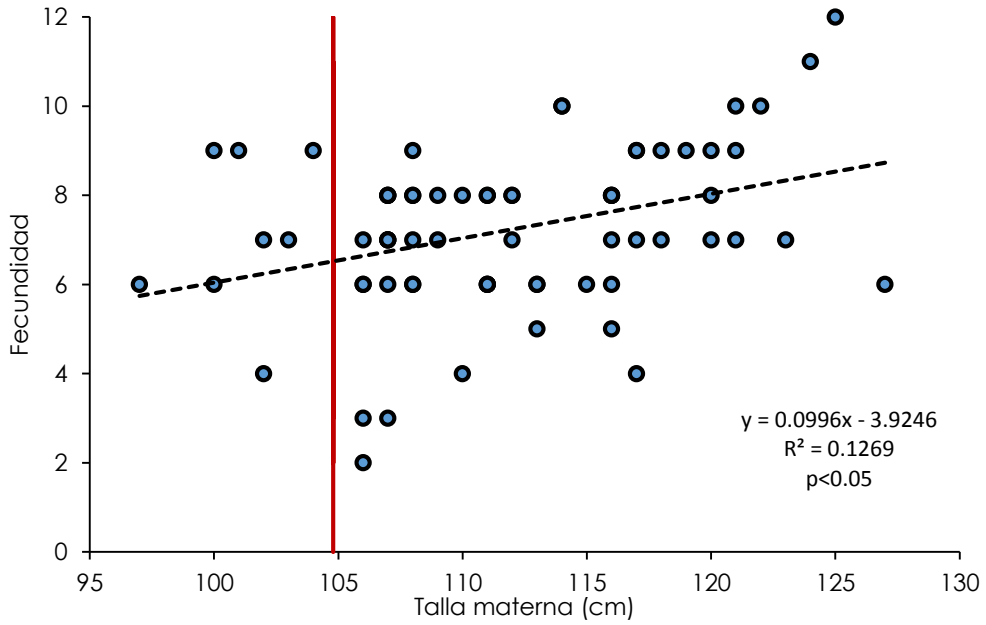


Figura 33. Regresión lineal entre la fecundidad y la talla materna de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S. Línea continua representa la talla materna (104.79 cm de LT).

7.9 Ciclo reproductivo

De acuerdo con la variacion mensual del diámetro promedio de los ovocitos que estaban presentes en el ovario de las hembras maduras, se determinó que las hembras que presentaban ovocitos más grandes y vitelogénicos con las caracteristicas listas para ser ovulados se encontraron durante el mes de abril, por lo que se sugiere que la

ovulación se pudo llevar a cabo a partir de este mes. El crecimiento constante de los ovocitos a lo largo del año podría indicar que el proceso de la vitelogenesis es a partir de agosto.

Mediante el analisis del crecimiento embrionario a lo largo de los meses, se puede inferir que el periodo de gestación de *R. longurio* tiene una duración aproximada de 10-11 meses, y el alumbramiento de embriones ocurre durante la temporada de veda ya que durante el mes de agosto se encuentran embriones en las primeras fases de desarrollo, continuando con su desarrollo durante todo el año hasta alcanzar las mayores longitudes observadas en abril, de acuerdo a la presente investigación.

Con base en la duración de la vitelogénesis y el peridodo de gestacion de los embriones, se sugiere que el cazón bironche tiene un ciclo reproductivo anual continuo.

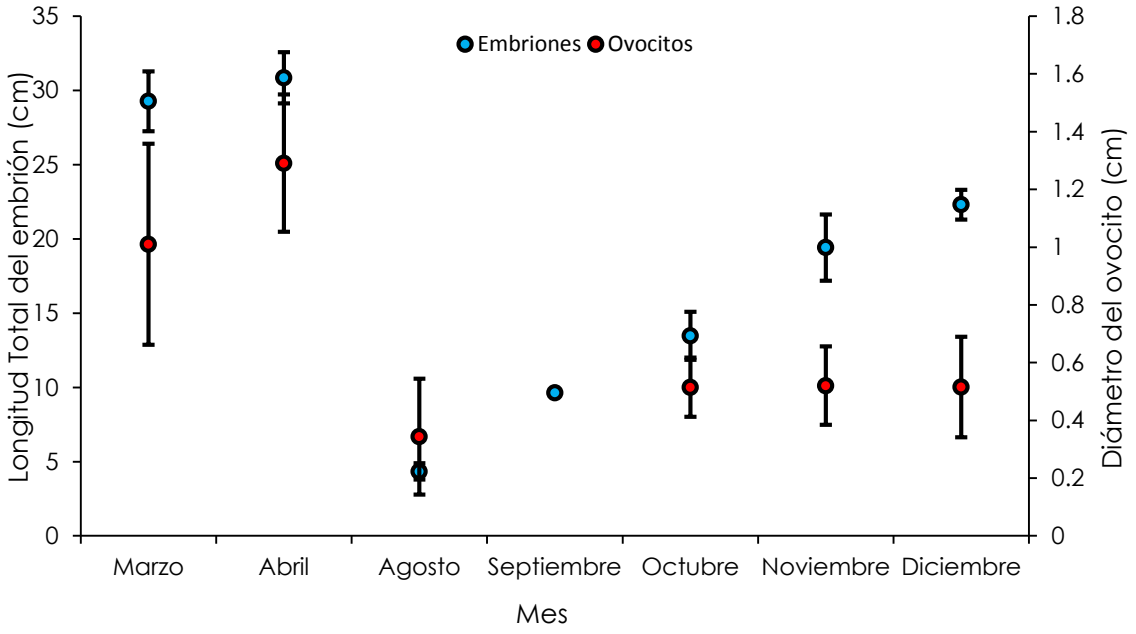


Figura 36. Variación mensual del diámetro de los ovocitos y la longitud total del embrión.

7.10 Índice gonadosomático (IGS)

Al confrontar todo lo anterior con los índices que permiten evaluar la condición reproductiva de *R. longurio*, puede observarse que los máximos valores del IGS para hembras se presentaron durante el mes de abril, antes de la temporada de veda. La gónada va aumentando continuamente en el peso y tamaño por la presencia de vitelo en los ovocitos y el aumento de estos dentro del ovario **(Fig. 34)**.

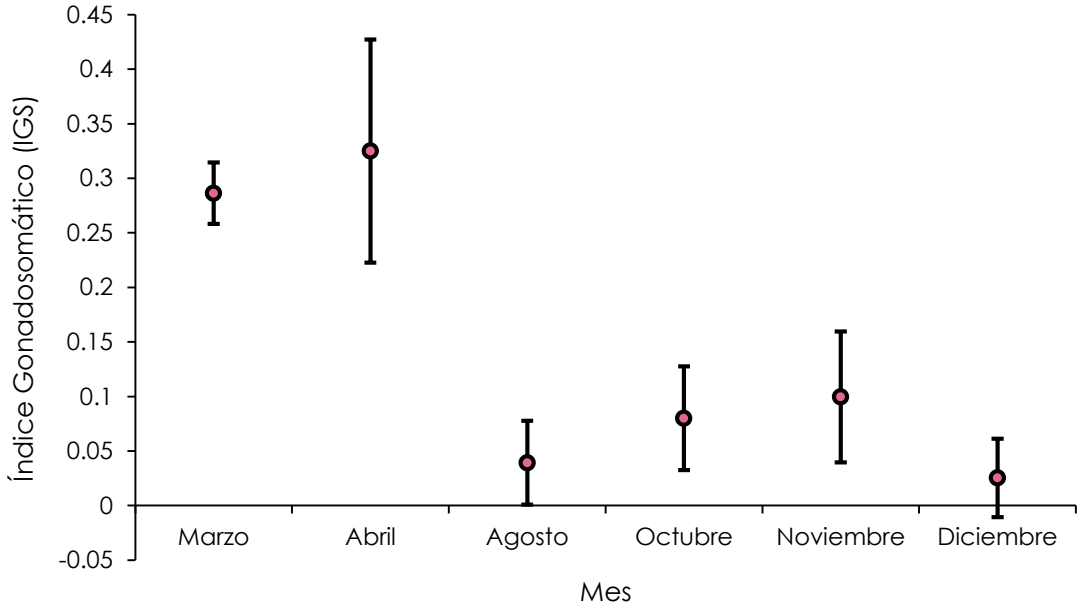


Figura 34. Relación mensual del índice gonadosomático (IGS) en hembras de *R. longurio* durante el año de muestreo en Santa Rosalía, B.C.S.

Para los machos el máximo valor del IGS se presenta en el mes de abril, justo antes de la temporada de veda, las evaluaciones macroscópicas de los testículos tanto en la forma, color y peso sufrieron cambios evidentes antes y después de la temporada reproductiva **(Fig. 35)**.

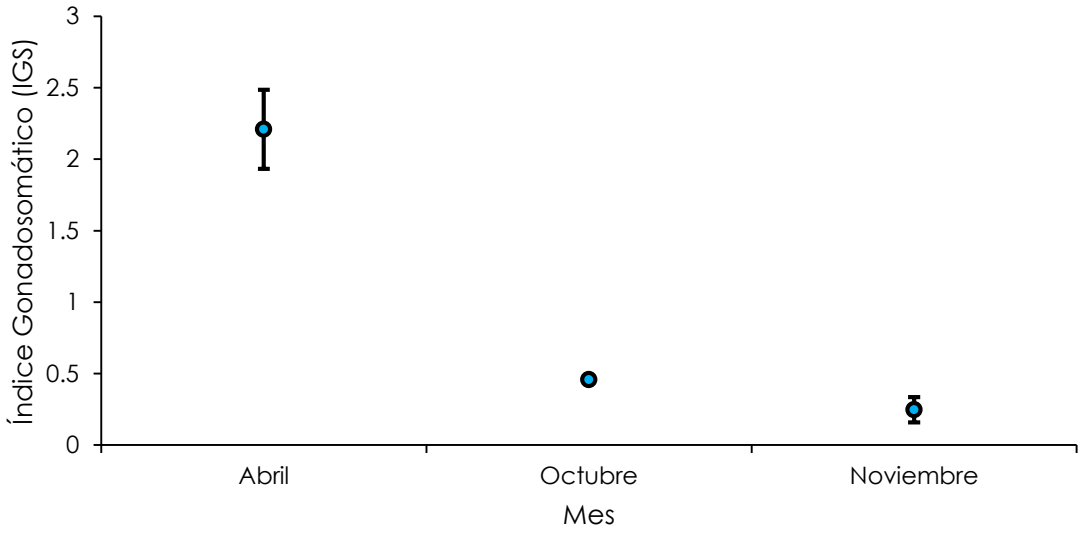


Figura 35. Relación mensual del índice gonadosomático (IGS) en machos de *R. longurio* durante el año de muestreo en Santa Rosalía, B.C.S.

