



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**ASPECTOS REPRODUCTIVOS DEL TIBURÓN CORNUDO,
Heterodontus francisci (Girard, 1855) EN BAHÍA
TORTUGAS, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO.**

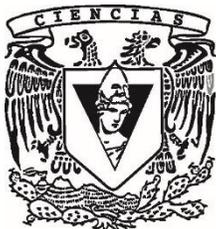
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

ACEVES GALINDO LÓPEZ ILSE MARIANA



**DIRECTOR DE TESIS:
Dr. Felipe Galván Magaña**

2017

Hoja de Datos del Jurado.

- 1. Datos del alumno**
Apellido paterno Aceves Galindo
Apellido materno López
Nombre (s) Ilse Mariana
Teléfono 47463810
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Carrera Biología
Número de cuenta 307303088
- 2. Datos del tutor**
Grado Doctor
Nombre(s) Felipe
Apellido paterno Galván
Apellido materno Magaña
- 3. Datos del sinodal 1**
Grado Doctor
Nombre(s) Francisco Xavier
Apellido paterno Chiappa
Apellido materno Carrara
- 4. Datos del sinodal 2**
Grado Maestra en Ciencias
Nombre(s) Katherin
Apellido paterno Soto
Apellido materno López
- 5. Datos del sinodal 3**
Grado Doctor
Nombre(s) Luis Fernando
Apellido paterno Del Moral
Apellido materno Flores
- 6. Datos del sinodal 4**
Grado Maestro en Ciencias
Nombre(s) Oscar Uriel
Apellido paterno Mendoza
Apellido materno Vargas
- 7. Datos del trabajo escrito**
Título Aspectos reproductivos del tiburón cornudo
Heterodontus francisci
(Girard, 1855) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, La Paz, México.
Número de páginas 76
Año 2017

Dedicatoria

Miguel Aceves, el mejor hombre que conozco, quien con su infinita cultura, conocimientos y pasión por la vida me enseñó la importancia de los sueños y de nunca rendirme hasta lograrlos. Papi, te amo mucho, gracias por tu ejemplo, estoy muy agradecida de que seas mi padre. Cada línea de este trabajo pretende hacerte sentir orgulloso.

Lorena López, la mujer más importante en mi vida, que me enseñó a nunca conformarme, a seguir mi pasión. Que con su trabajo y conocimientos me impulsó a prepararme tanto como me fuera posible. Quien me enseñó la importancia de la disciplina y responsabilidad. Mami, te amo mucho, gracias por tu ejemplo.

Lorena Aceves, mi compañera durante toda mi vida, amiga y hermana, gracias por tantos momentos compartidos, cada uno me ayudó a ser la persona que soy. Gracias por toda la confianza que siempre mostraste en mí. Te amo mucho y espero que toda la vida te sientas orgullosa de ser mi hermana.

A mi abuelita Alma, siempre te llevaré en mi corazón, gracias por tu ejemplo en todos los aspectos de la vida. Fuiste una mujer extraordinaria y siempre estaré agradecida con la vida por todo lo que he aprendido de ti.

A mi abuelito Rodolfo, hombre inteligente, sabio y bueno, tu ejemplo me ha acompañado toda la vida y ha influido en mí. Me enseñó a ser honesta, responsable y a nunca rendirme. Gracias abuelito por los años que compartimos, siempre estarás en mi corazón.

A mis amigos, Alejandra Flores, Cristóbal Hernández, Omar Hidalgo, Luis Felipe, Iver, Raúl Antonio, Gerardo Romero, Emmanuel Sandoval, cada uno de ustedes me acompañó durante todo el proceso de mi educación, su compañía y ayuda me fue indispensable para llegar hasta el día de hoy. Los quiero mucho.

A Daniel Martínez, gracias por inspirarme con tu ejemplo, por acompañarme en esta aventura y por ayudarme siempre. Fue un gran regalo que nuestros caminos se cruzaran.

Dorian grey, tu compañía y amor han sido lo mejor de mi vida. Gracias por acompañarme todas las tardes y días en los que escribí e investigué este proyecto.

A ti, (D) por haberme dado todas las oportunidades en mi vida, la conexión que siento hacia ti es indescriptible. Gracias por toda la ayuda.

“If you dream it, you can do it” Walt Disney

Agradecimientos.

Al Doctor Felipe Galván Magaña, sin su ayuda no hubiera sido posible este trabajo. Gracias por aceptarme en el proyecto de Rayas y Tiburones de México y gracias por ser una gran persona y un gran ejemplo para todos los científicos.

A la M.C Katherin Soto López, gracias por toda la paciencia y guía para este trabajo, tu ayuda fue trascendental, gracias por todas las enseñanzas.

Al Doctor Francisco Xavier Chiappa Carrara por toda su ayuda y por formar parte de mi comité.

Al comité:

Dr. Luis Fernando Del Moral,

M.C Oscar Uriel Mendoza,

Y un agradecimiento muy especial a:

M.C Nathaly Bolaños,

Gracias a todos por sus valiosas aportaciones para este trabajo, sus conocimientos y su paciencia, todos ustedes son un gran ejemplo para mí.

A la Universidad Nacional Autónoma De México, mi segunda casa y la responsable de mi formación, gracias por brindarme la oportunidad de estudiar la gran pasión de mi vida.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, por facilitarme las instalaciones de laboratorio y material para la realización de este trabajo.

A los pescadores de Bahía Tortugas, Baja California Sur, porque sin su ayuda, la investigación de tiburones sería imposible. Su trabajo contribuye más allá de lo que se imaginan.

A Rony Hamui por tu infinito apoyo, sin él, esto sería imposible.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | II |
| GLOSARIO | IV |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| Generalidades..... | 1 |
| Reproducción. | 2 |
| Clasificación taxonómica y biología de la especie. (Girard, 1855)..... | 6 |
| ANTECEDENTES..... | 10 |
| JUSTIFICACIÓN..... | 12 |
| OBJETIVO GENERAL. | 14 |
| OBJETIVOS PARTICULARES. | 14 |
| ÁREA DE ESTUDIO..... | 15 |
| MATERIAL Y MÉTODO | 17 |
| Captura..... | 17 |
| Análisis de las muestras. | 18 |
| Análisis estadísticos..... | 19 |
| RESULTADOS. | 22 |
| • Composición de las tallas. | 22 |
| • Distribución mensual de los organismos. | 26 |
| • Proporción de sexos. | 29 |
| • Tallas de madurez. | 31 |
| • Descripción macroscópica del aparato reproductor..... | 37 |
| DISCUSIÓN..... | 51 |
| ➤ Composición de las tallas. | 51 |
| • Distribución temporal de los organismos. | 53 |
| • Proporción de sexos. | 54 |
| • Descripción macroscópica del aparato reproductor..... | 55 |
| • Tallas de madurez | 58 |
| CONCLUSIONES | 60 |
| LITERATURA CITADA. | 62 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Anatomía externa general de un tiburón. (Tomado de: Guisande et al, 2013)..... | 1 |
| Figura 2. Sistema reproductor en machos tomado de Carrier et al., (2012)..... | 3 |
| Figura 3. Anatomía del sistema reproductor en hembras de elasmobranquios. Tomado de Carrier et al, (2012). | 4 |
| Figura 4. Tipos de ovarios en elasmobranquios (Tomado de Pratt, 1988). | 5 |
| Figura 5. Fotografía de <i>H. francisci</i> (por Gotshall, D.W. , tomado de la base de datos de fishbase.org). | 7 |
| Figura 6. Distribución de <i>Heterodontus francisci</i> . Las zonas en color rojo indican alta presencia de la especie. (Tomado de la base de datos fishbase.org). | 8 |
| Figura 7. Zona de estudio. Bahía Tortugas, Bala California Sur. Tomado de: Morales et al, 2011. | 15 |
| Figura 8. Composición de tallas para machos y hembras de <i>H. francisci</i> con respecto a la LT a lo largo del muestreo..... | 23 |
| Figura 9. Composición de tallas máximas, mínimas y promedio durante los meses de muestreo según la LT para ambos sexos. | 24 |
| Figura 10. Composición de tallas para machos de <i>Heterodontus francisci</i> | 25 |
| Figura 11. Composición de tallas para hembras de <i>H. francisci</i> | 26 |
| Figura 12. Distribución temporal de machos y hembras. | 27 |
| Figura 13. Distribución de los estadios de desarrollo en los meses de muestreo para machos de <i>H. francisci</i> | 28 |
| Figura 14. Distribución temporal por estadios de maduración para hembras <i>Heterodontus francisci</i> | 29 |
| Figura 15. Proporción de sexos en los meses de muestreo de <i>Heterodontus francisci</i> | 30 |
| Figura 16. Proporción de sexos según el estadio de madurez para hembras y machos de <i>Heterodontus francisci</i> | 31 |
| Figura 17. Relación lineal entre la glándula oviducal con respecto a la LT | 32 |
| Figura 18. Talla L50 para hembras de <i>H. francisci</i> | 33 |
| Figura 19. Relación entre el gonopterigio y la LT para los machos de <i>Heterodontus francisci</i> | 34 |
| Figura 20. Regresión lineal entre longitud del testículo y LT para machos de <i>Heterodontus francisci</i> | 35 |
| Figura 21. Regresión lineal para el ancho del testículo y la LT para machos de <i>H. francisci</i> | 36 |
| Figura 23. Testículo de un macho inmaduro de <i>H. francisci</i> | 38 |
| Figura 24. Testículo de un organismo inmaduro de <i>H. francisci</i> | 39 |
| Figura 25. Testículo de un macho en maduración de <i>Heterodontus francisci</i> | 40 |
| Figura 26. Testículo de macho en maduración de <i>Heterodontus francisci</i> | 41 |
| Figura 27. Testículos de un organismo maduro de <i>H. francisci</i> | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 28. Se muestran los tres estadios de maduración en testículos de machos de H. francisci, A) Testículo de un organismo maduro, B) Testículo de un organismo en maduración C) testículo de un organismo inmaduro..... | 44 |
| Figura 29. Aparato reproductor de una hembra inmadura de H. francisci..... | 45 |
| Figura 30. Aparato reproductor de una hembra en maduración de H. francisci..... | 46 |
| Figura 31. Hembra madura de Heterodontus francisci. | 47 |
| Figura 32. Diferencias en los tamaños y coloraciones de ovocitos de hembras de Heterodontus francisci..... | 48 |
| Figura 33. Diámetros promedio de los ovocitos de las hembras de Heterodontus francisci. | 49 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Medidas realizadas en las gónadas de hembras y machos de Heterodontus francisci. | 18 |
| Tabla 2. Características morfológicas de maduración para machos y hembras. (Tomado de Grijalba-Benedeck y colaboradores 2008)..... | 19 |
| Tabla 3. Tallas máximas y mínimas para ambos sexos de Heterodontus francisci. | 22 |
| Tabla 4. Características a observar en los distintos individuos inmaduros, en maduración y maduros..... | 43 |
| Tabla 5. Características morfológicas en los distintos estadios de maduración para hembras de H. francisci. | 50 |

GLOSARIO

Captura incidental: es la parte de la captura no intencionada realizada por el pescador y que, por lo tanto, no es parte de su objetivo de pesca. (Eayrs, 2007)

Esfuerzo Pesquero: es la cantidad de trabajo, medido a través de parámetros económicos que puede desarrollar una unidad pesquera en determinado tiempo. (Rochin, 2014)

Espermatogénesis: proceso de formación de espermatozoides y las células de Leydig que segregan hormonas sexuales masculinas como la testosterona. (Caravaca *et al.*, 2005)

Glándula oviducal: órgano que forma parte del sistema reproductor en hembras de la clase Chondrichthyes. Está compuesta de diferentes zonas (papillary, club, baffle y zonas terminales) con diferentes funciones dentro de la reproducción, producen la formación y encapsulación del huevo y almacenan el esperma. (Norris y López, 2011)

Gonopterigio: estructura perteneciente al aparato reproductor en machos; apéndices copuladores externos derivados de las aletas pélvicas que sirven para la cópula. (Pratt, 1988)

Longitud Total: medida que va desde la punta del hocico hasta la punta de la aleta caudal en su posición natural. (Mourato, *et al.*, 2010)

Ovario: estructura del aparato reproductor en hembras. Puede ser interno o externo. En algunas especies puede estar ausente o vestigial alguno de los dos ovarios. Los ovarios generan las células germinales e intervienen en la secreción y síntesis de las hormonas relacionadas con la reproducción. (Carrier *et al.*, 2012)

Oviparidad: tipo de reproducción en la que los huevos fertilizados son dejados por la madre en el medio y se abren fuera del cuerpo de ésta. (Vázquez *et al.*, 2004)

Ovocito: célula sexual o reproductora de hembras en crecimiento. (Soto, 2014)