7.11 Talla media de madurez sexual (L_{50})

Con base en las características macroscópicas se obtuvo una talla media de madurez sexual para hembras de 92.99 cm de LT (IC al 95% de 90.43 cm y 95.54 cm de LT); **(Fig. 37)**, y para los machos fue de 90.88 cm de LT (IC al 95% de 87.46 cm y 94.30 cm de LT); **(Fig. 38).**

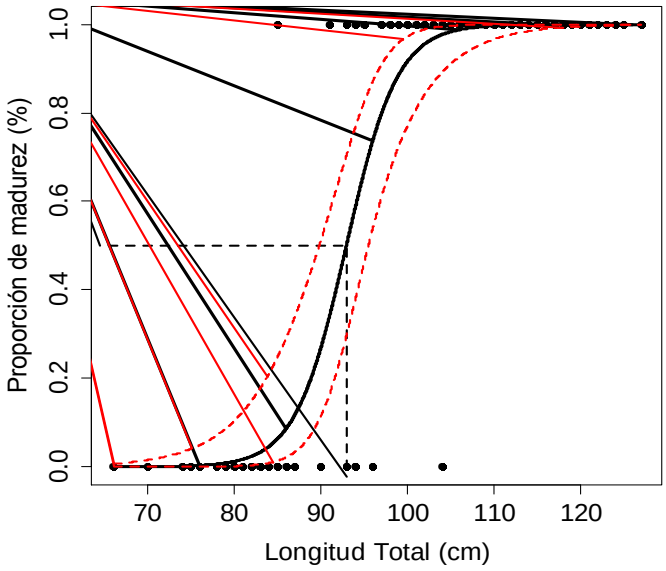


Figura 37. Talla media de madurez sexual para hembras de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

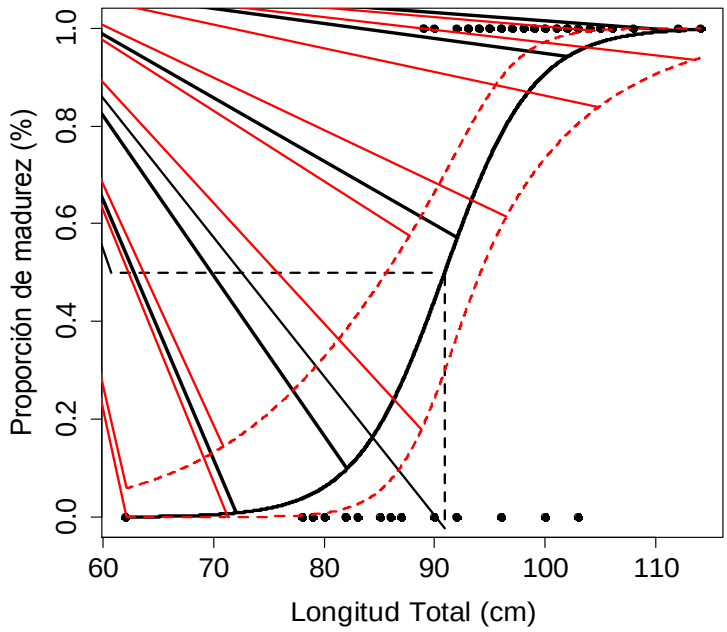


Figura 38. Talla media de madurez sexual para machos de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

7.12 Talla de maternidad (L_{m50})

Con respecto a la proporción de hembras grávidas y no grávidas de *R. longurio,* se estimó una talla de maternidad de 104.79 cm de LT (IC al 95% de 102.21 cm a 107.37 cm de LT)**; (Fig. 39)**

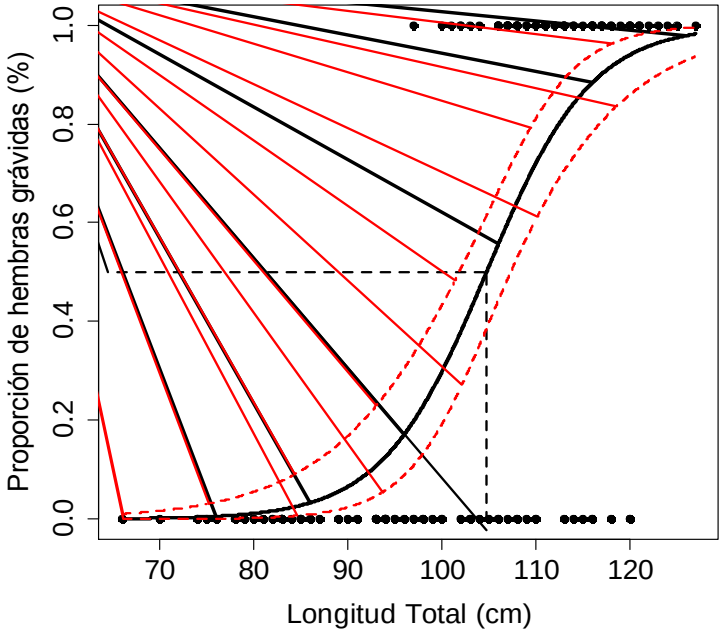


Figura 39. Talla de maternidad para hembras de *R. longurio* en Santa Rosalía, B.C.S.

8. Discusión

El tiburón vivíparo plancentado *Rhizoprionodon longurio* tiene características reproductivas y de historia de vida similares a otras especies de tiburones estudiadas previamente, sin embargo, existen algunas diferencias en su biología reproductiva que posiblemente obedecen a características bióticas/abióticas locales.

8.1 Composición de tallas y proporción de sexos

La composición de tallas registradas para *R. longurio* en este trabajo concuerda con los intervalos reportados en otros estudios realizados en el Golfo de California (INP, 2000; Márquez-Farías *et al*., 2004, Corro-Espinosa, 2011). En esta investigación se demostró que las hembras presentan tallas mayores que los machos, característica comúnmente observada en elasmobranquios, y que puede deberse a que conforme las hembras aumentan su longitud, presentan una mayor cavidad abdominal y por ende pueden tener más crías, o bien, pocas crías pero de gran tamaño (Cortés, 2000). De la misma manera Sims (2003), postula

que los diferentes requisitos energéticos podrían también ser un determinante en la diferencia de tamaños, como se ha observado en otras especies de elasmobranquios. La diferencia de tallas observadas en este trabajo puede ser influenciada por la selectividad del arte de pesca, la cual excluiría a los individuos de menor talla siendo las hembras más susceptibles a la captura (Kirkwood y Walter, 1986; Loefer y Sedberry, 2002; Torres- huerta *et al*., 2008).

Anteriormente se había reportado que los elasmobranquios presentan comportamientos complejos como los sistemas sociales con jerarquías de dominancia y la segregación sexual por edad y sexo (Myberg y Gruber, 1974; Klimley, 1987). Para el presente trabajo se obtuvo que la proporción sexual embrionaria del tiburón bironche fue de 1H:1M, dato que coincide con lo reportado previamente (Mejía-Salazar, 2007; Corro-Espinosa, 2011); sin embargo, para los organismos adultos se obtuvo una proporción sexual de 2.65H:1M, lo que indica que existe la probabilidad de segregación sexual para el área de Santa Rosalía. De acuerdo con Springer (1967), Wourms (1977) y Klimley (1987), la segregación por sexo una vez llegados a la madurez sexual es una característica general de las poblaciones de tiburones, e incluso es común observarlos en algunas especies de la familia *Carcharhinidae* (Pratt, 1979).

En este estudio la presencia de hembras fue mayor que la de machos, a diferencia de lo observado en las especies *R. terranovae*, *R. lalandii* e incluso *R. longurio,* para otras zonas geográficas en el que se registraron un mayor número de machos y que posiblemente se deba a que se mantienen más cercanos a la costa siendo el objetivo principal de las capturas (Motta *et al*., 2005; Parsons y Hoffmayer, 2005; Bosch Soler, 2020).

Las hembras grávidas presentaron una mayor abundancia, Muñoz-Chápuli (1984) propone que probablemente las hembras con embriones más desarrollados se mueven a aguas cercanas a la costa con la finalidad de evadir la depredación, motivo por el cual sean más

vulnerables a ser capturadas, a diferencia de hembras con las primeras etapas de gestación, las cuales probablemente se encuentren en aguas más profundas sin ser objetivo de las redes de pesca.

Es importante destacar que los factores sociales y fisiológicos pueden estar influyendo en la segregación sexual de tiburones, sería recomendable ver si estas hipótesis aplican correctamente para el tiburón *Rhizoprionodon longurio*. Klimley (1987) y Main *et al*. (1996) sugieren que la segregación se genera para que las hembras evadan el comportamiento agresivo de los machos, motivo que probablemente también explique el hecho de que las hembras grávidas de algunas especies de tiburones emprenden migraciones de larga distancia a zonas de cría protegidas para parir lejos de los tiburones adultos (Feldheim *et al*., 2002). Por otro lado, cada sexo satisface diferentes requisitos fisiológicos y energéticos, en la selección de alimentos y nutrición, los machos buscan hábitats con alta disponibilidad de alimentos; mientras que las hembras eligen hábitats que en primer lugar están a salvo de los depredadores para asegurar a su descendencia (Ruckstuhl y Neuhaus, 2000).