Ovogénesis: proceso de diferenciación de la célula sexual femenina. En donde se desarrollan el ovocito y las células foliculares, así como el tejido conjuntivo que rodea al folículo, el cual organiza a las tecas donde se localizan las células esteroideogénicas que intervendrán en el equilibrio hormonal que controla la ovogénesis. (Estrada y Uribe, 2002)

Veda: periodo durante el cual se prohíbe la captura de determinadas especies acuáticas con el objetivo de proteger sus poblaciones en ciertas zonas geográficas. (Rochin, 2014)

Vitelo: conjunto de sustancias nutritivas formadas de lipoproteínas y fosfoproteínas y, organizadas en glóbulos, vesículas y plaquetas vitelinas. El vitelo será utilizado como sustancia alimenticia en el desarrollo embrionario. (Estrada y Uribe, 2002)

Desarrollo Asincrónico: en los ovarios se distinguen varios estadios de desarrollo de los ovocitos de forma simultánea. (Soto, 2014)

Espermatozoide: gameto masculino que presenta movilidad. (Soto, 2014)

RESUMEN

Heterodontus francisci es una especie de elasmobranquios de la que se sabe poco acerca de su información biológica, como lo es su reproducción. Para esta especie, la pesca es casi siempre de tipo incidental, los pescadores la aprovechan, por lo que, sus poblaciones podrían estar siendo mermadas. Se analizaron 237 individuos, de los cuales, 143 fueron machos y 94 hembras. La proporción sexual fue de 0.65 hembras por un macho (0.65H:1M) existiendo diferencias significativas en la proporción de sexos. Los machos presentaron tallas de entre los 39cm a los 92cm de LT y para las hembras fue de entre los 41cm a los 89cm de LT, aunque, las hembras dominaron en longitudes mayores a los 75cm. A partir de la morfología de las gónadas, se encontraron tres estadios de madurez sexual; inmaduros, en maduración y maduros. No se encontraron huevos ni embriones. Se identificó al ovario derecho como el funcional y los ovocitos presentaron desarrollo de tipo asincrónico. Ambos testículos fueron funcionales y no se encontró diferencias significativas en su tamaño. La talla promedio de la mediana madurez en hembras fue de 74.52cm de LT y en machos fue de 64.08cm de LT. Este estudio aporta información sobre estos aspectos reproductivos que pueden dar una referencia para generar un manejo más adecuado de la pesquería de esta especie.

INTRODUCCIÓN

Generalidades.

Los tiburones junto con las rayas, pertenecen a la clase Chondrichthyes. Los peces de esta clase presentan un esqueleto cartilaginoso, no tienen pulmones ni vejiga gaseosa (Bussing, 2002).

Esta clase se divide en dos subclases, Holocephalli (quimeras), y Elasmobranchii (rayas y tiburones). Se componen de alrededor de 1100 especies de elasmobranquios (Vanuccini, 1999) y la subclase Holocephali por alrededor de 30 especies (Hamlett, 2005).

La morfología y anatomía de los tiburones y batoideos (rayas y mantas) son el resultado de millones de años de evolución. Su cuerpo está dividido en tres partes: la cabeza (desde el morro hasta las branquias), el cuerpo o tronco (desde la cintura pélvica hasta la cloaca) y la aleta caudal (desde el pedúnculo caudal hasta la aleta caudal) (Guisande *et al*, 2013) (Fig. 1).

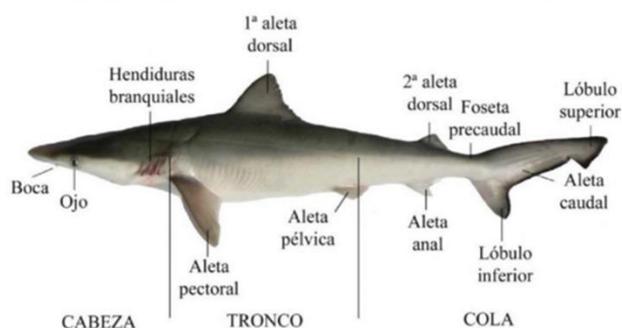


Figura 1. Anatomía externa general de un tiburón. (Tomado de: Guisande *et al*, 2013)

Reproducción.

La fecundación en los condrictios es interna. Los modos reproductivos de los elasmobranquios, según la literatura, se dividen en dos categorías: vivíparos (desarrollo interno) y ovíparos (desarrollo externo), esta última condición solamente se encuentra en los Rajiformes y dos familias de tiburones (Heterodontidae y Scyliorhinidae). (Powter y Gladstone, 2008). También se pueden dividir con base en el tipo de nutrición del embrión: lecitotrófico (donde el desarrollo del embrión es por medio del saco vitelino) o matotrófico (donde la alimentación del embrión es por medio de la conexión directa con la madre) (Awruch, 2013) Las especies ovíparas ponen huevos envueltos en unas cápsulas de material permeable al agua, donde se desarrollan los embriones completamente sin vínculo con el cuerpo materno (Guisande *et al*, 2013).

- Sistema reproductor en machos:

Se comprende de testículos, ductos deferentes, epidídimo, ductos eferentes, vesícula seminal. El esperma viaja a través de los ductos eferentes hacia el epidídimo, que continúa hasta los ductos deferentes y vesícula seminal. Los machos poseen un par de órganos copuladores en forma cilíndrica (gonopterigio) formados a partir de una modificación de las aletas pélvicas. (Guisande *et al*, 2013). Por los cuales, se transfiere el esperma del macho a la hembra. (Carrier *et al*, 2012). (Fig 2).

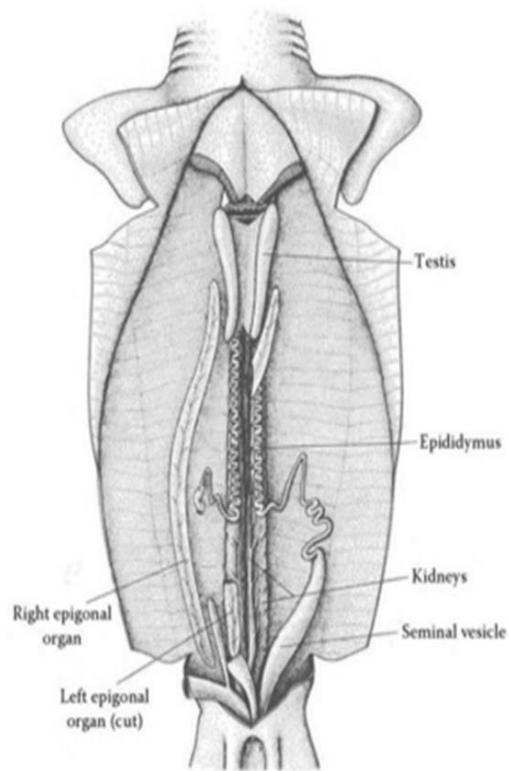


Figura 2. Sistema reproductor en machos tomado de Carrier et al., (2012).

- Sistema reproductor en hembras:

Se comprende de dos úteros y de dos ovarios, los cuales son pareados sin embargo, existen casos en los que sólo uno es funcional, al igual que los oviductos y dos glándulas oviducuales (Carrier *et al*, 2012). (Fig 3).

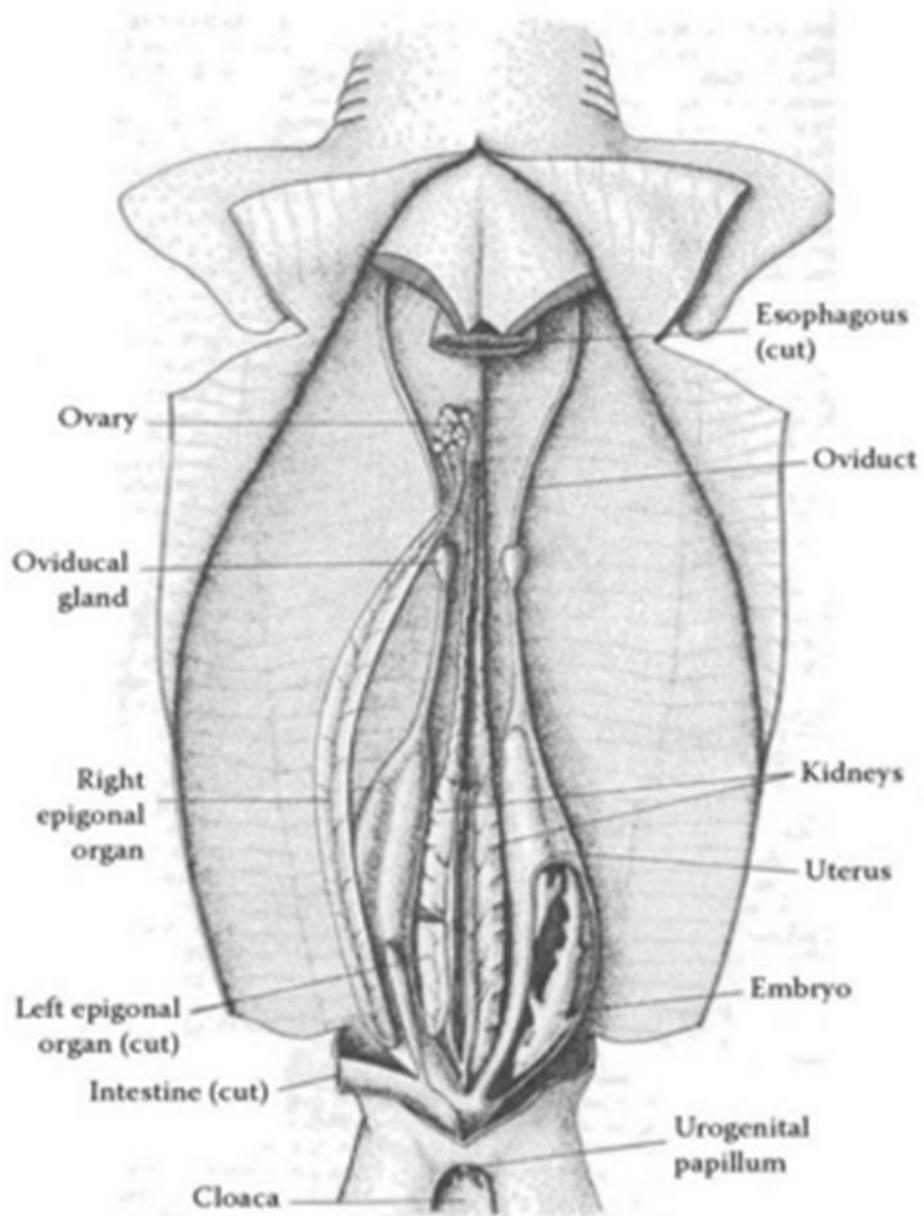


Figura 3. Anatomía del sistema reproductor en hembras de elasmobranquios. Tomado de Carrier et al, (2012).

La glándula oviducal, tiene la función de encapsular el huevo, almacenamiento de esperma y fertilización. El tiempo del almacenamiento del esperma dentro de la glándula oviducal, varía en las especies, pero, puede ser desde unos pocos meses hasta un año. (Carrier *et al*, 2012). Pratt (1993) menciona que entender cómo funciona el almacenamiento del esperma en la glándula oviducal, nos permite comprender un poco los aspectos reproductivos de los elasmobranquios, a la par de que esta estrategia aumenta la probabilidad de quedar inseminadas de manera exitosa, sobre todo para aquellas especies que son nómadas o de bajas densidades poblacionales. Además, el almacenamiento del esperma les provee a las poblaciones una ventaja en la resiliencia al momento de soportar la pesquería moderada.

En cuanto a los ovarios, se conocen dos tipos; uno interno descrito en lámnicos y uno externo que se encuentra en los demás elasmobranquios (Carrier *et al*, 2012). (Fig 4).

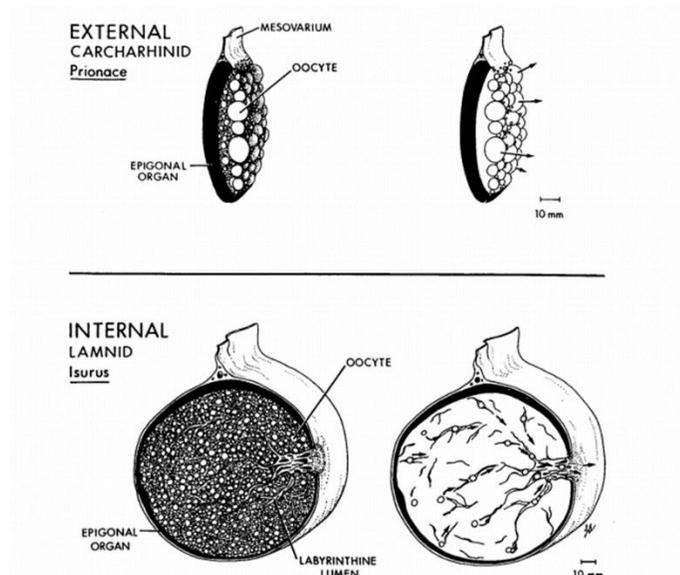


Figura 4. Tipos de ovarios en elasmobranquios (Tomado de Pratt, 1988).