8.2 Descripción macroscópica del aparato reproductor de *Rhizoprionodon longurio*

El aparato reproductor de *R. longurio* en ambos sexos coincide en aspectos generales con especies de tiburón vivíparas reportadas anteriormente (Hamlett, 2005).

8.3 Hembras

Las estructuras reproductivas de las hembras de *R. longurio* son similares a *R. terraenovae* y *R. acutus* como característica del género, mostrando un solo ovario funcional (izquierdo), glándulas oviducales, oviductos y úteros emparejados (Parsons, 1983; Shaaban *et al*., 2018).

8.3.1 Ovario

Los ovarios son los responsables de producir células germinales, secretar hormonas sexuales, adquirir y acumular vitelo durante la vitelogénesis (Pratt, 1988). En *R. longurio y R. terranovae* el ovario funcional es el izquierdo a diferencia de la mayoría de los tiburones de la familia Carcharhinidae donde solo el ovario derecho predomina (Parson, 1983; Castro y Wourms, 1993; Hamlett y Kobb, 1999; Mejía-Salazar, 2007)

En el tiburón bironche el ovario es de tipo externo (Pratt, 1988, Márquez-Farías *et al.*, 2004; Mejía-Salazar, 2007), característica que comparte con especies de la familia Carcharhinidae, como *C. plumbeus* (Pratt, 1988), *C. falciformis* (Hoyos-Padilla, 2003), *Prionace glauca* (Carrera Fernández, 2004) y *R. terraenovae* (Parson, 1983; Castro y Wourms, 1993).

La hembra produce y madura ovocitos vitelogénicos, aunque no todos vayan a ser ovulados (Capapé *et al.,* 2006; Galíndez, 2016). Los ejemplares analizados del tiburón bironche presentan evidentes cambios en el tamaño y coloración de los ovocitos dependiendo de la madurez sexual. En las hembras inmaduras, el tamaño de los ovocitos es pequeño e incluso poco perceptible (0.01 cm) con una coloración blanquecina, a diferencia de los organismos sexualmente maduros donde la coloración fue de amarillo a anaranjado, alcanzando tamaños de 1.9 cm de diámetro.

8.3.2 Glándula oviducal

Los Condrictios desarrollan una glándula única en su tipo conocida como glándula oviducal, una de las primeras estructuras en madurar, y cuyas funciones son producir la membrana terciaria, almacenar, nutrir al esperma y protegerlo del ataque inmunológico materno, funciones clave para el éxito reproductivo y la supervivencia de la especie (Hamlett *et al*., 1998a; Hamlett *et al*., 2005).

La encapsulación de los huevos es un proceso fundamental. En tiburones ovíparos la glándula oviducal secreta una membrana gruesa para formar la cápsula que protegerá al embrión en el medio marino (Pratt, 1993), a diferencia de las especies vivíparas placentarias donde el embrión está envuelto en una membrana transparente y delgada (Hamlett *et al*., 2002 a) como es el caso de *R. longurio*.

En este trabajo no fue posible realizar un análisis sobre el almacenamiento espermático en la glándula oviducal de *R. longurio*, aunque ya ha sido reportado para algunas especies de condrictios como *Prionace glauca, Rhizoprionodon terraenovae, Carcharhinus obscurus y Sphyrna lewini* (Pratt, 1993; Carrera-Fernández, 2004). Pratt (1993), menciona que existen tres diferentes tipos de almacenamiento, el de inseminación inmediata, de corto plazo y de largo plazo. En el tiburón bironche se reporta que no hay evidencia de dicho almacén de esperma y lo asocian principalmente a que no requiere de esta estrategia, por sus migraciones reproductivas donde es muy común el encuentro macho-hembra (Mejía-Salazar, 2007; Marquez-Farias *et al*., 2005). Sin embargo, para determinar si existe o no dicho almacén se recomienda realizar análisis histológicos, debido a que difiere de su congénere *R. terranovae* que tiene un almacenamiento de corto plazo (semanas a meses) con el fin de demorar la inseminación (Pratt 1993). Este mecanismo no es exclusivo de peces cartilaginosos ya que se presenta tanto en otros vertebrados como peces óseos, reptiles, anfibios y mamíferos, dando una ventaja evolutiva a las especies migratorias o con comportamientos que dificultan el encuentro entre ambos sexos (Pratt, 1993; Holt y Lloyd, 2010).

En el tiburón bironche la glándula oviducal crece con respecto a la talla de la hembra. En este estudio se observó que crece lentamente antes de los 100 cm de LT, ubicando en este rango a las hembras inmaduras, posterior a esta talla se encuentran las hembras maduras y grávidas donde no se diferencia el tamaño de la glándula entre ambos estados de madurez, lo que nos indica que el crecimiento de la glándula podría

estar relacionado con la actividad reproductiva de la especie. Marquez-Farias *et al.* (2005), para *R. longurio* observa un crecimiento abrupto en el ancho de la glándula oviducal entre los 90 y 95 cm de LT. Reportando un ancho máximo de 2.2 cm en organismos de 92 cm de LT, medidas similares a lo encontrado en este estudio. Para la especie *R. terranovae* Castro y Worms (1993), documentan que la glándula incrementa su tamaño al doble cuando hay huevos fértiles listos para ovular, característica que se ha observado en algunas especies de la familia Carcharhinidae.

8.3.3 Útero

El útero en *R. longurio* es un órgano par que se encuentra separado de las glándulas oviducales por una estructura estrecha conocida como itsmo, misma que se observado en especies placentarias y aplacentarias como *Charcharias taurus* (Grant *et al*., 1983), *Iago omanensis* (Fishelson y Baranes, 1998), *Mustelus antarticus* (Storrie *et al*., 2009), *Mustelus schmitti* (Galíndez *et al*., 2010b) y *Mustelus lunulatus* (García-Vázquez, 2018). Al igual que todos los condrictios estudiados, los úteros de *R. longurio* desembocan de forma independiente, uno a cada lado del seno urogenital (Hamlett y Koob 1999).

En el tiburón bironche ambos úteros son funcionales, y crecen en tamaño y diámetro a medida que avanza la gestación, similar a lo reportado en otros peces cartilaginosos (White *et al.,* 2001; Teshima, 1981; Mollet *et al.,* 2000; Hamlett *et al*., 2002a; Storrie *et al*., 2009; Galíndez *et al.,* 2010b; García-Vázquez, 2018). En los ejemplares de *R. longurio* las hembras maduras e inmaduras presentan el útero poco desarrollado, a diferencia de las grávidas donde hay un incremento evidente de tamaño, que proporcionará el espacio suficiente para el crecimiento de los embriones, especialización que podría relacionarse con la maduración de las hembras principalmente en procesos funcionales como la gestación.

Cada uno de los embriones de tiburón bironche se encuentran ubicados en su propio compartimiento uterino y rodeado por su membrana terciaria las cuales proporcionan sostén y soporte durante toda la gestación, característica típica pero no exclusiva de los tiburones placentarios (Hamlett *et al*., 1993; Hamlett y Hysell, 1998b).

Se sabe que durante las primeras semanas de gestación, los embriones de tiburones vivíparos placentarios como lo es la especie de este estudio, se nutren directamente del saco vitelino, una vez que este se agota, se alarga y se une a la pared uterina de la madre formando la placenta, medio por el cual los embriones serán nutridos directamente por la madre mediante el cordón umbilical vascularizado (Hamlett, 1987; Gilbert, 1981).

Las cápsulas uterinas y embriones que se quedan en las primeras etapas de desarrollo se han observado anteriormente para *R. longurio* en la Bahía de La Paz (Mejía-Salazar, 2007; Bosch Soler, 2020), documentando que todas las hembras en su estudio portaban un saco vitelino sin signos de desarrollo, a diferencia de lo encontrado en este estudio para la zona del Santa Rosalía, B.C.S., en el que solo 7 de las 71 hembras portaron cápsulas uterinas. Esta característica podría estar relacionada a condiciones genéticas o factores ambientales, como el cambio climático (Ward-Paige *et al*., 2012) y antropogénicos, como la contaminación la sobrepesca y el estrés por captura incidental (Mandelman *et al*., 2013), como se han observado anteriormente en otras especies de peces (Bosch Soler, 2020). Se sabe que el estrés, dependiendo de la duración y la naturaleza del factor estresante, puede producir alteraciones moleculares al estado y rendimiento del organismo, generando cambios en el crecimiento o la reproducción (Skomal y Mandelman, 2012).

Al igual que todos los condrictios, los úteros de *R. longurio* desembocan de forma separada en un seno urogenital único, en las especies vivíparas aplacentarias se ha reportado que cumplen un rol activo en el ciclo

reproductivo (Sunyem y Vooren 1997; Hamlett y Koob, 1999). Los embriones en desarrollo pasan la última mitad de la gestación en una cámara conformada por el útero y el seno urogenital para después permitir la salida de las crías al medio externo, mientras que en las especies ovíparas, este último se presenta como un saco, que contiene las cápsulas por un tiempo variable antes de ser depositadas en el medio marino (Hamlett y Koob, 1999; Galíndez y Estecondo, 2008; Díaz-Andrade *et al*., 2008; García-Vázquez, 2018).

8.4 Machos

8.4.1 Testículos

El aparato reproductor de los machos de *R. longurio* coinciden en su estructura anatómica externa e interna, localización y desarrollo con lo reportado por Parson (1983) para *R. terraenovae* en la parte central del Golfo de México. De acuerdo con Bosch-Soler (2020), el tiburón bironche posee testículos alargados y redondeados, con cambios morfológicos en tamaño y coloración que dependen de la madurez sexual y la época reproductiva en la que se encuentran.

R. longurio muestra un incremento en la longitud de los gonopterigios con respecto al crecimiento del tiburón donde los organismos maduros se encontraron a partir de 95 cm de LT dato que coincide con lo reportado por Marquez-Farias *et al*., (2005) y Corro-Espinoza (2011) en el que la mayor elongación del gonopterigio se da en tallas mayores a los 80-95 cm LT_{nat} (Longitud Total natural). Por otra parte, la mayor fase de crecimiento de los gonopterigios en *R. lalandii* es a los 46-50.8 cm de LT (Motta *et al*., 2007), *R. taylori* a partir de los 51 cm de LT (Simpfendorfer, 1992) y *R. terraenovae* a los 61 cm de LT (Parson, 1983).

En este trabajo no se encontró relación en el ancho y largo del testículo con respecto a la longitud total, sin embargo, en el caso de los machos sexualmente maduros se observó una transición que va de la temporada reproductiva activa (enero a mayo), misma en la que los testículos son

más grandes y anchos. Posteriormente pasa a una fase inactiva (agosto a diciembre) cuando la veda ha finalizado, mostrando una evidente regresión en el tamaño testicular debido al movimiento que sufren los espermatozoides hacia la vesícula seminal. Esta particularidad es comparable a lo descrito por Bosch-Soler, (2020) para la misma especie en la Bahía de la Paz, y a diferencia de *P. glauca* que no muestra crecimiento en los testículos durante la época reproductiva, por lo que es difícil diferenciar entre organismos juveniles y adultos (Parsons y Grier 1992; Carrera-Fernández, 2004). Aunque en este estudio no se realizó ningún análisis hormonal se sabe que esta especie presenta altos niveles de Testosterona y Estradiol que juegan un papel importante en los testículos de *R. longurio* e incluso en su congénere *R. terranovae* (Hoffmayer *et al*., 2010; Bosch Soler, 2020).

8.5 Crecimiento embrionario y ciclo reproductivo

El crecimiento embrionario de *R. longurio* concuerda en aspectos generales a lo largo de la gestación con especies vivíparas placentarias de la familia Carcharhinidae y Sphyrnidae (Pratt y Castro, 1990).

Como se menciona anteriormente, el tiburón bironche es una especie vivípara placentada, esto quiere decir que los embriones se comunican con la madre mediante el cordón umbilical. El cordón umbilical del tiburón bironche presenta numerosas vellosidades conocidas como apendicularia, estructura que se cree permiten el intercambio respiratorio y que se ha observado en otras especies de tiburones como *Sphyrna tiburo* y *Sphyrna lewini* (Gilbert, 1981).

De acuerdo con Castro y Wourms (1993), los procesos de reproducción, placentación y desarrollo embrionario de *R. terranovae* son similares a lo reportado para *R. longurio*.

Con base en la variación mensual de la LT de los embriones y el registro de crías en marzo con tallas de nacimiento cercanas a las reportadas (37-39 cm de LT) (Cástillo-Géniz, 1990; Márquez-Farías *et al.* 2004), se sugiere

que el tiburón bironche tiene un periodo de gestación de 10 a 11 meses similar a lo establecido por Márquez-Farías *et al.* (2004) y Castillo-Géniz (1990), y el periodo de nacimiento en Santa Rosalía, B.C.S., es de mayo a julio temporada cubierta por la veda. Por otra parte, considerando que el diámetro mayor de los ovocitos se encuentra en abril, es posible proponer que el periodo de ovulación ocurra entre los meses de mayo a julio.

De acuerdo con el periodo de gestación y vitelogenesis, con una duración de 9 a 10 meses, se sugiere que *R. longurio* tiene un ciclo reproductivo anual continuo en Santa Rosalía, coincidiendo con lo reportado por Corro-Espinoza (2011) para el Golfo de California. Otras especies del género *Rhizoprionodon* presentan también un ciclo anual como *R. terraenovae* (Martínez-Cruz, 2016), *R. porosus* (Ladino-Archila, 2014), y *R. lalandii* (Tagliafico *et al.,* 2015).

Conforme a los resultados obtenidos en este trabajo, la zona de Santa Rosalía, B.C.S., podría considerarse como un área de expulsión de neonatos de *R. longurio* debido a las capturas de hembras preñadas con embriones cercanos a la talla de nacimiento, misma observación que se ha reportado para la Bahía de La Paz (Villavicencio-Garayzar *et al*., 1997; Mejía-Salazar, 2007; Bosch-Soler, 2020), sin embargo, la realización de más estudios en neonatos de tiburón bironche serían de gran importancia para la creación de un manejo adecuado de la especie.

Aunque *R. longurio* y *R. terraenovae* frecuentan diferentes áreas de crianza y reproducción (Parson, 1983; Castro y Wourms, 1993), en estudios anteriores para la región del Golfo de California se han observado organismos en diferentes estadios de madurez, utilizando esta zona como área de nacimiento, apareamiento y alimentación (Corro-Espinoza, 2011). Así mismo Saucedo-Barron *et al*. (1982) y Castillo-Géniz (1990) sugieren que las lagunas costeras y estuarinas del sur de Sinaloa son áreas de nacimiento y crianza con respecto al periodo de alumbramiento del

tiburón bironche, mismo que ha sido documentado para *R. terraenovae* (Thorpe *et al.,* 2004), *R. lalandii* y *R. porosus* en sus respectivas áreas geográficas (Yokota y Lessa, 2006 y Lessa *et al*., 2009). Cabe resaltar que es necesario realizar más investigaciones en la zona de Santa Rosalía, B.C.S., para determinar la presencia de neonatos, debido a que en este estudio no se obtuvo ningún registro de ellos y podría atribuirse a la selectividad por el tipo de arte de pesca.

8.6 Índice Gonadosomático

De acuerdo con Parson y Grieg (1992), el índice gonadosomático provee información del desarrollo gonádico, ya que muestra cambios en diversas especies de tiburones.

Los valores de este índice obtenidos en *R. longurio* fueron ligeramente mayores en hembras que en machos, similar a lo reportado anteriormente para *R. terraenovae* (Parson 1983), aunque se recomienda realizar estudios a profundidad ya que en este trabajo el resultado pudo ser influenciado por la ausencia de machos en las capturas. Sin embargo, ambos sexos muestran un pico en el mes de abril justo antes de la temporada de veda, donde las hembras de *R. longurio* expulsan las crías e inmediatamente empieza la época de apareamiento con los machos (Corro-Espinoza, 2011).

8.7 Fecundidad uterina

En los elasmobranquios una hembra puede producir un número variable de embriones. *R. longurio* puede tener de 2 a 12 embriones por camada para el área de Santa Rosalía B.C.S., coincidiendo con lo reportado para otras zonas (Saucedo-Barron *et al*., 1982; Castillo-Géniz., 1990; Villavicencio-Garayzar *et al*., 1997; Marquez-Farias *et al*., 2004; Mejía-Salazar, 2007; Bosch-Soler, 2020)

La fecundidad del tiburón bironche para el área de Santa Rosalía B.C.S., es mayor con respecto a lo reportado por Castro (1983), Allen y Robertson (1994), los cuales mencionan de 2 a 5 embriones, diferencias que posiblemente se deban a fluctuaciones normales de la misma población como se ha observado en otras especies de tiburones (Holden, 1973).

En el presente estudio no hubo una relación positiva significativa entre el número de embriones y la talla materna de *R. longurio,* dato que concuerda con lo reportado por Mejia-Salazar (2007). La ausencia de esta relación nos indica que el tamaño de la hembra no afecta al número de crías que pueda tener. Con un promedio de 7.2 crías por hembra el tiburón bironche tiene la más alta productividad de crías dentro del género, mientras que su congénere *R. terraenovae* tiene 5.0 crías (Carlson y Baremore, 2003) y *R. acutus* (costa de Senegal) 3.5 crías por hembra (Capapé *et al*., 2006).

Y aunque no se ha reportado qué factor podría explicar esta variación sería conveniente tener conocimiento sobre si influyen las condiciones genéticas, naturales, antropogénicas, o alimenticias, debido a que en otras especies de condrictios se ha observado que un mayor aporte alimenticio permite a la hembra incrementar su fecundidad (Sidders *et al.,* 2005). Pero a su vez Wheeler *et al*. (2020), consideran que existe una gran influencia en la biología reproductiva de los elasmobranquios por parte de los impactos antropogénicos, destacando el estrés inducido por la captura incidental, la destrucción del hábitat y la contaminación (el calentamiento y la acidificación de los océanos) afectando en gran medida los procesos fisiológicos y su comportamiento.

Se recomienda la realización de más estudios para sustentar el impacto humano directo o indirecto, así como la predicción del cambio climático para este grupo de vertebrados acuáticos.

8.8 Talla de madurez sexual (L_{50}) y talla de maternidad (Lm_{50})

La obtención de tallas de madurez en la familia Carcharhinidae, se ha descrito para especies de tiburones de talla grande y moderada (Carlson *et al*., 2003; Francis y Duffy, 2005; Shoou-Jeng *et al.,* 2007;), generando datos significativos para la mayoría de los estudios demográficos (Cortés, 1998).

La estimación de madurez mostró resultados variables con respecto a otros trabajos realizados anteriormente, dentro del Golfo de California. Corro-Espinosa *et al*. (2011) mediante análisis macroscópicos de los órganos reproductivos, establecieron una L_{50} de 93 cm LT para hembras y 100 cm LT para machos por otra parte, Mejía-Salazar (2007) estimó 80 cm LT en hembras y 82 cm LT en machos, utilizando histología. Estos resultados pudieron ser influenciados por el tipo de metodología utilizada, Pankhurst (2008), menciona que las hormonas desencadenan procesos de reproducción por lo que es posible observarlas primero microscópicamente (histología) y posteriormente macroscópicamente.

En este estudio la talla de madurez sexual de *R. longurio* mostró que las hembras maduraron en tamaños más grandes que los machos, resultados diferentes a los observados previamente para el tiburón bironche, pero dimorfismo que es comúnmente observado en otras especies de tiburones (Márquez-Farias et al., 2005; Mejía -Salazar, 2007; Corro-Espinosa, 2011), como el tiburón *R. lalandii* (Motta *et al*., 2007), *R. terraenovae* (Parsons, 1983) y *R. oligolinx* (Purushottama *et al*., 2017). Sin embargo, dentro del género Rhizoprionodon las hembras de *R. acutus* maduran a tamaños más pequeños que los machos (Henderson *et al.*, 2006; Shaaban *et al*., 2018).