El taxón puede presentar ya sea, madurez temprana o madurez tardía. La madurez temprana determina tiempos de generación cortos, con mayor supervivencia poblacional a la primera reproducción. Por el contrario, existe una menor fecundidad inicial y peor calidad de los descendientes. En relación a la madurez tardía sus características son la imagen especular de las descritas anteriormente, es decir, tiempos de generación largos, menor supervivencia poblacional a la primera reproducción, mayor fecundidad inicial y descendientes con mayor probabilidad para sobrevivir. Cuando compiten los machos entre sí, los jóvenes maduran pronto o lo hacen tarde y alcanzan una mayor talla (éxito por el tamaño de la competencia) (Granado, 2002).

Por lo tanto, las adaptaciones más significativas en la reproducción de los elasmobranchios son la fertilización interna y la producción de pocas crías, las cuales, están aptas para sobrevivir. (Powter y Gladstone, 2008).

Clasificación taxonómica y biología de la especie. (**Girard, 1855**)

Filo: Chordata

Sufilo: Craniata

Superclase: Gnathostomata

Clase: Chondrichthyes

Subclase: Elasmobranchii

Orden: Heterodontiformes

Género: *Heterodontus*

Especie: *Heterodontus francisci*

- Diagnosis.

Heterodontus francisci se caracteriza por tener crestas oculares muy desarrolladas, el origen de la primera aleta dorsal situado sobre la base de las aletas pectorales; origen de la segunda aleta dorsal muy por delante del origen de la aleta anal; origen de las aletas pectorales situado debajo de la tercera abertura branquial; el ápice de la aleta anal alcanza o sobrepasa ligeramente el origen de la ventral de la caudal. Cuerpo y aletas de color gris o marrón claro a oscuro y la parte ventral de color marrón claro (Girard, 1855) (Fig 5).



Figura 5. Fotografía de *H. francisci* (por Gotshall, D.W. , tomado de la base de datos de fishbase.org).

- Distribución.

Heterodontus fancisci es una especie que se encuentra en temperaturas cálidas y aguas subtropicales del este del pacífico, desde la zona central y este de California, Estados Unidos, incluyendo el Golfo de California en Baja California Sur, México y existen registros en Ecuador y Perú aun sin comprobar (Compagno,2001) (Fig 6).



Figura 6. Distribución de *Heterodontus fancisci*. Las zonas en color rojo indican alta presencia de la especie. (Tomado de la base de datos fishbase.org).

- Hábitat.

El tiburón cornudo es una especie epibentónica; se localiza en la plataforma continental, abundante entre los dos a once metros de profundidad, pero se ha registrado hasta 150m de profundidad. Frecuente en fondos rocosos, praderas de algas, zonas arenosas y bancos de arena (Compagno,2001).

- Biología.

Es una especie nocturna y solitaria. Durante la noche es cuando se alimentan de sus presas, que pueden ser: invertebrados bentónicos, cangrejos, camarones, gasterópodos y cefalópodos como los pulpos. (Compagno,2001).

Durante el día, los adultos regresan a descansar al mismo lugar. Según algunos estudios en laboratorio, se cree que su actividad es controlada por la intensidad de la luz. En invierno, estos tiburones migran a aguas más profundas, aunque el mecanismo es poco conocido. (Compagno,2001).

Su estrategia reproductiva es de tipo ovípara, se tiene registro que el periodo de expulsión de huevos es entre los meses de enero a abril, bajo rocas o grietas; los huevos eclosionan en un periodo de entre seis a nueve meses, las crías miden de 15-17cm de longitud Total (LT). Se aparea entre diciembre-enero (Compagno, 2001).

La talla máxima reportada es de 122 cm de LT, pero la mayoría de los adultos se encuentran por debajo de los 97cm de LT (Compagno,2001).

ANTECEDENTES

Aunque *H. francisci* se encuentra en la IUCN (International Union for Conservation of Nature) con el status de Data Deficient (DD) (poca información, datos deficientes) y en la FAO con el de "Poca importancia comercial". Se ha capturado en la pesca de arrastre porque su hábitat es en las áreas somera de la plataforma interna y son abundantes en los lances camareros (Espinosa-Pérez y colaboradores, 2004). Compagno (2001) señala que la especie suele pescarse incidentalmente cuando se están buscando otras especies de importancia comercial como camarones, por lo que a veces, suelen aprovechar al animal para su consumo, menciona también, que, los pescadores deportivos y los buzos suelen atraparla por las espinas de las aletas que son utilizadas para hacer joyería. La FAO ha reportado la disminución en el número de ejemplares en áreas de buceo es intenso, especialmente en el sur de California (FAO, 2016).

En México, la importancia económica de los tiburones se relaciona básicamente con el aprovechamiento de la carne y las aletas. Esta especie suele ser aprovechada en las comunidades ribereñas (Espinosa-Pérez y colaboradores, 2004)

Los trabajos publicados respecto a la familia Heterodontidae han sido pocos, y en particular, reducidos para el tiburón *H. francisci*, (Segura *et al*, 1997).

Respecto a trabajos previos que estén relacionados con la reproducción, se destaca el de Powter y Gladstone (2008) acerca de la biología reproductiva de *Heterodontus portusjaksoni*, en New South Wales, Australia, en el que señalan que, encontraron que los machos maduran entre 76.2 a 77.2 cm en LT, y las hembras entre los 90.2 a 90.5 cm de LT además, la fecundidad ovárica promedio fue de 16 crías por hembra sin relación a la LT.

Lograron realizar observaciones sobre la conducta de apareamiento por primera vez, en donde el macho rodeaba a la hembra con su cuerpo e insertaba un gonopterigio.

Tovar y colaboradores, (2007) indicaron que las hembras *Heterodontus portusjacksoni* maduraban cuando sus ovocitos presentaban medidas por encima de los 0.3 cm y, para los machos analizaron los testículos y la longitud del gonopterigio, siendo esta una medida de suma importancia al determinar la madurez sexual de los machos.

Además, Jones (1982) en su estudio analizó las gónadas tanto de machos como hembras de *H. portusjacksoni* y encontró que las hembras maduraban a tallas alrededor de un 40% más grandes que los machos.

Huber y colaboradores, 2005 realizaron un experimento controlado donde analizaron la biomecánica de la mordida del tiburón cornudo *H. francisci* para poder identificar cómo se comportaba al momento de cazar su presa.

En 1973 Crawshaw y Hammel realizaron una investigación en el tiburón *Heterodontus francisci*, para demostrar la importancia de la conducta termorreguladora en las clases de los Condriictios.

En las costas mexicanas, Segura y colaboradores, (1997) realizaron un estudio de alimentación del tiburón *H. francisci* para las costas de Baja California Sur en el cual, identificaron que su alimentación consistía principalmente de: gasterópodos, crustáceos, pelecípodos, cefalópodos, así como de peces pequeños, esta especie es bentónica, predominantemente carnívora.

En el Pacífico central mexicano, Galván-Magaña y colaboradores (1989) realizaron un estudio de la especie *H. mexicanus*. la cual, registra sus mayores abundancias en el bajo Golfo de California durante las estaciones de invierno y primavera.

JUSTIFICACIÓN

El éxito evolutivo de los tiburones debido a sus estrategias reproductivas, los ha llevado a ser amenazados debido a la sobrepesca y a las actividades antropogénicas. Por lo tanto, la comprensión acerca de los mecanismos reproductivos que mantienen los elasmobranquios; sobre sus procesos y sistemas, es fundamental al momento de contemplar y proponer un manejo adecuado del recurso pesquero y/o programas para su conservación (Powter y Gladstone, 2008).

La respuesta de las poblaciones de Condrictios para su supervivencia depende en gran medida de las estrategias reproductivas. (Awruch, 2013).

El potencial de algunas especies para soportar capturas razonables ha sido reconocido, aunque para lograr su uso sustentable se requiere información pesquera y biológica de las poblaciones, que permita ajustar las capturas (dirigida y/o incidental) a niveles adecuados (Furlong *et al*, 2014).

De manera documentada, existe poca información respecto a la pesca de esta especie. Se ha observado que es una especie que suele pescarse en gran abundancia, y, si le sumamos la poca información que existe respecto a sus poblaciones y biología básica, hacen de vital importancia generar investigaciones que conduzcan al conocimiento de la especie, pues desconocemos parámetros que nos sirvan de apoyo para saber si la especie se está viendo muy, medianamente o pobremente mermada.

Cabe resaltar, que no existen trabajos previos sobre la reproducción de esta especie en las costas mexicanas. Por lo tanto, no se tienen marcos de referencia en cuanto a este aspecto de su biología tan básico, y tan primordial al momento de proponer manejos adecuados en las pesquerías y preservación de la especie. Esta investigación contribuye a

generar dicha información para tener un punto de referencia sobre los aspectos reproductivos de *H. francisci*.

OBJETIVO GENERAL.

- Describir la biología reproductiva a nivel macroscópico del tiburón *Heterodontus Francisci*.

OBJETIVOS PARTICULARES.

- Analizar la composición de tallas y distribución temporal de los organismos capturados.
- Determinar la proporción de sexos.
- Describir la morfología macroscópica del aparato reproductor en machos y hembras.
- Encontrar la relación entre la LT y el estado de madurez del organismo.
- Proponer y construir una tabla general con las características morfológicas, que sirva como referencia para identificar individuos inmaduros, en maduración y maduros de la especie *Heterodontus francisci* para estudios posteriores.
- Determinar la talla media de madurez sexual (L-50)

ÁREA DE ESTUDIO

Los organismos analizados fueron obtenidos de la pesquería de Bahía Tortugas, Baja California Sur, que se encuentra al noroeste del estado de Baja California Sur y pertenece al municipio de Mulegé, su localización geográfica es $114^{\circ} 53' 45''$ W y $27^{\circ} 41' 30''$ N encontrándose a una altitud de 10 msnm (Meza, 2014) (Fig 7).

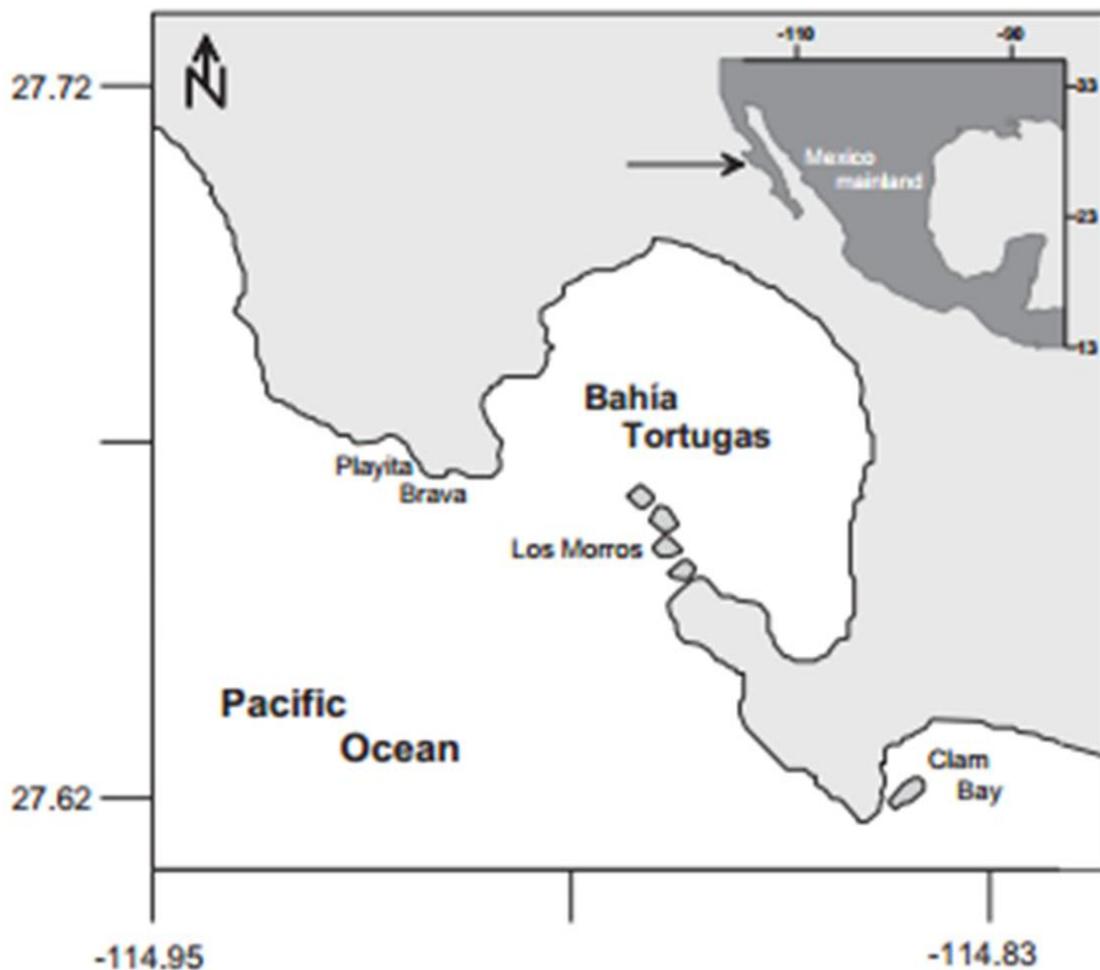


Figura 7. Zona de estudio. Bahía Tortugas, Baja California Sur. Tomado de: Morales et al, 2011.

Oceanográficamente, los vientos dominantes son del norte, noroeste, oeste y sur, siendo los vientos del norte los más fuertes en invierno y primavera con velocidades de hasta 90km/h. El clima es cálido seco en verano y parte del otoño con una temperatura ambiente de 14 °C a 36 °C y fresco y húmedo en invierno, en primavera con 10°C a 26°C (Meza, 2014).

MATERIAL Y MÉTODO

Captura.

Se realizaron salidas al campo pesquero de Bahía Tortugas durante los meses: agosto, septiembre, noviembre, marzo y abril del 2012 al 2015. Se registró la localidad del muestreo, fecha, distancia de la costa a la zona de pesca y método de pesca.

Se identificaron los especímenes con claves especializadas. Hecho esto, a cada ejemplar capturado se le midió la longitud alternativa (LA) y la longitud total, (LT), la cual, nos puede indicar las tallas a las cuales los organismos ya se encuentran maduros (Powter y Gladstone, 2008).

En machos se midió la longitud del gonopterigio, a su vez se estableció el grado de calcificación, rotación, apertura del rifiodón y la presencia de esperma, todos esto como indicadores de madurez sexual. (Powter y Gladstone, 2008).

La madurez sexual en hembras se determinó mediante el desarrollo del ovario y con el tamaño de los folículos, y la condición de la glándula oviducal. Se obtuvo la fecundidad ovárica a partir del conteo de ovocitos presentes en las hembras maduras.

En ambos sexos, se extrajo el aparato reproductor y se fijó en formol al 10% para su posterior análisis en el Laboratorio de Ecología de Peces del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, (CICIMAR).

Análisis de las muestras.

Las muestras se lavaron para eliminar el exceso de formol. Se cambiaron de formol a alcohol al 70% para su adecuado manejo en laboratorio. Posteriormente, se realizaron las siguientes medidas con ayuda de un vernier digital (Tabla 1).

Tabla 1. Medidas realizadas en las gónadas de hembras y machos de *Heterodontus francisci*.

| MACHOS | HEMBRAS |
|------------------------|----------------------------------|
| Longitud del testículo | Longitud de la glándula oviducal |
| Ancho del testículo | Ancho de la glándula oviducal |
| | Diámetro de los ovocitos. |

Para identificar el estado de madurez sexual en ambos sexos, se utilizó como referencia la escala propuesta por Grijalba-Benedeck y colaboradores, (2008) (Tabla 2).

Tabla 2. Características morfológicas de maduración para machos y hembras. (Tomado de Grijalba-Benedeck y colaboradores 2008)

| HEMBRAS | |
|---------|---|
| I | Inmadura: Sin desarrollo ovárico, ovarios pequeños de textura acuosa, oviductos delgados poco diferenciados |
| II | En maduración: Ovarios delgados, consistentes y de apariencia uniforme, sin ovocitos visibles, oviductos delgados y diferenciables |
| IIIa | Madura sin embriones: Ovario con ovocitos visibles, oviductos gruesos y útero parcialmente ensanchado |
| IIIb | Madura con embriones: Ovarios con ovocitos, embriones ubicados dentro de los úteros, que se encuentran ensanchados, ocupando gran parte de la cavidad visceral |
| IV | Maduras postparto: Útero ensanchado con paredes sanguinolientas y flácidas. Abertura cloacal expandida |
| MACHOS | |
| I | Inmaduro: Testículos acuosos, ductos poco diferenciados, cláster pequeños, flácidos, rifiodón cerrado, ausencia de semen y rotación menor a 360° |
| II | En maduración: Testículos consistentes, ductos bien desarrollados, epidídimos enrollados en la porción anterior y media, del ducto eferente, cláster aumentan de tamaño y están parcialmente calcificados |
| III | Maduro: Testículos con lóbulos prominentes indicativos de activa producción espermática, conducto deferente se extiende adyacente a la columna vertebral, epidídimo enrollado a lo largo de todo el conducto hasta llegar a la vesícula seminal, cláster totalmente calcificados, con rifiodón abierto y presencia de semen |

Análisis estadísticos.

Proporción de sexos: Se dividió el número total de hembras entre el número total de machos y se analizaron con la prueba X^2 (chi-cuadrada) con un nivel de confianza del 95% para probar la hipótesis nula que establece que la proporción de sexos es 1:1

Composición de tallas: Se construyeron histogramas que muestran la frecuencia en tallas de acuerdo al sexo y a los meses de muestreo. Además, se obtuvo la media en forma general y mensual, para las tallas en ambos sexos sumando todas las observaciones individuales de la muestra y dividiéndola por el total de machos o hembras según el caso (Sokal, 1980).

Distribución temporal: Se analizó la frecuencia de aparición de los organismos capturados durante los meses de muestreo y se realizaron histogramas de frecuencias con intervalos de 5cm.

Talla de madurez: Se estimó la talla a la cual el 50% de los organismos se encuentran maduros mediante la ecuación de Mollet *et al.* 2000), mediante el programa STATISTICA.

$$P_m = 1 / [1 + \text{Exp}-(a+b*LT)]$$

En donde:

P_m: Proporción sexual de organismos maduros de la muestra (variable binomial que asume valores de 0 si es inmaduro y de 1 si es maduro) (Mollet *et al.*, 2000)

a=Constante de la ecuación que determina el punto de origen de la curva.

b=Constante de la ecuación que determina la inclinación de la curva.

LT: Longitud Total.

Regresión lineal. Se realizaron cuatro análisis de regresión lineal para encontrar la ecuación que explique (según sea el caso) la relación entre la LT y el largo del gonopterigio (Lc) y el ancho y largo del testículo en machos, y, para hembras la relación entre la LT y el ancho de la glándula oviducal.

Se aplicó una prueba de tipo no paramétrica t student para comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas entre la LT de ambos sexos en los distintos estadios de madurez y meses del muestreo.

RESULTADOS.

- Composición de las tallas.

Durante el periodo de agosto a abril del 2012 al 2015, se tuvo un registro total de 237 individuos, de los cuales, 143 fueron machos y 94 hembras. Las tallas para ambos sexos oscilaron entre los 39cm a los 92cm de LT. Las tallas máximas y mínimas para cada sexo se pueden observar en la tabla 3.

Tabla 3. Tallas máximas y mínimas para ambos sexos de *Heterodontus francisci*.

| MACHOS | HEMBRAS |
|----------------------|----------------------|
| Talla mínima: 39 cm | Talla mínima: 41 cm |
| Talla máxima: 92 cm | Talla máxima: 89 cm |
| Talla media: 62.97cm | Talla media: 69.37cm |

En la figura 8 se puede apreciar la composición de tallas para machos y hembras según la LT (cm), se observa que las hembras presentaron una talla mayor con respecto a los machos que tienen tallas más variadas, siendo su pico entre los 71 y 75 cm de LT en ambos sexos.

Composición de tallas

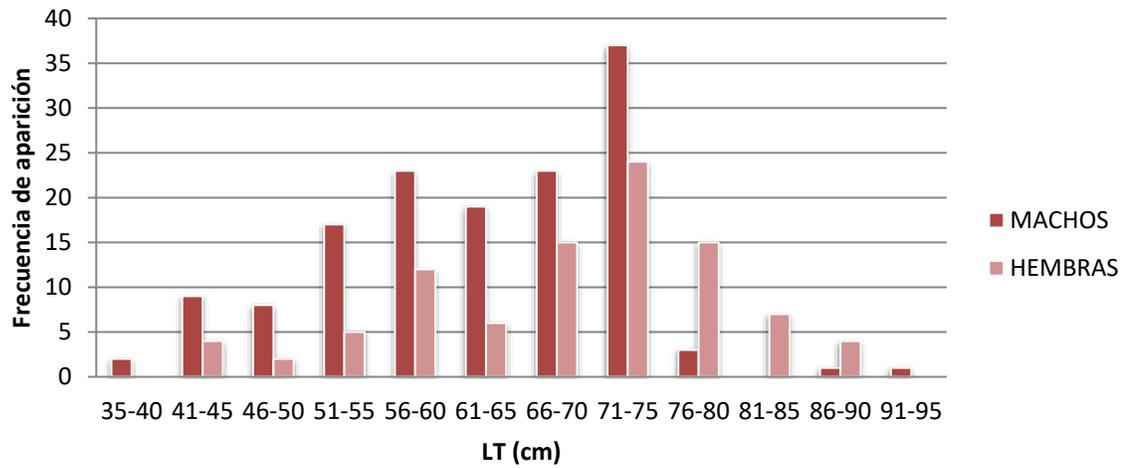


Figura 8. Composición de tallas para machos y hembras de *H. francisci* con respecto a la LT a lo largo del muestreo.

La talla máxima de ambos sexos se presentó en el mes de agosto. La talla mínima en el mes de noviembre. La talla media de todos los meses de captura fue de 66.17 cm (Fig 9).

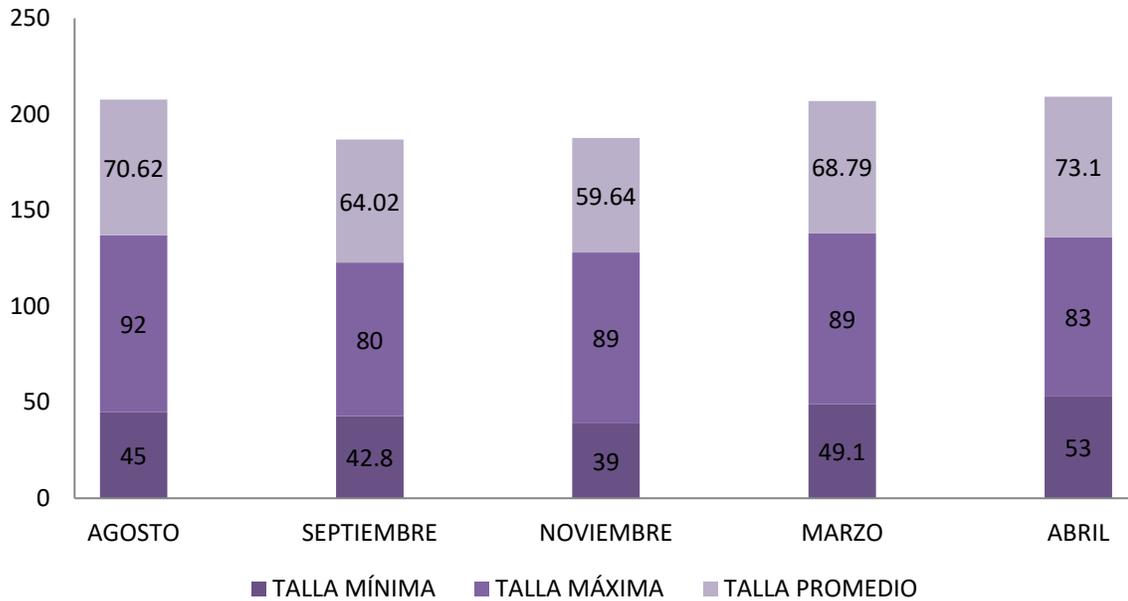


Figura 9. Composición de tallas máximas, mínimas y promedio durante los meses de muestreo según la LT para ambos sexos.

Con la prueba t student se, obtuvo un valor de $t_{0,05}=-4.50$ por lo tanto, no existen diferencias significativas entre las tallas de ambos sexos. Se puede observar que las hembras dominan en LT mayores a 76cm.

➤ Composición de tallas en machos.

Se observa que a partir de los 76cm de LT sólo se observan individuos maduros. La media para los individuos inmaduros es de 54.35cm con tallas que iban desde los 39cm hasta los 72cm. La media para los individuos en maduración es de 59.99 cm con tallas que oscilaban desde los 53cm hasta los 72cm y la media para los individuos maduros es de 70.07cm con tallas que empezaban desde los 53cm hasta los 92cm (Fig 10).