Baje *et al*., 2018, encontraron que el tamaño de madurez de la misma especie puede diferir entre áreas, como es el caso de *R. taylori* que crece más rápido en el Golfo de Papua Nueva Guinea que en aguas australianas, característica que posiblemente se relacione con la

plasticidad reproductiva (Hoffmayer *et al.*, 2013); mientras que para *R. longurio* podría deberse al tipo de metodología utilizada para la evaluación de madurez, (macroscópicos, histológicos, y hormonales), incluso Loefer y Sedberry (2002) mencionan que la selectividad del arte de captura puede influir, ya que, los individuos de menor talla pero ya maduros serán excluidos.

En el presente estudio, se estimó por primera vez la talla materna (Lm_{50}) para *R. longurio* en Santa Rosalía B.C.S., la cual es mayor a la talla de madurez sexual (L_{50}), datos que concuerdan con estudios realizados en otras especies de condrictios (Hoyos-Padilla, 2003; Walker, 2007; Soto-López *et al*., 2018; García-Vázquez, 2018).

Este trabajo es un aporte hacia el conocimiento de la biología reproductiva del tiburón bironche en esta área de estudio. Los análisis realizados en este trabajo proporcionan información detallada sobre la morfología de *R. longurio*. Es un complemento a estudios previamente realizados para esta especie, y será de gran ayuda para la creación de estudios demográficos y el correcto manejo de la especie.

9 Conclusiones

- *Rhizoprionodon longurio* capturado en el área de Santa Rosalía, B.C.S. alcanza tallas hasta los 127 cm de LT.
- La población de las hembras es 75% mayor que la de los machos.
- La característica morfológica y macroscópica de madurez sexual en hembras es la presencia de ovocitos vitelogénicos.
- La característica morfológica macroscópica de madurez sexual en machos es el tamaño máximo del gonopterigio y la presencia de semen.
- Las hembras maduran a partir de los 92.99 cm de LT y los machos hasta que alcanzan los 90.88 de LT.
- La maternidad se presenta hasta que las hembras alcanzan tallas mayores a los 104.79 cm de LT.
- *Rhizoprionodon longurio,* es un tiburón vivíparo placentado.
- Las hembras de *Rhizoprionodon longurio* presentan un ciclo reproductivo anual continuo, con una fecundidad promedio de 7 crías por hembra.
- El periodo de veda protege el apareamiento y la expulsión de los embriones.

10 Literatura citada

Abitia-Cárdenas, L.A., L. Rodríguez-Romero, F. Galván-Magaña, J. De la Cruz-Agüero y H. Chávez-Ramos. 1994. Lista sistemática de la ictiofauna de Bahía de la Paz, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*. 20 (2), 159–181.

Alatorre-Ramírez V.G., F. Galván-Magaña y Y. E. Torres-Rojas. 2013. Trophic hábitat of the Pacific sharpnose shark, *Rhizoprionodon longurio*, in the Mexican Pacific. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 93 (08): 2217-2224.

Alcock, A. 1890. Observations on the gestation of some sharks and rays. J. Asiat. Soc. Bengal 59: 51-56.

Alderete-Macal M.J. 2007. Hábitos alimenticios del tiburón horma, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan y Gilbert, 1882) en Salina Cruz, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz. México. 59 pp.

Allen, G. R. y D. R. Robertson. 1994. Peces del Pacífico oriental tropical. University of Hawai Press. 327 p.

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

Álvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California. In: B. H. Ketchum (ed) Estuaries and enclosed seas. Elsevier Amsterdam, 427-449 pp.

Arce-Peinado C.A. 2019. Efecto de la contaminación por metales pesados en *Chione undatella* (G. B. Sowerby I, 1835) del puerto minero de Santa Rosalía, Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN. La Paz. México. 113 pp.

Baje, L., J.J Smart., A. Chin, W.T. White., C. Simpfendorfer. 2018. Age, growth and maturity of the Australian sharpnose shark Rhizoprionodon taylori from the Gulf of Papua. *PLoS ONE*, *13*(10), 1–17.

Balart, E.F., J.L. Castro-Aguirre, D. Aurioles-Gamboa, F. García-Rodríguez y C. Villavicencio-Garayzar. 1995. Adiciones a la ictiofauna de Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Hidrobiológica.* 5 (1:2): 79-85.

Bizzarro J.J., W.D. Smith, E.J. Jones y G.M. Cailliet. 2000. The artisanal elasmobranch fishery of Baja California Norte (Gulf of California, Mexico). En: American Elasmobranch Society (eds) 80th Annual Meeting of the American Society of Ichthyologists and Herpetologists & 16th Annual

Meeting of the American Elasmobranch Society. University of Florida Museum of Natural History: American Elasmobranch Society. 14–20.

Bizzarro, J.J., W.D. Smith, R.E. Hueter, J. Tyminski., J.F. Márquez-Farías, J.L. Castillo-Géniz, G.M. Cailliet y C.J. Villavicencio-Garayzar. 2007. El estado actual de los tiburones y rayas sujetos a explotación comercial en el Golfo de California: Una investigación aplicada al mejoramiento de su manejo pesquero y conservación. Traducción por: J. Leonardo Castillo-Geniz. Moss Landing Marine Laboratories. Tech. Pub. 2009-02. 261 pp.

Bonfíl, R. 1994. Overview of world elasmobranch fisheries. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). FAO Fisheries. Technical. Paper 341. FAO: Rome, Italy. 119 p.

Bosch-Soler, A. 2020. Endocrine And Morphological Correlates Of Reproduction In The Pacific Sharpnose Shark (*Rhizoprionodon Longurio*) From La Paz Bay, B.C.S., Mexico. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S, México. 64 p.

Bradley, M.W., H.G. Samuel, y C. Enric.1990. Diet, Feeding habits, Digestion and Consumption in sharks, with special reference to the Lemon Shark *Negaprion brevirostris.* University of Miami. 29-47pp.

Brusca, R.C., L.T. Findley, P.A. Hastings, M.E. Hendrickx, J.T. Cosio y A.M. van der Heiden. 2005. Macrofaunal diversity in the Gulf of California. In: Cartron, J.L.E., Ceballos, G., Felger, R.S. (Eds.), Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico. Oxford University Press, New York, 179–203 pp.

Capapé C, Diatta Y, Diop M, Guélorget O, Vergne Y, Quignard JP. 2006. Reproduction in the milk shark, *Rhizoprionodon acutus* (Rüppell, 1837) (Chondrichthyes: Carcharhinidae), from the coast of Senegal (eastern tropical Atlantic). Acta Adriatica. 47 (2): 111-126.

Carlson, J. K., I. E. Baremore. 2003. Changes in biological parameters of Atlantic sharpnose shark *Rhizoprionodon terraenovae* in the Gulf of Mexico: evidence for densitydependent growth and maturity? Journal of Marine Fresh Water Research. 54: 1-8.

Carlson, J.K., E. Cortés, D.M. Bethea. 2003. Life history and population dynamics of the finetooth shark (*Carcharhinus isodon*) in the northeastern Gulf of Mexico. Fishery Bulletin. 101: 281-292.

Carrera-Fernández, M. 2004. Biología reproductiva del tiburón azul *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) en la costa occidental de Baja California Sur,

México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S, México. 82 p.

Casas-Valdez, M. y G. Ponce-Díaz. 1996. Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, Gobierno del Estado de Baja California Sur, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Centro Regional de Investigaciones Pesqueras, Centro de Estudios Tecnológicos del Mar. Volumen I. 317 pp.

Castillo-Géniz, J. L. 1990. Contribución al conocimiento de la biología y pesquería del cazón bironche, *Rhizoprionodon longurio*, (Jordan y Gilbert, 1882) (Elasmobranchii, Carcharhinidae), del sur de Sinaloa. México. Tesis profesional. UNAM. México. 128 p.

Castillo-Géniz, J.L. 1992. Diagnóstico de la Pesquería de Tiburón de México. Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Pesca, México, D.F. 76 pp.

Castillo-Géniz, J.L. 2009. Conservar los tiburones. *Biodiversitas*. 84: 1-5 pp.

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

Castro, J. I. 1983. The sharks of North American waters. Texas A y M. University. Press, College Station, U. S. A. 180 p.

Castro, J. I. y P. J. Wourms. 1993. Reproduction, placentation and embryonic development of the Atlantic sharpnose shark, *Rhizoprionodon terraenovae*. J. Morph. 218: 257-290.

Castro, J.I. 1983. The Sharks of North American Waters. Texas A y M. University Press, College Station, Texas. 179 pp.

Castro, J.L. and J.P. Wourms. 1993. Reproduction, placentation and embryonic development of the Atlantic sharpnose shark, Rhizoprionodon terraenovae. Journal of Morphology 218, 257-280

Chatzispyrou, A. y P. Megalofonou. 2005. Sexual maturity, fecundity and embryonic development of the spiny dogfish, *Squalus acanthias*, in the eastern Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 85, 1155–1161 pp.

Compagno L.J.V., Dando M., Fowler S. 2005. Sharks of the World. Princeton University Press. Princeton and Oxford. USA. 368 pp.

Compagno, J.V.L. 2005. Checklist of Living Chondrichthyes. 503-548 pp. En Reproductive biology and phylogeny of chondricthyes. Shark, Batoids and Chimeras. 2005. Hamlett W.C. Science Publisher. USA.

Compagno, L.J.V. 1984. FAO Species Catalogue, Vol 4: Sharks of the World. FAO Fish. Synop. 4(125): 1-249 pp.

Compagno, L.J.V. 1990 .The evolution and diversity of sharks. In: Samuel H. Gruber (ed.). Discovering sharks. A volume honoring the work of Stewart Springer. American Littoral Society Highlands, New Jersey, U.S.A. pp. 15-22 pp.

Conde-Moreno, M. 2009. Ecología trófica del tiburón bironche, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan y Gilbert, 1882), en dos áreas del Pacífico Mexicano. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz. México 94 pp.

Conrath, C.L. y J.A. Musick. 2012. Reproductive Biology of Elasmobranchs. En *Biology of Sharks and Their Relatives, 2nd edn.* (Carrier, J.C., J.A. Musick y M.R. Heithaus. (eds.), Boca Raton, FL: CRC Press. 291–312 pp.

Corro-Espinosa D, G Andrade-Domínguez y A. Torres. 2015. Análisis preliminar de la edad y crecimiento de la cornuda prieta, *Sphyrna zygaena*, en el Golfo de California. Informe de investigación (Documento interno). Centro Regional de Investigación Pesquera - Mazatlán, inapesca. 17 pp.

Corro-Espinosa D, J.F. Márquez-Farías y A. Muhlia-Melo. 2011. Size at maturity of the Pacific sharpnose shark *Rhizoprionodon longurio* in the Gulf of California, Mexico. Cienc. Mar. 37: 201–214 pp.

Corro-Espinosa D. 2011. Dinámica poblacional del tiburón bironche, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan y Gilbert 1882), en el Golfo de California. Tesis de Doctorado. CIBNOR. La Paz. 152 pp.

Corro-Espinosa D. y A. Hernández-Carvallo. 2002. Tiburones y rayas de Sinaloa. In: Cifuentes-Lemus JL, Gaxiola-López J (eds.), *Atlas de la Biodiversidad de Sinaloa*. El Colegio de Sinaloa, Culiacán, México, pp. 291–299.

Cortés E. 1998. Demographic analysis as an aid in shark stock assessment and management. Fish. Res. 39: 199-208.

Cortés, E. 2000. Life history patterns and correlations in sharks. Reviews in Fisheries Science. 8(4): 299-344.

Curtis, H., N. Barnes, A. Schnek y A. Massarini. 2008. Curtis Biología. (7a Ed). Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.

Daniel, W.W. 2002. Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud. Limusa. México. 915 pp.

Dent, F., y S. Clarke. 2015. State of the Global Market for Shark Products. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. 590 pp.

Díaz-Andrade, M.C., E.J. Galíndez, S. Avaca y S. Estecondo. 2008. Morfohistoquímica de la glándula oviductal de *Sympterygia bonapartii* y *Mustelus schmitti* (Chondrichthyes; Elasmobranchii). International Journal of Morphology. 26(3): 765.

Dood, J. M. 1983. Reproduction in cartilaginous fishes (Chondrichthyes), 31-95. En: Hoar, W. S., D. J. Randall y E. M. Donalson. (Ed.). Fish Physiology. Academic Press, Inc.

Feldheim, K. A., S. H. Gruber, y M. V. Ashley. 2002. The breeding biology of lemon sharks at a tropical nursery lagoon. *Proceedings of the Royal Society of London B*, **269**, 1655--61.

Fishelson, L., y A. Baranes. 1998. Observation on the oman shark, lago omanensis (Triakidae), with emphasis on the morpholocial and cytological changes of the oviduct and yolk sac during gestation. Journal Morphology. 236(3): 151-161.

Francis, M. P., C. Duffy. 2005. Length maturity in three pelagic sharks (*Lamna nasus*, *Isurus oxyrinchus*, and *Prionace glauca*) from New Zealand. Fishery Bulletin. 103: 489-500.

Galíndez, E.J. y S. Estecondo. 2008. Histological remarks of the oviduct and the oviducal gland of *Sympterygia acuta* Garman, 1877. Brazilian Journal of Biology. 68(2): 359-365.

Galíndez, E. J., M. C. Díaz Andrade., A. C. Moya., y S. Estecondo. 2010. Morphological Changes in the Pregnant Uterus of the Smooth Hound Dogfish *Mustelus schmitti* Springer, 1939 (Gatuzo) (Condrichthyes, Triakidae). Microscopic Study and Phylogenetic Reproductive Implications. International Journal of Morphology **28**, 1003-1010.

Galíndez, E.J. 2016. Reproducción de peces cartilaginosos. Una revisión de algunas adaptaciones reproductivas. Revista Ciencias Morfológicas. 18(1): 20-33.

Galíndez, E.J., M.C. Díaz Andrade, A.C. Moya y S. Estecondo. 2010b. Morphological changes in the pregnant uterus of the smooth hound dogfish mustelus schmitti springer, 1939 (Gatuzo) (Condrichthyes, Triakidae). Microscopic study and phylogenetic reproductive implications. Int. Journal Morphology. 28(4): 1003-1010.

Galván-Tirado, C., F. Galván-Magaña, y R.I. Ochoa-Báez. 2014. Reproductive biology of the silky shark *Carcharhinus falciformis* in the southern Mexican Pacific. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 95(03), 561–567.

García-Vázquez, G. 2018. Biología reproductiva del tiburón *Mustelus lunulatus* (Jordan y Gilbert, 1883) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz. México. 114 pp.

Garrier, J.C., J.A. Musick, y M. Heithaus. 2004. Biology of Sharks and their relatives. CRC Press. Londres, 585 pp.

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

Grant, R., W. Dodrill y A. Linley. 1983. Reproduction and embryonic development of the sand tiger shark, *Odontaspis Taurus* (Rafinesque). Fishery Bulletin. 81(2):201-225.

Grogan, E.D. y R. Lund. 2004. The origin and relationships of early chondrichthyes. In: *Biology of Sharks and Their Relatives* (Carrier, J.C., J.A. Musick y M.R.Heithaus. (eds). Boca Raton, FL: CRC press. 3-31 pp.

Hamlett, W. C. 2005. Reproductive Biology and Phylogeny of Chondrichthyes: Sharks, Batoids and Chimaeras. 3ª Ed. Plymouth, UK. *Science Publishers, Inc.,* 575 pp.

Hamlett, W.C. 1987. Comparative morphology of the Elasmobranch placental barrier. Archives of Biological Sciences. **98**, 135-162.

Hamlett, W.C., A.M. Eulitt., R.L. Jarrel, y M.A. Kelly, 1993. Uterogestation and placentation in elasmobranchs. The Journal of Experimental Zoology **266**, 347-367.

Hamlett, W.C., D.P. Knight., F.T.V Pereira., J. Steele., y D.M. Sever. 2005. Oviducal Glands in Chondrichthyans. En: Reproductive Biology and Phylogeny of Chondrichthyes. Sharks, Batoids and Chimaeras. (Ed.Hamlett, W.C.) pp301335 (Ed. Science Publ., USA).

Hamlett, W.C., J.A. Musick., C.K. Hysell., y D.M. Sever. 2002. Uterine epithelial-sperm interaction, endometrial cycle and sperm storage in the terminal zone of the oviducal gland in the placental Smoothhound, *Mustelus canis*. Journal of Experimental Zoology **292**, 129-144.

Hamlett, W.C., L. Fishelson., A. Baranes., C.K. Hysell., y D.M. Sever, 2002a. Ultrastructural analysis of sperm storage and morphology of the oviducal gland in the Oman shark, *Iago omanensis* (Triakidae). Marine Freshwater Research **53**, 601-613

Hamlett, W.C., M.K. Hysell. 1998b. Reproductive accommodations for

gestation in the Atlantic guitarfish, *Rhinobatos lentiginous*, Rhinobatidae. The Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society **114**, 199-208.

Hamlett, W.C., y M.K. Hysell. 1998a. Uterine specializations in Elasmobranchs. The Journal of Experimental Zoology **282**, 438-459.

Hamlett, WC. y T.J. Koob . 1999. Female reproductive system. *In*: Sharks, skates, and rays: the biology of elasmobranch fishes. The Johns Hopkins Univ. Press, U.S.A. 398-443 pp.

Henderson, A. C., J.L. McIlwain. H. S. Al-Oufi., y A. Ambu-Ali. 2006. Reproductive biology of the milk shark Rhizoprionodon acutus and the bigeye houndshark Iago omanensis in the coastal waters of Oman. *Journal of Fish Biology*, *68*, 1662–1678.

Hoffmayer, E. R., J. A. Sulikowski., J. M., Hendon., y G. R. Parsons. 2010. Plasma steroid concentrations of adult male Atlantic sharpnose sharks, Rhizoprionodon terraenovae, in the northern Gulf of Mexico, with notes on potential long term shifts in reproductive timing. *Environmental Biology of Fishes*, *88*(1), 1–7.

Hoffmayer, E. R., W. B. Driggers., L. M. Jones., J. M. Hendon y J. A. Sulikowski. 2013. Variability in the Reproductive Biology of the Atlantic Sharpnose Shark in the Gulf of Mexico. *Marine and Coastal Fisheries*, *5*(1), 139–151.

Holden MJ. 1973. Are long-term sustainable fisheries for elasmobranchs possible? Rapp. P- V Reun. ICES .Journal of Marine Science. 34: 161-168.

Holden, M. y D. Raitt. 1975. Manual de ciencia pesquera, métodos para investigar los recursos y su aplicación. FAO. Roma, FAO Documento Técnico de Pesca, 115 Rev 1: 211 pp.

Holden, M.G. 1974. Problems in the rational exploitation of elasmobranch populations and some suggested solutions. *Sea fisheries research*. 117-137 pp.

Holden, M.J. 1977. Elasmobranchs. In Fish Population Dynamics. Ed. by J. A. Gulland. Wiley-Interscience, London. 187–215 pp.

Holt,W.V., y R.E. Lloyd, 2010. Sperm storage in the vertebrate female reproductive tract: How does it work so well? Theriogenology **73**, 713-722.

Honma, Y., K. Okabe y A. Chiba. 1984. Comparative histology of the Leydig and epigonal organs in some elasmobranchs. Jpn. J. Ichthyol., 31(1): 47-54.

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.