Composición de tallas para machos

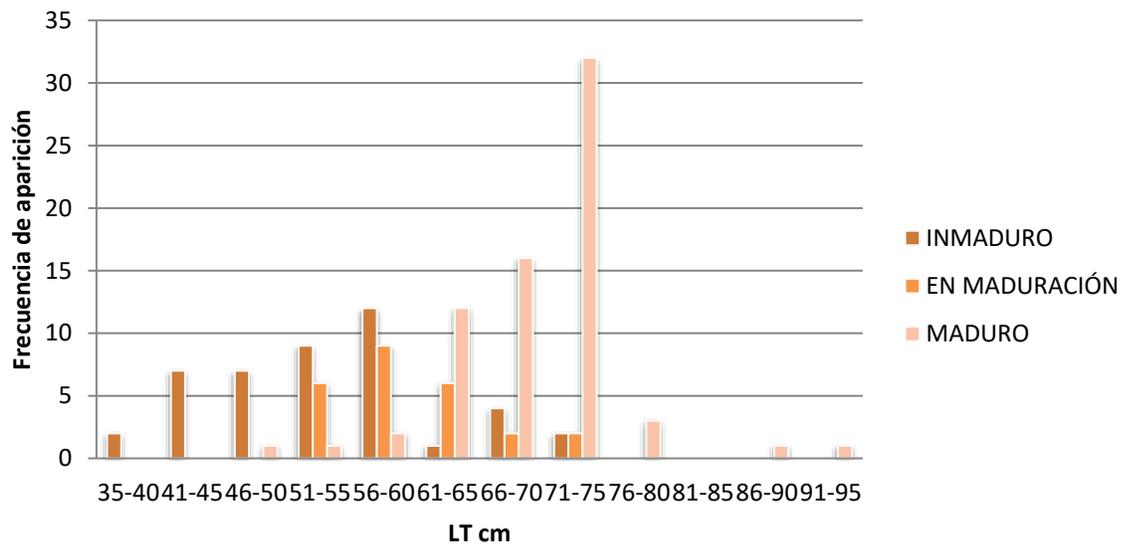


Figura 10. Composición de tallas para machos de *Heterodontus francisci*.

➤ Composición de tallas en hembras.

De las 37 hembras analizadas, se observó que los organismos inmaduros presentaron talla máxima hasta 70 cm de LT. Mientras que los organismos maduros presentaron tallas por encima de los 76cm de LT. La media para los organismos inmaduros es de 69.91cm presentando tallas que iban desde los 65cm a los 70cm; el promedio de las tallas de los organismos en maduración fue de 72.85cm de LT con intervalos de tallas entre los 72cm a los 74cm y para los organismos maduros presentaron en promedio 79.05 cm de LT con intervalos que iban desde los 70cm hasta los 90cm (Fig 11).

Composición de tallas

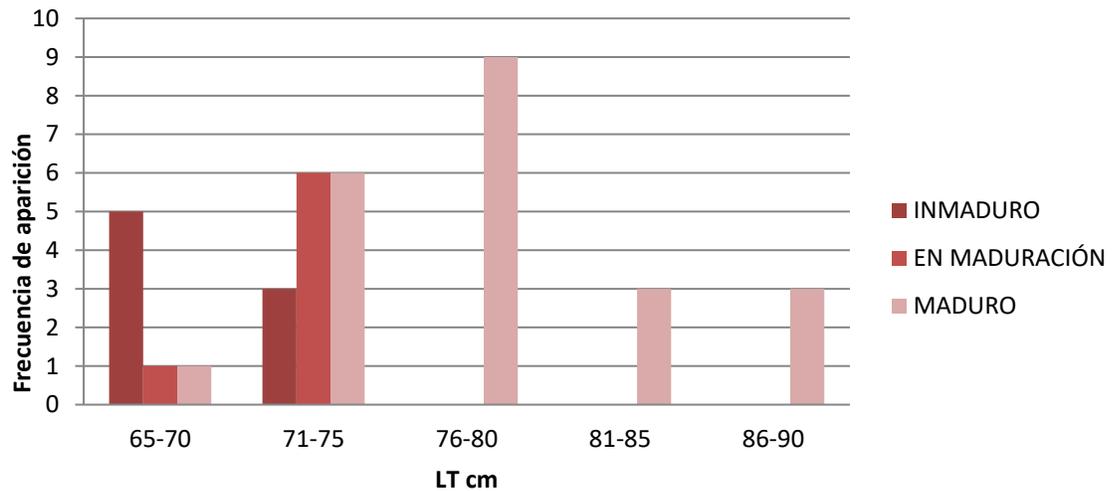


Figura 11. Composición de tallas para hembras de *H. francisci*.

Al comparar las tallas de machos y hembras inmaduros, obtenemos el valor de $t_{0.05\ 27} = -8.89$ por lo tanto, no presentan diferencias significativas en la talla. Para los organismos en maduración $t_{0.05\ 21} = -8.27$ no encontrando diferencias significativas. En organismos maduros, $t_{0.05\ 40} = -6.27$ no hay diferencias significativas.

- Distribución mensual de los organismos.

Se obtuvieron registros de los meses de agosto, septiembre, noviembre, marzo y abril del 2012 al 2015. Ambos sexos estuvieron presentes en todos los meses de muestreo, siendo los machos más abundantes, con un pico en noviembre y agosto, y las hembras más abundantes en los meses de agosto y marzo (Fig 12).

Distribución temporal

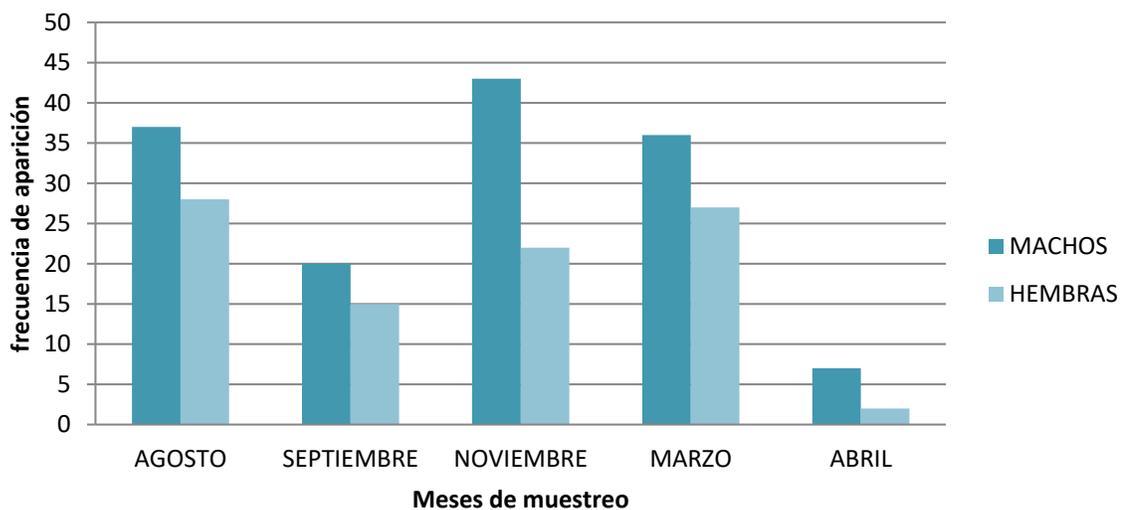


Figura 12. Distribución temporal de machos y hembras.

➤ Distribución temporal en machos.

A lo largo de todo el muestreo, se observaron los tres estadios de maduración en los organismos analizados. La categoría de inmaduro estuvo ausente en el mes de abril y hubo una mayor frecuencia en el mes de noviembre. Los organismos catalogados en la clasificación: “En maduración” se detectaron con mayor frecuencia en agosto. Los organismos maduros tuvieron una mayor presencia en el mes de marzo (Fig 13).

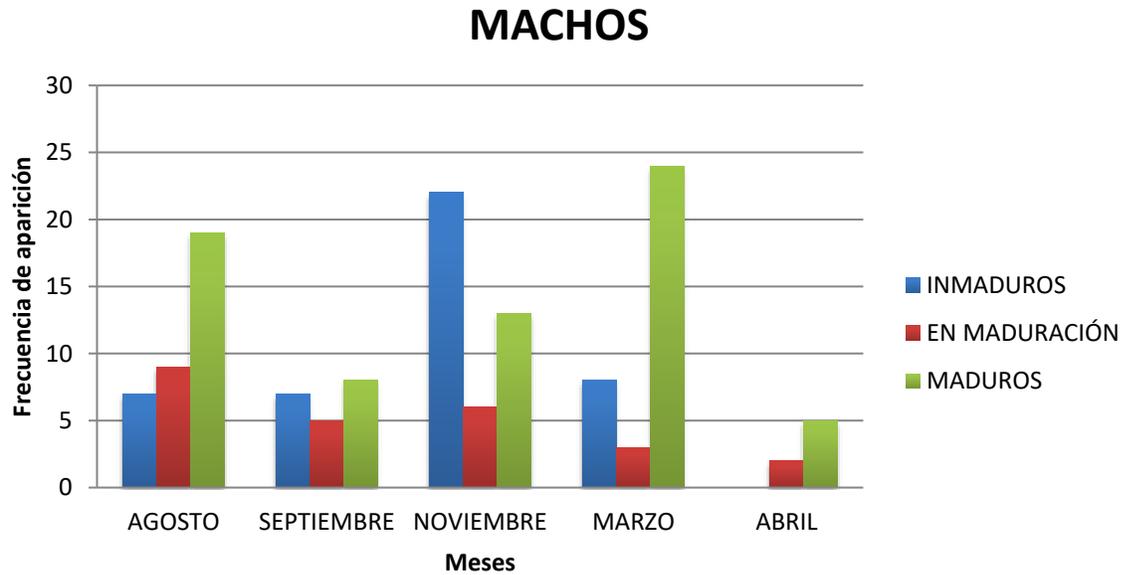


Figura 13. Distribución de los estadios de desarrollo en los meses de muestreo para machos de *H. francisci*.

➤ Distribución temporal en hembras.

De las 37 hembras analizadas durante los meses agosto, septiembre, noviembre, marzo y abril, se observaron principalmente dos estadios: maduro y en maduración. En noviembre la mayoría de los organismos se encontraban en proceso de maduración. En agosto la mayoría de las hembras se encontraban maduras. En abril sólo se encontró el estadio de "madura". En agosto, septiembre, noviembre y marzo se encontraron organismos inmaduros, siendo en agosto cuando se encontró la mayor cantidad de organismos pertenecientes a este estadio. (Fig 14).

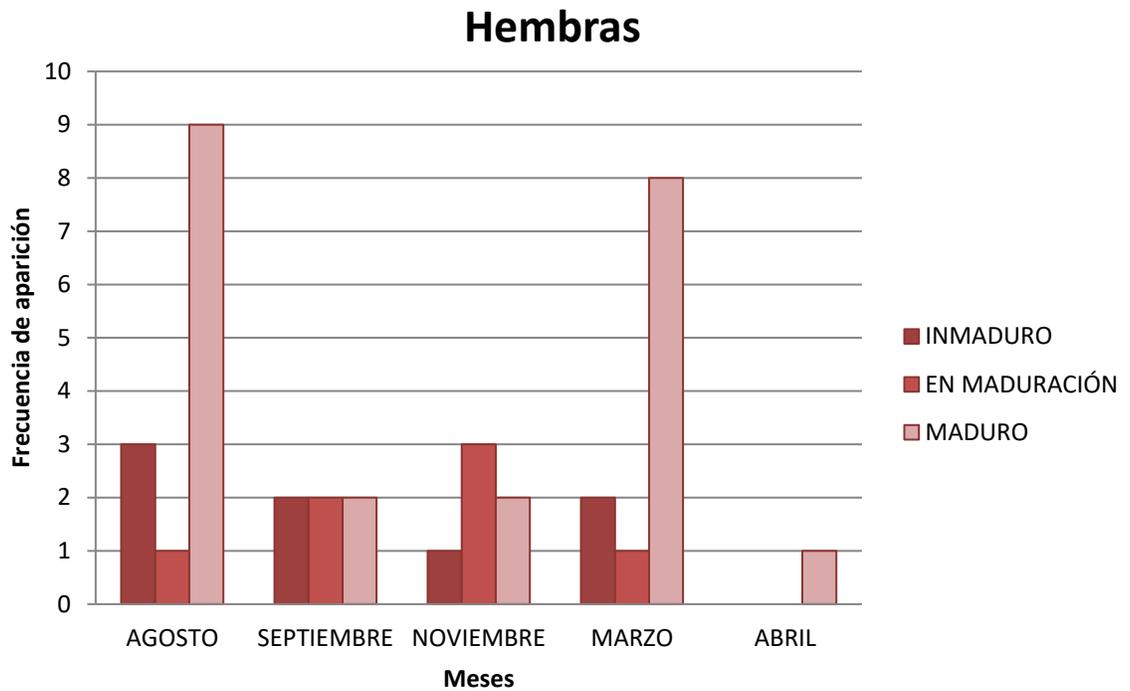


Figura 14. Distribución temporal por estadios de maduración para hembras *Heterodontus francisci*.

- Proporción de sexos.

La proporción sexual fue de 0.65 hembras por un macho (0.65H:1M). A partir de la prueba estadística χ^2 cuadrada se encontró que si existen diferencias significativas en la proporción de sexos ($\chi^2=5.06$ $p>0.05$) (Fig 15).

Proporción de sexos.

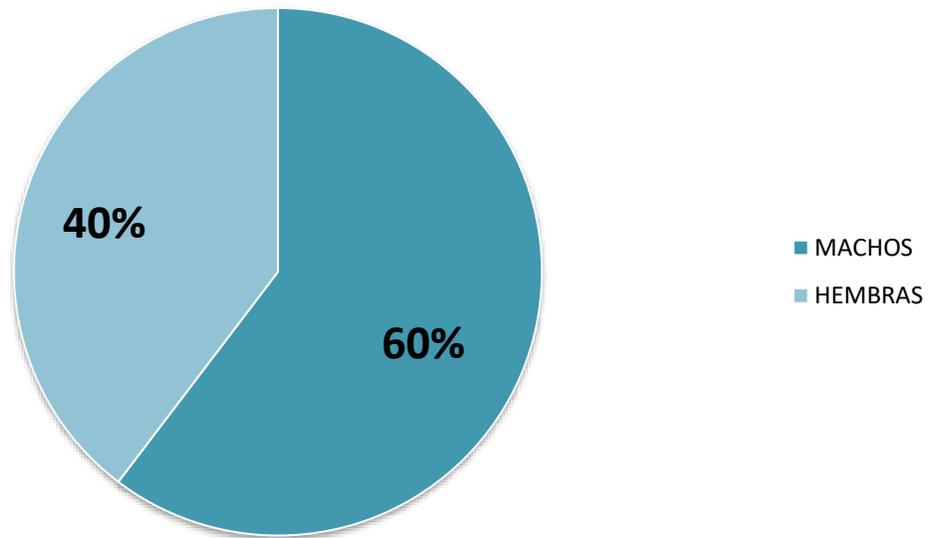


Figura 15. Proporción de sexos en los meses de muestreo de *Heterodontus francisci*.

➤ Proporción de sexos por estadio de desarrollo

La proporción de individuos inmaduros fue de 0.18H:1M , ($X^2=24.92$ $p >0.05$) mostrando que existe una diferencia significativa estadísticamente al igual que la proporción de individuos en maduración 0.28H:1M ($X^2=10.125$ $p >0.05$) Así mismo, la proporción de individuos maduros 0.31H:1M. ($X^2= 24.27$ $p>0.05$) mostró que la proporción presenta diferencias significativas estadísticamente (Fig 16).

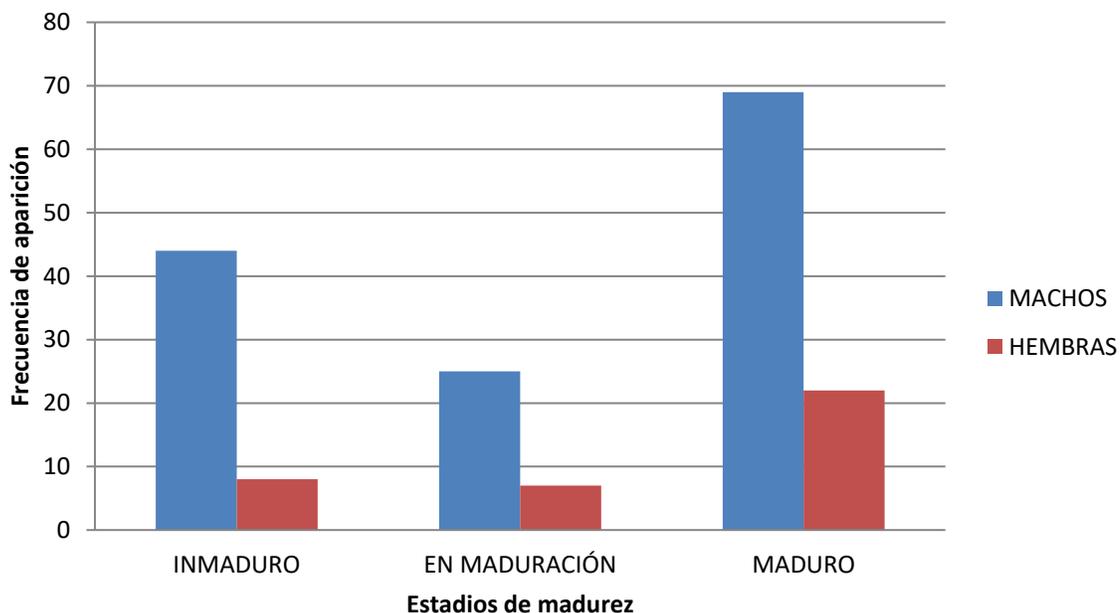


Figura 16. Proporción de sexos según el estadio de madurez para hembras y machos de *Heterodontus francisci*.

- Tallas de madurez.

- Hembras.

Se observó que a partir de los 70 cm existen hembras que presentan las características de maduras (glándulas oviducales muy anchas y ovocitos de mayor tamaño con un diámetro máximo de 4.4cm) y en las LT mayores a 76cm dominaban estos organismos maduros. (Fig 17) . A partir del análisis de regresión se obtuvo que no hubo una relación entre la LT y el ancho de la glándula oviducal ($R^2=0.32$).

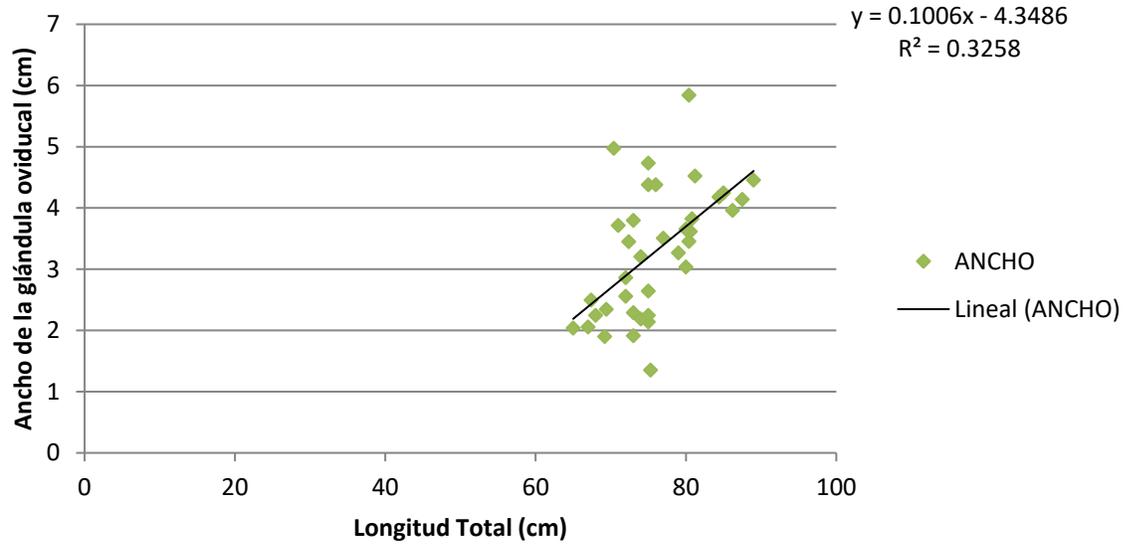


Figura 17. Relación lineal entre la glándula oviducal con respecto a la LT .

- Talla de mediana madurez.

Se estimó la talla de mediana madurez, en la cual se considera la talla a la que el 50% de hembras ya se ha podido reproducir al menos una vez y se considera madura; mediante la ecuación logística de Mollet *et a* (2000); el valor obtenido de L50 para hembras es de 74.52cm de LT (Fig 18).

Figura 18. Talla L50 para hembras de *H. francisci*.

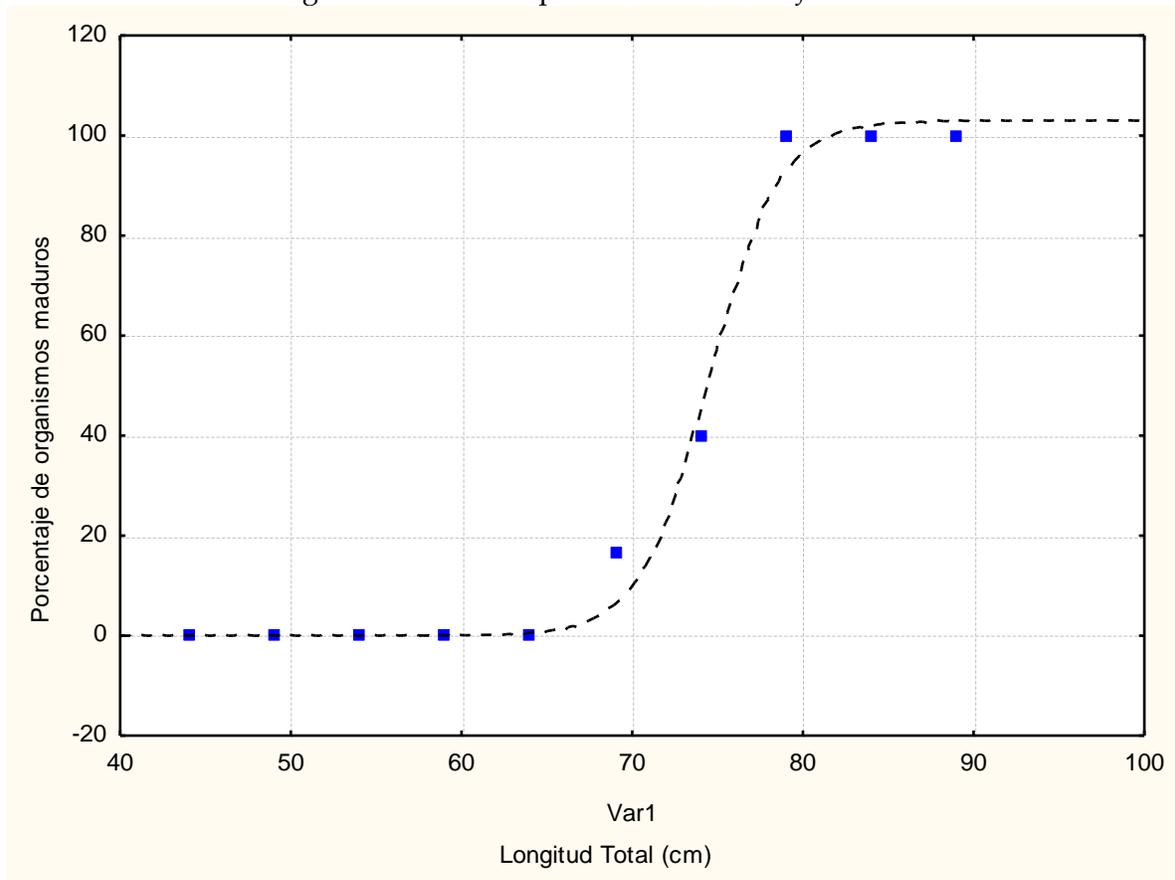


Figura 18. Talla de mediana madurez (L50) para hembras de *H. francisci*.

➤ Machos.

En general, de los 92 registros de machos utilizados, se observó que a partir de los 3 cm de longitud del gonopterigio, algunos individuos comenzaban a presentar semicalcificación a calcificados. Sin embargo, la LT del organismo y la medida del gonopterigio no muestran relación significativa de acuerdo al valor de $R^2 = 0.48$ (Fig 19).