Hueter, R.E., J. Tyminski, G.M. Cailliet, J. Bizzarro, W. Smith, J.F. Márquez-Farías, J.L. Castillo-Géniz y C. Villavicencio-Garayzar. 2002. Artisanal Fisheries for Sharks, Skates and Rays in the Gulf of California. I Foro Científico de Pesca Ribereña. Guaymas, Sonora. 44 pp.

Instituto Nacional de Pesca. 2000. Sustentabilidad y Pesca Responsable en México: evaluación y manejo. Informe. México.

Isla-Isla, A.Y. 2013. Biología reproductiva y desarrollo embrionario de *Centroscyllium granulatum* Günther, 1887. (Chondrichthyes, Etmopteridae) en la región de los Ríos. Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile. Chile.

Kirkwood, G. P. y T. I. Walker. 1986. Gill net mesh selectivities for gummy shark, *Mustelus antarcticus*, Günter, taken in Southeastern Australian waters. Australian Journal of Marine and Freshwater Research. 37: 689 697.

Klimley, A. P. 1987. The determinants of sexual segregation in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*. *Environmental Biology of Fishes*, **18**, 27--40.

Lessa R, F.M. Santana, Da S., Z. de Almeida. 2009. Age and growth of the Brazilian sharpnose shark, *Rhizoprionodon lalandii* and Caribbean sharpnose shark, *R. porosus* (Elasmobranchii, Carcharhinidae) on the northern coast of Brazil (Maranhão). Pan-American Journal of Aquatic Sciences. 4 (4): 532 544.

Lluch-Cota, S.E., E.A. Aragón-Noriega, F. Arreguín-Sánchez, D. Aurioles-Gamboa, J.J. Bautista-Romero, R.C. Brusca, R. Cervantes-Duarte, R. Cortés-Altamirano, P. Del Monte-Luna, A. Esquivel-Herrera, G. Fernández, M.E. Hendrickx, S. Hernández-Vázquez, H. Herrera Cervantes, M. Kahru, M. Lavín, D. Lluch-Belda, D.B. Lluch-Cota, J. López-Martínez, S.G. Marinote, M.O. Nevárez-Martínez, S. Ortega-García, E. Palacios-Castro, A. Parés-Sierra, G. Ponce-Díaz, M. Ramírez-Rodríguez, C.A. Salinas-Zavala, R.A. Schwartzlose y A.P. Sierra-Beltrán. 2007. The Gulf of California: review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress Oceanography*. 73, 1–26 pp.

Loefer, J. K. y G. R. Sedberry. 2002. Life history of the Atlantic sharpnose shark (*Rhizoprionodon terraenovae*) (Richardson, 1836) off the southeastern United States. Fishery Bulletin. 101:75-88.

López-García L.I. 2006. Edad y crecimiento del tiburón bironche, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan y Gilbert, 1882) en Mazatlán, Sinaloa. Tesis profesional. UNAM. México. 53 pp.

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

Main, M. B., F. W. Weckerly., y V.C. Bleich. 1996. Sexual segregation in ungulates: new directions for research. *Journal of Mammalogy*, **77**, 449--61.

Mandelman J.W., A. M. Cicia., G. W. Ingram., W. B. Driggers., K. M. Coutre., J. A. Sulikowski. 2013. Short-term post-release mortality of skates (family Rajidae) discarded in a western North Atlantic commercial otter trawl fishery. Fisheries Research 139:76–84.

Márquez-Farías J.F., D. Corro-Espinosa, y L. Castillo-Géniz. 2005. Observations on Biology of *Rhizoprionodon longurio* (Jordan y Gilbert, 1882) captured in Southern Sinaloa, Mexico. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* 55(1): 107-114 pp.

Márquez-Farías, J. F. 2001. Tiburones del Golfo de California. En: Cisneros Mata, M. A. y A. J. Díaz de León (eds.), Sustentabilidad y Pesca responsable en México, 1999-2000. Instituto Nacional de la Pesca-SAGARPA.

Marquéz-Farías, J. F., D. Corro-Espinosa y J. L. Castillo-Géniz. 2004. Observations on the Biology of the Pacific Sharpnose Shark (*Rhizoprionodon longurio*, Jordan and Gilbert, 1882), Captured in Southern Sinaloa, Mexico. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*. 35:1-8.

Mejía-Salazar L.A. 2007. Biología reproductiva del cazón bironche, *Rhizoprionodo longurio* (Jordan y Gilbert 1882) en el Pacífico mexicano. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz. 67 pp.

Méndez-Tenorio, F.J. 2001. Análisis biológico pesquero del camarón *Litopenaeus stylirostris* y *Farfantepenaeus californiensis* en la parte central y sur del Golfo de California durante las temporadas de pesca de 1994/1995 y 1995/1996. Tesis de licenciatura. IPN, México. 82 pp.

Mendoza-Arroyo J. M. 2003. Reseña de "La compañía El Boleo: su impacto en la municipalidad de Mulegé 1885-1918" de Edith González Cruz Tzintzun. Revista de Estudios Históricos. #37: 272-276 pp.

Mollet, H., J. Cliff, H.L. Pratt Jr. y J. Stevens. 2000. Reproductive biology of the female shortfin mako, *Isurus oxyrinchus* rafinesque, 1810, with comments on the embryonic development of Lamnoids. *Fishery Bulletin*. 98(2): 299-318 pp.

Motta, F. S., O. B. F. Gadig., R. C. Namora., y F. M. S. Braga. 2005. Size and sex compositions, length-weight relationship, and occurrence of the Brazilian sharpnose shark, *Rhizoprionodon lalandii*, caught by artisanal fishery from southeastern Brazil. *Fisheries Research*, *74*, 116–126.

Motta, F. S., R. C. Namora., O.B.F. Gadig., y F. M. S. Braga. 2007. Reproductive biology of the Brazilian sharpnose shark (Rhizoprionodon lalandii) from southeastern Brazil. *ICES Journal of Marine Science*, *64*(9), 1829–1835.

Motta, F. S; O. B. F. Gadig; R. C. Namora y F. M. S. Braga. 2005. Size and sex compositions, length–weight relationship, and occurrence of the Brazilian sharpnose shark, *Rhizoprionodon lalandii*, caught by artisanal fishery from southeastern Brazil. Fisheries Research, 74:116-126.

Muñoz-Chápuli, R. 1984. Ethologie de la reproduction chez quelques requins de l'Atlantique ord-Est. Cybium, 8:1-14.

Muratalla-Torres. 2008. Hábitos alimenticios del tiburón bironche *Rhizoprionodon longurio* (Jordan y Gilbert, 1842) en la costa de Mazatlán, Sinaloa. Tesis de licenciatura. UAM. México. 70 pp.

Musick, J.A. 1999. Criteria to Define Extinction Risk in Marine Fishes. *American Fisheries Society* Initiate Fish. 24 (12), 6–12 pp.

Musick, J.A. y J.K. Ellis. 2005. Reproductive evolution of chondrichthyans. *En:* Hamlett, W. C. (Ed). Reproductive Biology and Phylogeny of Chondrichthyes: Sharks, Batoids, and Chimaeras. *Science Publishers, Inc.* 3: 45-79 pp

Myrberg, A. A. y S.H. Gruber. 1974. The behaviour of the bonnethead, *Sphyrna tiburo*. *Copeia*, **1974**, 358--74.

Olsen, A.M. 1954. The biology, migration and growth rate of the school shark, *Galeorhinus australis* (Macleay) (Carcharhinidae) in southeastern Australian waters. Australian Journal of Marine and Freshwater Research. 5(3): 353-410 pp.

Otake, T. 1990. Classification of reproductive modes in sharks with comments on female reproductive tissue and structures. *NOAA Technical Report NMFS*. 93: 111- 130 pp.

Pankhurst, N. W. (2008). Gonadal steroids: functions and patterns of change. In M. J. Rocha, A. Arukwe, & B. G. Kapoor (Eds.), *Fish Reproduction: Cytology, Biology and Ecology* (pp. 67–111). Science Publisher Inc.

Parsons, G. R. 1983. The Reproductive Biology of the Atlantic Sharpnose shark, Rizoprionodon terraenovae (Richardson). *Fishery Bulletin*, *81*(1), 61–73.

Parsons, G. R., y E. R. Hoffmayer. 2005. Seasonal Changes in the Distribution and Relative Abundance of the Atlantic Sharpnose Shark Rhizoprionodon Terraenovae in the North Central Gulf of Mexico. *Copeia*, *4*, 914–920.

Parsons, G. R., y H. J. Grier. 1992. Seasonal changes in sharks testicular structure and spermatogenesis. Journal of Experimental Zoology. 261:173-184.

Pérez-Jiménez, J.C., 0. Sosa-Nishizaki, E. Furlong-Estrada, D. Corro-Espinoza, A. Venegas-Herrera y 0.V. Barragán-Cuencas. 2005. Artisanal shark fishery at "Tres Marías" islands and Isabel Island in the central Mexican Pacífic. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* 35:333-343 pp.

Pollom, R., Avalos, C., Bizzarro, J., Burgos-Vázquez, M.I., Cevallos, A., Espinoza, M., González, A., Mejía-Falla, P.A., Morales-Saldaña, J.M., Navia, A.F., Pérez Jiménez, J.C., Sosa-Nishizaki, O. & Velez-Zuazo, X. 2020. Rhizoprionodon longurio. The IUCN Red List of Threatened Species 2020:e.T161662A124524022. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T161662A124524022.en. Downloaded on 23 March 2021.

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. y J.I. Castro. 1990. Shark reproduction: Parental investment and limited fisheries, an overview. In: Discovering sharks. 1990. S H. Gruber (ed.) *American Littoral Society, Highlands*, N. J. pp. 56-60 pp.

Pratt, H. L. Jr. 1979. Reproduction in the blue shark *Prionace glauca*. *Fishery Bulletin*. Vol. 77 No. 2. 445-470 pp.

Punt, A.E., T.I. Walker, B.L. Taylor y F. Pribac. 2000. Standardization of catch and effort data in a spatially-structured shark fishery. *Fisheries Research*. 45 (2), 129–145 pp.

Ramírez-Amaro, S., D. Cartamil, F. Galván-Magaña, G. González-Barba, J. B. Graham, M. Carrera-Fernández, O. Escobar-Sánchez, O. Sosa-Nishizaki y A. Rochin-Alamillo. 2013. The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California Sur, Mexico, management implications. *Scientia Marina*, 77(3): 473-487 pp.

Robertson, D.R. y G.R. Allen. 2002. Shorefishes of the tropical eastern Pacific: an information system. Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Panamá.

Romero-Gil, J. M. (1991). El Boleo, Santa Rosalía, Baja California Sur: un pueblo que se negó a morir, 1885-1954. Universidad de Sonora. México. 434 pp.

Ruckstuhl, K. E. y P. Neuhaus. 2000. Sexual segregation in ungulates: a new approach. *Behaviour*, **137**, 361--77.

Salinas-Zavala, C.A., D.B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez, D. Lluch-Belda. 1992. Anomalías de precipitación de Baja California Sur durante 1990. Posibles causas. Atmósfera, 5:79-93.

Saucedo-Barron, C. J., G. C. Uribe, J. G. Martínez-Adrian, S. Burgos Zazueta, J. G. Chacon-Cortez y J. Espinoza-Fierro. 1982. Contribución al estudio de la pesquería del tiburón en la zona sur del estado de Sinaloa. Memoria del servicio social. UAS. México.

Saucedo-Barron, C. J., G. C. Uribe, J. G. Martínez-Adrian, S. Burgos-Zazueta, J. G. Chacon-Cortez y J. Espinoza-Fierro. 1982. Contribución al estudio de la pesquería del tiburón en la zona sur del estado de Sinaloa. Memoria del servicio social. UAS. México.

Saucedo-Barrón, C.J. 1982. El tiburón: contribución al estudio de la pesquería en la zona sur de Sinaloa, México. Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. Época 1 (4): 14-29 pp.

Shaaban, A. M., M. M. Sabrah , M. A. S. Marie., y A. I. Dakrory. 2018. Reproductive biology of the milk shark Rhizoprionodon acutus (Rüppell, 1837) from the Gulf of Suez, Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, *44*(1), 37–43.

Sherman, K., 1994. Sustainability, biomass yields, and health of coastal ecosystems: an ecological perspective. *Marine Ecology Progress Series*. 112 (3), 277 301 pp.

Shoou-Jeng, J., C. H. Che-Tsung, L. Hsian-Hua, L. Kwang-Ming. 2007. Age, growth, and reproduction of silky sharks, *Carcharhinus falciformis*, in northeastern Taiwan waters. Fis. Res. 10: 78-85.

Sidders, M.A., L.L. Tamini., J.E. Perez., y G.E. Chiaramonte. 2005. Biología reproductiva del gatuzo *Mustelus schmitti* Springer, 1939 (Chondrichthyes, Triakidae) en el área de Puerto Quequén, provincia de Buenos Aires. Revista del Museo Argentino Ciencias Naturales **7**, 89-101.

Simpfendorfer, C. A. 1992. Reproductive strategy of Australian sharpnose shark, *Rhizoprionodon taylori* (Elasmobranchii: Carcharhinidae), from Cleveland Bay, northern Queensland. Australian Journal of Marine and Freshwater Research. 43:67-75.

Sims, D. W. 2003. Tractable models for testing theories about natural strategies: foraging behaviour and habitat selection of free-ranging sharks. *Journal of Fish Biology*, **63** (Supplement A), 53--73.

Skomal, G.B., y J. W. Mandelman. 2012. The physiological response to anthropogenic stressors in marine elasmobranch fishes: a review with a

focus on the secondary response. Comparative Biochemistry and Physiology-A 162:146–155.

Sosa-Nishizaki, O. 2003. ¿A quién conservo, a Tiburcio o a Tiburón? La Jornada Ecológica. Lunes 27 de enero de 2003. Edición especial. http://www.jornada.unam.mx/2003/01/27/eco-cara.html

Soto-López, k., R.I. Ochoa-Báez, J. Tovar-Ávila y F. Galván-Magaña. 20018. Reproductive biology of the Brown smooth-hound shark, *Mustelus henlei* (Condrichthyes: Triakidae) haversted off northwestern Mexico based on macroscopic and histological analyses. Ciencias Marinas., 44(2): 125-139.

Springer, S. 1960. Natural history of the sandbar shark *Eulamia milberti.* U. S. Fish and Wildlife Service, F. Bulletin. 61:1-38 pp.

Springer, S. 1967. Social organization of shark populations. In *Sharks, Skates and Rays*, eds. P. W. Gilbert, R. F. Mathewson and D. P. Rall. Baltimore MD: Johns Hopkins University Press, pp. 149--74.

Stevens, J.D., R. Bonfil, R, N.K. Dulvy, y P.A. Walker. 2000. The effects of fishing on sharks, rays, chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. ICES J. Marine Science 57, 476–494 pp.

Storrie, M.T, T.I. Walker, L. Laurenson y W. Hamlett. 2009. Gestational morphogenesis of the uterine epithelium of the gummy shark (*Mustelus antarcticus*). Journal Morphology. 270(3): 319-336.

Storrie, M.T., T.I. Walker., L.J. Laurenson., y W.C. Hamlett. 2009. Gestational Morphogenesis of the Uterine Epithelium of the Gummy Shark (*Mustelus antarticus*). Journal of Morphology, **270**: 319-336.

Sunyem, P.S. y C. M. Vooren. 1997. On cloacal gestation in angel sharks from southern Brazil. Journal of Fish Biology. 50(1): 86-95.

Teshima, K. 1975. Studies on sharks-VIII. Placentation in *Mustelus griseus*. Japanese Journal of Ichthyology **22**, 7-12.

Thorpe T, C. F. Jensen., M. L. Mosser. 2004. Relative abundance and reproductive characteristics of sharks in southeastern North Carolina coastal waters. Bulletin of Marine Science. 74 (1): 3-20.

Torres-Herrera M.R. y J. Tovar-Ávila. 2014. Variación temporal de la captura de tiburón en las islas y costa central de Nayarit, México, con base en los registros oficiales de desembarque. *Hidrobiológica* 24 (2): 99-107 pp.

Torres-Huerta A.M, C. Villavicencio-Garayzar y D. Corro-Espinoza. 2008. Biología reproductiva de la cornuda común *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith) (Sphyrnidae) en el golfo de California. *Hidrobiológica* 18: 227–238 pp.

Tovar-Ávila J., M.E. Zárate-Becerra, J.L. Patiño-Valencia, Y. Green-Ruíz, P. Toledo-Díaz Rubín, F. J. De la Cruz-González, M. R. Torres-Herrera, B. Espinosa-Partida, P. A. Ulloa-Ramírez, E. Furlong-Estrada, L. F. Mondragón-Sánchez, D. Preciado-Robles Gil, J.L. Hernández-Corona y M. Braccini. 2011. Análisis integral de la pesquería de tiburón en Nayarit. Informe de Investigación. INAPESCA, México. 86 pp.

Trasviña-Carrillo, L.D. 2012. Isótopos estables de δ18O y δ13C del calamar gigante *Dosidicus gigas* (Orbigny, 1835) capturado en Santa Rosalía, Baja California Sur, 58 México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S., México, 65 pp.

Trejo-Ramírez, A. 2017. Caracterización de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México, como una posible área de crianza del tiburón bironche, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan y Gilbert, 1882). Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz. México. 132 pp.

Villavicencio-Garayzar, C. J., E. Mariano-Meléndez, C. Downton-Hoffmann. 1997. Tiburones capturados en La Bahía de La Paz, B. C. S., 189-200. En: Urbán Ramírez, J. y M. Ramírez-Rodríguez (Eds.). La Bahía de La Paz. Investigación y conservación. UABCS-CICIMAR-SCRIPPS., México. 345 p.

Walker, T. 1992. Fishery simulation model for sharks applied to the gummy shark, *Mustelus antarticus* Gunther, from southern Australian waters. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*.43: 195–212 pp.

Walker, T. I. 2007. Spatial and temporal variation in the reproductive biology of gummy shark *Mustelus antarcticus* (Condrichthyes: Triakidae) haversted off southern Australia Marine and Freshwater Research. 58 (1): 67-97.

Walker, T.I. 1998. Can shark resources be harvested sustainably? A question revisited with a review of shark fisheries. *Marine and Freshwater Research*, 49(7): 553–572 pp.

Walker, T.I. 2005. Reproduction in fisheries science. 81-127. In: W.C. Hamlett (Ed.), Reproductive Biology and Phylogeny of Chondrichthies: sharks. batoids and chimaeras. Enfield, NH: Science Publishers incorporated, Vol. 3. USA.

Ward-Paige C.A., D.M. Keith., B. Worm., H. K. Lotze. 2012. Recovery potential and conservation options for elasmobranchs. Journal of Fish Biology 80:1844–1869.

Wheeler, Carolyn R., R. Gervais, Connor., S. Johnson, Martijn., Vance, Shelby., Rosa, Rui., J.M. Mandelman., J. L. Rummer. (2020). *Anthropogenic stressors influence reproduction and development in elasmobranch fishes. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 30(2), 373–386.*

White, W.T., M.E. Platell., y I.C. Potter. 2001. Relationship between reproductive biology and age composition and growth in *Urolophus lobatus* (Batoidea: Urolophidae). Marine Biology **138**, 135-147.

Wourms, J.P. 1977. Reproduction and development in chondrichthyan fishes. American Zoologist. 17(2): 379-410.

Wourms, J.P. 1981. Viviparity: The maternal-Fetal Relationship in Fishes. *American Zoologists*, 21: 473-515 pp.

Yokota L. y R. Lessa. 2006. A nursery área for sharks and rays in Northeastern Brazil. Environmental Biology of Fishes. 75: 349-360.