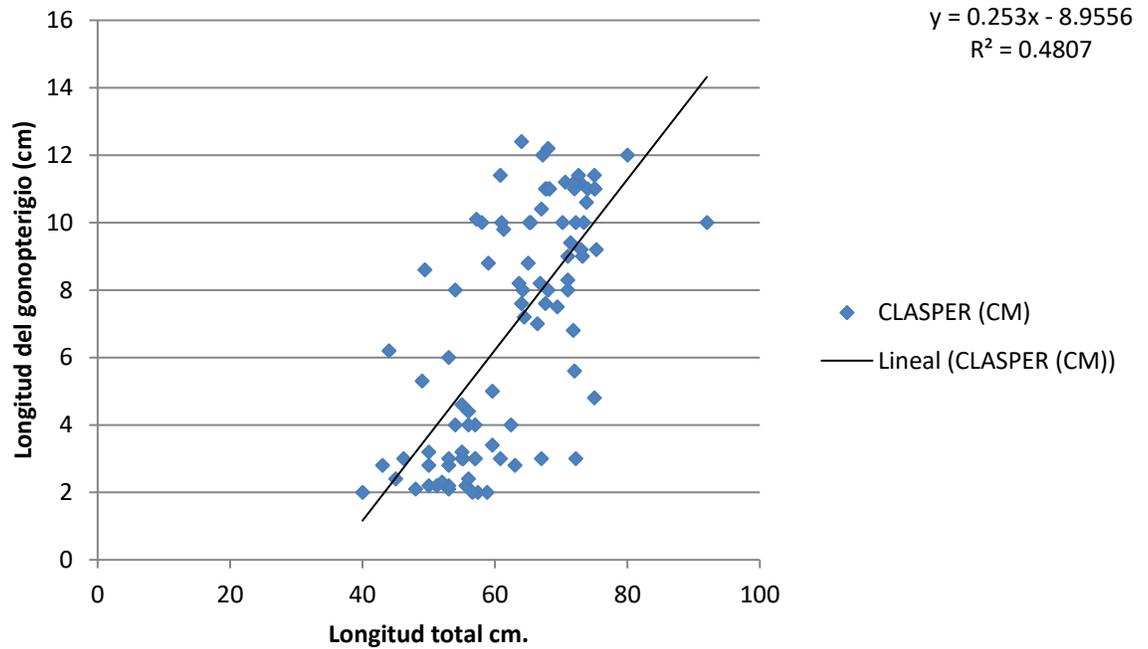


Figura 19. Relación entre el gonopterigio y la LT para los machos de *Heterodontus francisci*

Si analizamos la relación entre la LT y el largo del testículo, encontramos que el valor de $R^2=0.47$ la cual no indica una fuerte relación entre estas variables (Fig 20).

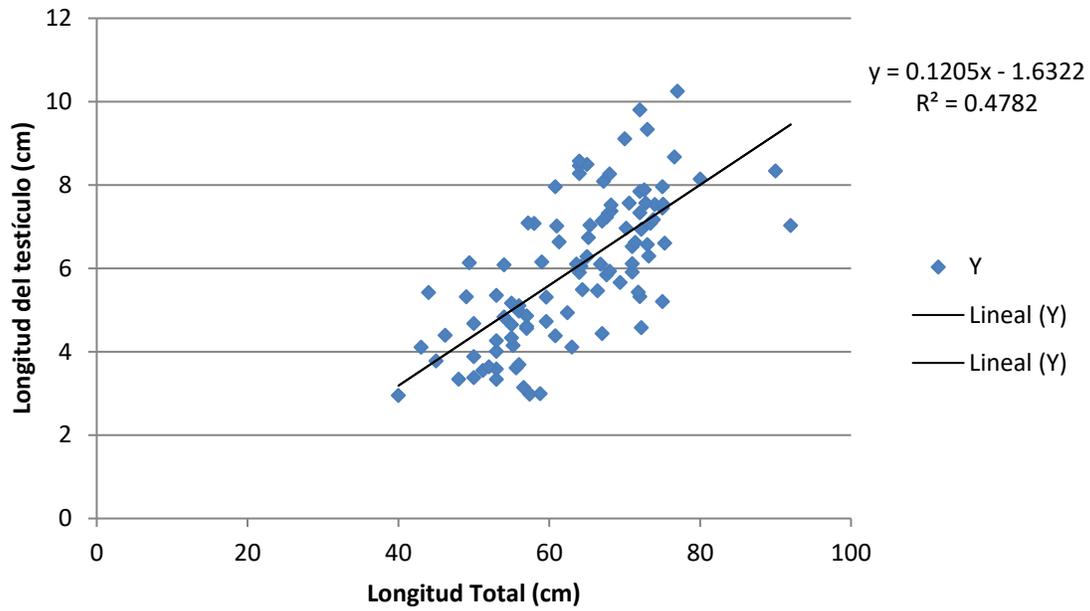


Figura 20. Regresión lineal entre longitud del testículo y LT para machos de *Heterodontus francisci*.

Al comparar el ancho del testículo con la longitud total, encontramos que el valor de $R^2=0.12$ indica que no hay relación entre estas dos variables (Fig 21).

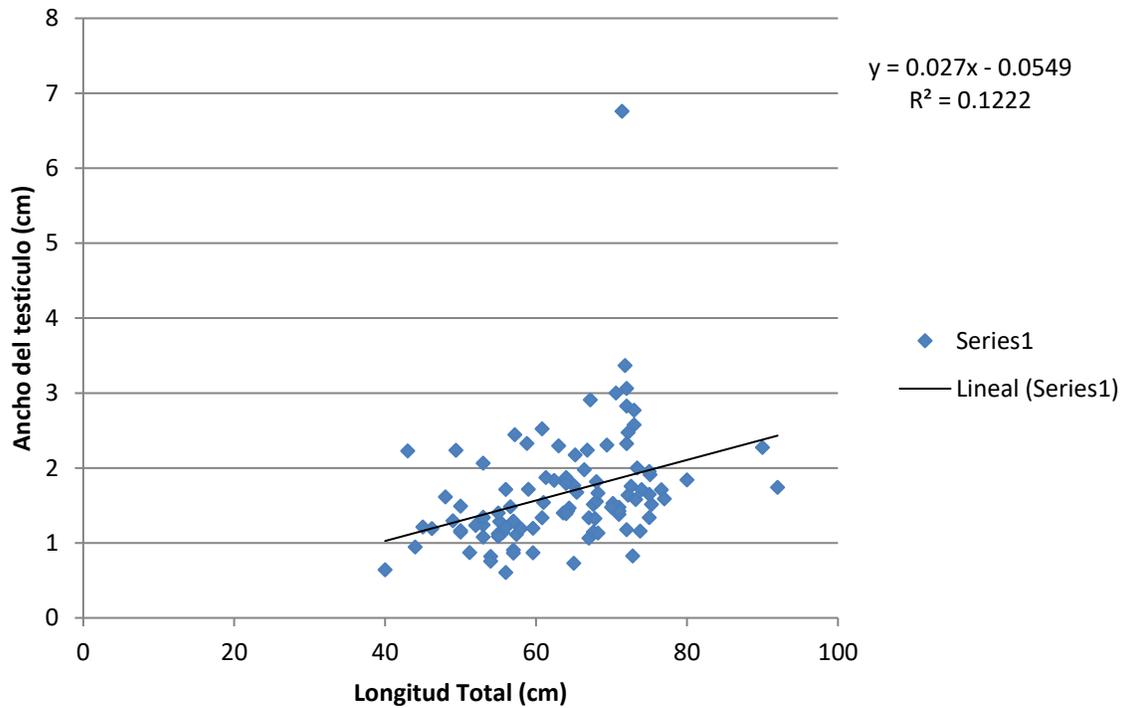


Figura 21. Regresión lineal para el ancho del testículo y la LT para machos de *H. francisci*.

- Talla de mediana madurez

De los machos analizados la L50 arrojó un valor de 64.08cm de LT a la cual, se considera que los organismos ya son maduros (Fig 22).

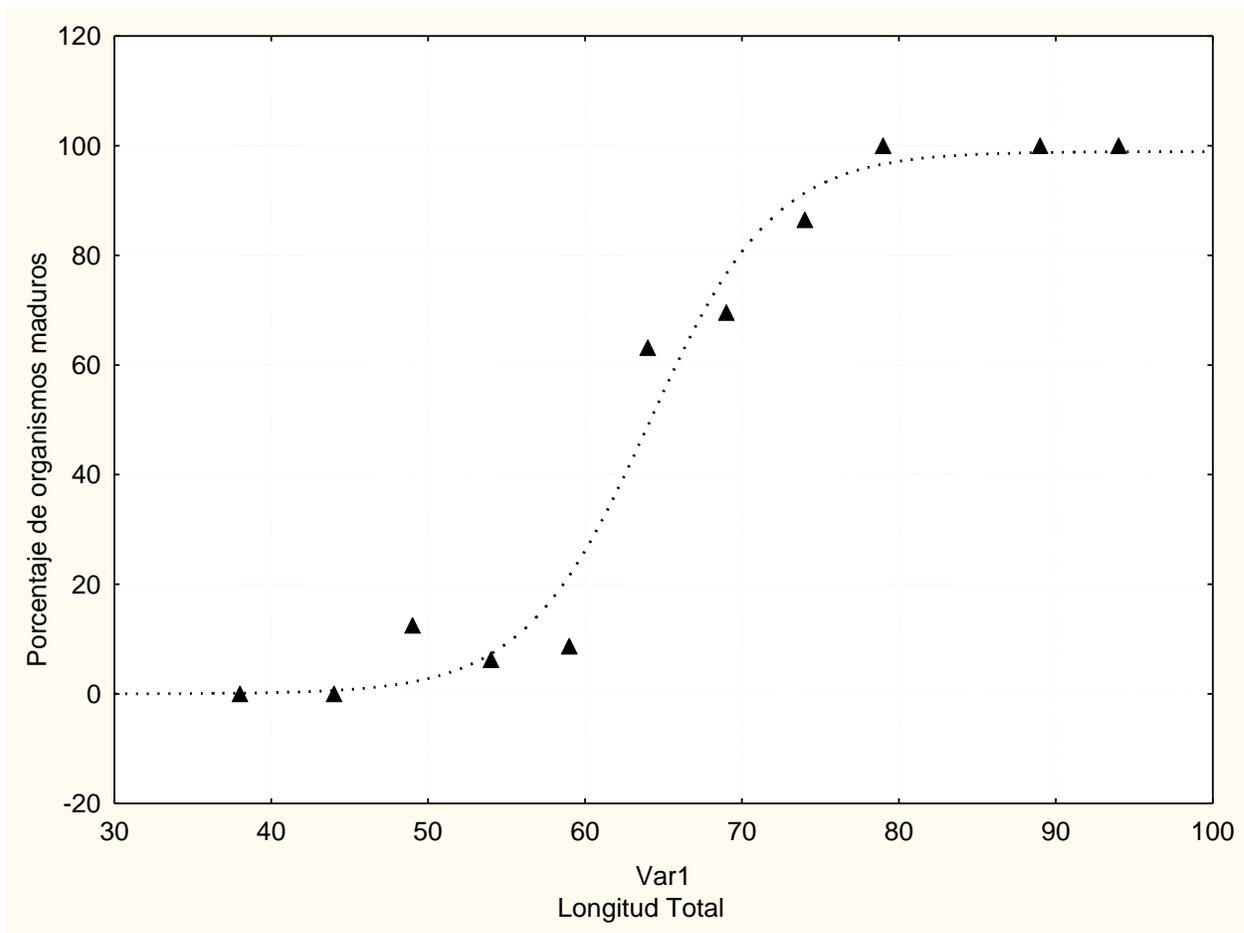


Figura 22. Talla de mediana madurez (L50) para machos de *H. francisci*.

- Descripción macroscópica del aparato reproductor

- Machos.

Se analizaron un total de 101 testículos de *H. francisci* a los cuales se les midió el largo y ancho y se observaron sus características morfológicas distintivas. Se logró encontrar tres grupos diferenciados: inmaduros, en maduración y maduros.

- Inmaduros.

Los individuos de esta categoría tenían un gonopterigio que presentaba distintos valores, desde los 2 cm hasta los 4 cm como máximo. Sus testículos tenían una forma más circular que elongada, no existía la presencia de lóbulos testiculares y se observó un color pálido rosáceo. Los testículos tuvieron un largo que va de los 2 cm hasta los 8 cm y un ancho desde 1cm hasta los 3cm (Figs 23 y 24).



Figura 22. Testículo de un macho inmaduro de *H. francisci*

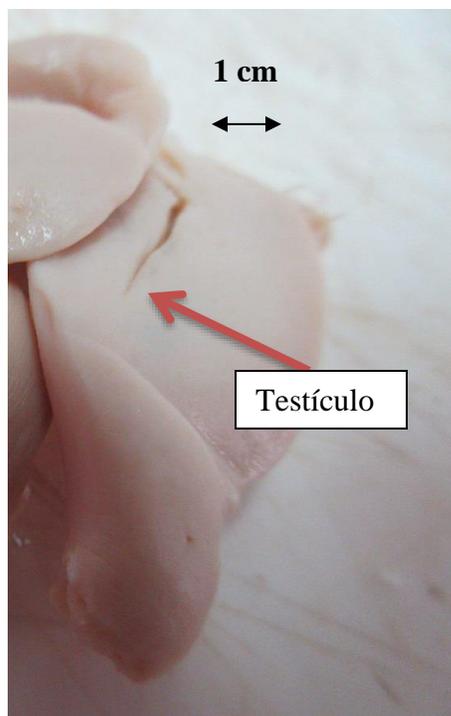


Figura 23. Testículo de un organismo inmaduro de *H. francisci*.

- En maduración.

Los testículos de los individuos en esta categoría presentaron una forma más elongada, un color rosáceo más intenso y algunos lóbulos testiculares presentes. Los testículos presentaron un largo de los 3cm hasta los 10cm y ancho desde 1cm hasta los 3cm. Se observó la presencia de una estructura en forma de línea de color blanco que atravesaba los testículos. También, se observan células en forma circular en la gónada que podrían sugerir la formación de los lóbulos testiculares. Por lo que sería recomendable realizar pruebas histológicas para confirmarlo (Figs 25 y 26).

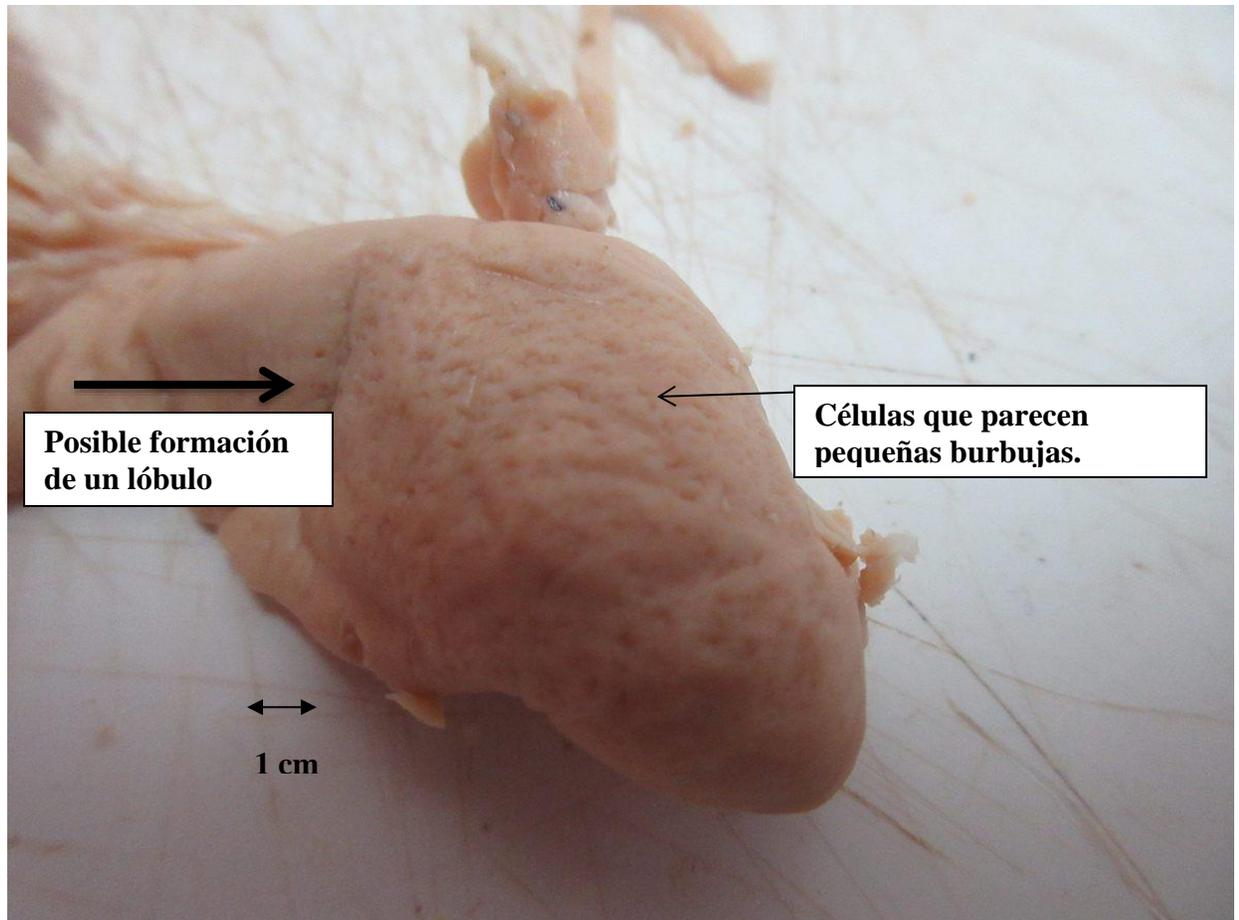


Figura 24. Testículo de un macho en maduración de *Heterodontus francisci*

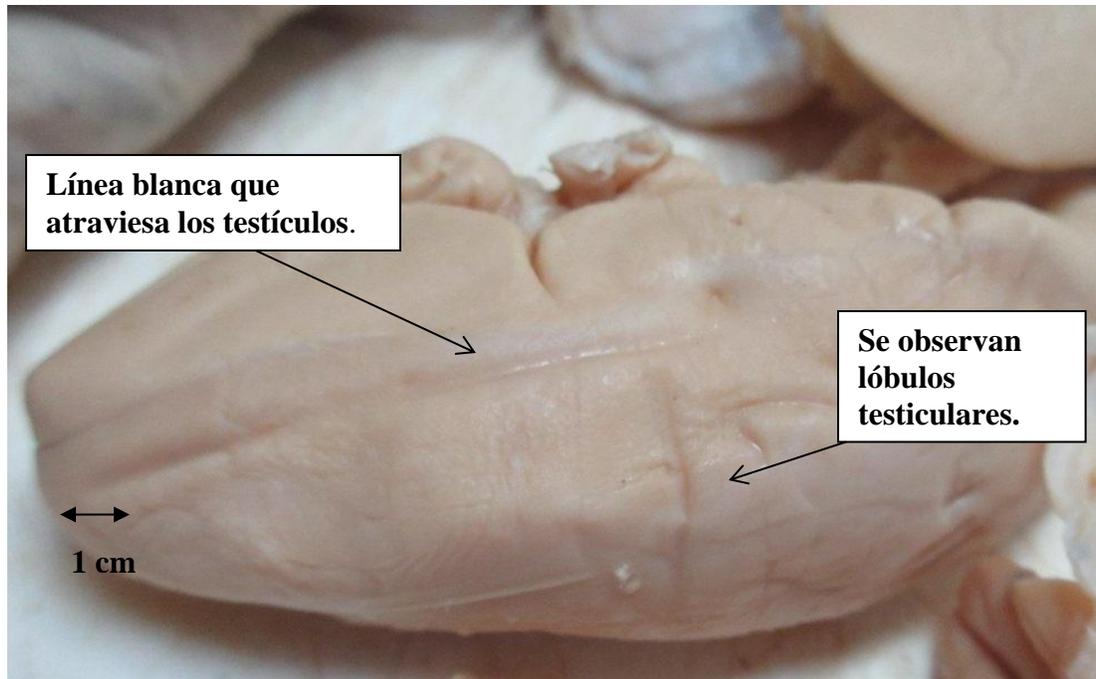


Figura 25. Testículo de macho en maduración de *Heterodontus francisci*.

- Maduros.

Los Organismos que presentaron los testículos bien diferenciados en lóbulos testiculares, de acuerdo a Grijalba-Benedeck y colaboradores (2008) sugieren una abundante formación de espermatozoides. El color se nota en tonalidades más intensas a comparación de los organismos inmaduros donde el color es pálido. Se nota la presencia de una línea media de color blanco bien diferenciada. En general, los testículos tienen una longitud mayor, de entre 5 cm hasta los 10 cm y el ancho desde 1 cm hasta un máximo de 6 cm. La forma es completamente elongada. El gonopterigio presentó un promedio de 9.3 cm y hasta un máximo reportado de 12.4 cm (Fig 27).

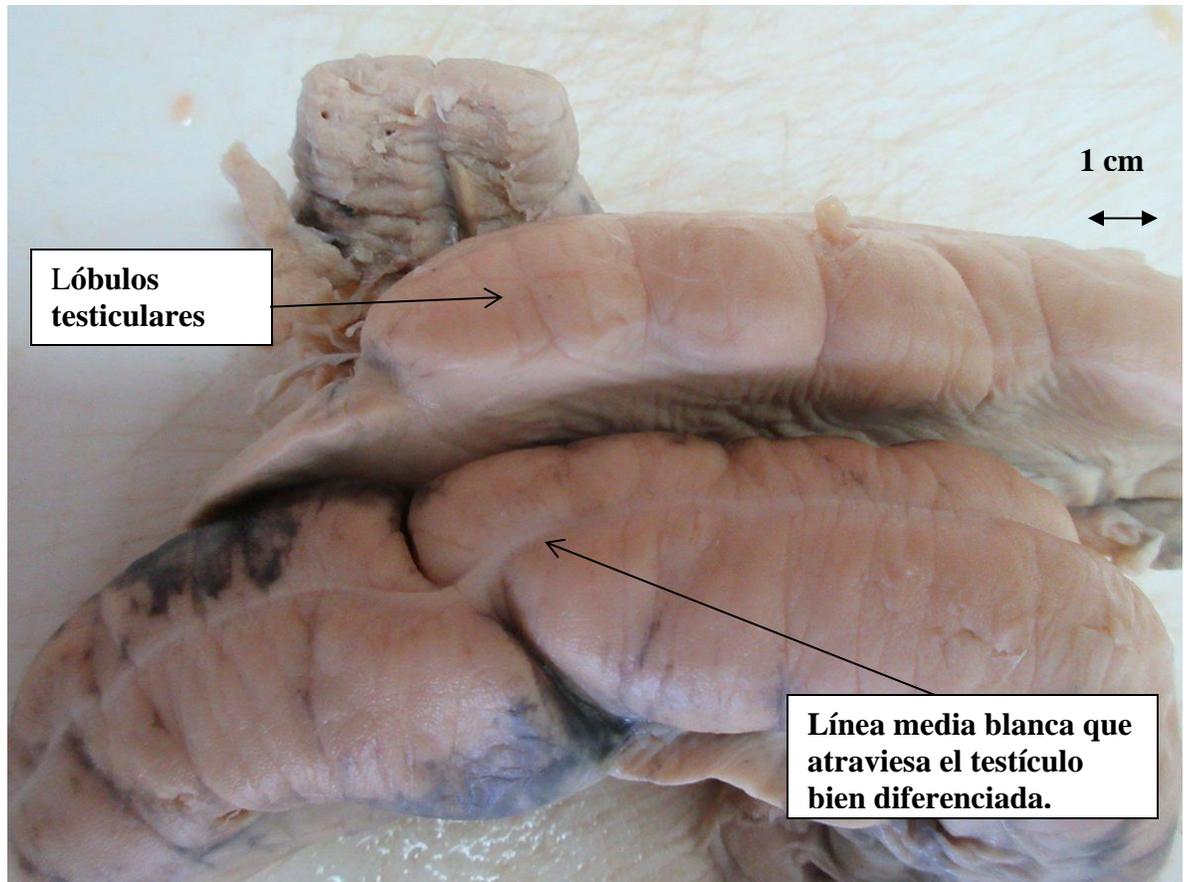


Figura 26. Testículos de un organismo maduro de *H. francisci*.

Se tomó en cuenta la morfología observada los testículos, el rifodón y las características del gonopterigio para poder construir una tabla con las características de maduración a observar en los individuos para poder catalogarlos (Tabla 4).

Tabla 4. Características a observar en los distintos individuos inmaduros, en maduración y maduros.

| Estadio de desarrollo | Características morfológicas |
|-----------------------|--|
| Inmaduro | <p>Testículos pálidos sin desarrollo de lóbulos testiculares.</p> <p>Gonopterigio sin rotación, con poco crecimiento y sin calcificar.</p> <p>Sin apertura del rifodón.</p> <p>Ausencia de semen.</p> |
| En maduración | <p>Testículos con una coloración rosácea.</p> <p>Forma ligeramente elongada.</p> <p>Presencia de línea blanca media y aparecen algunos lóbulos testiculares.</p> <p>Gonopterigio con longitudes por arriba de los 3cm, con rotación y semicalcificados, Sin apertura del rifodón.</p> <p>Ausencia de semen.</p> |
| Maduro | <p>Testículos completamente lobulados.</p> <p>Coloración rosácea más intensa.</p> <p>Línea media blanca notoria y distinguible.</p> <p>Gonopterigio con longitudes por encima de los 4cm. Calcificado y con rotación de 360°.</p> <p>El rifodón presenta apertura.</p> <p>Puede o no haber presencia de semen.</p> |

Se muestra a continuación la comparación entre los tres estadios de maduración (Fig 28).

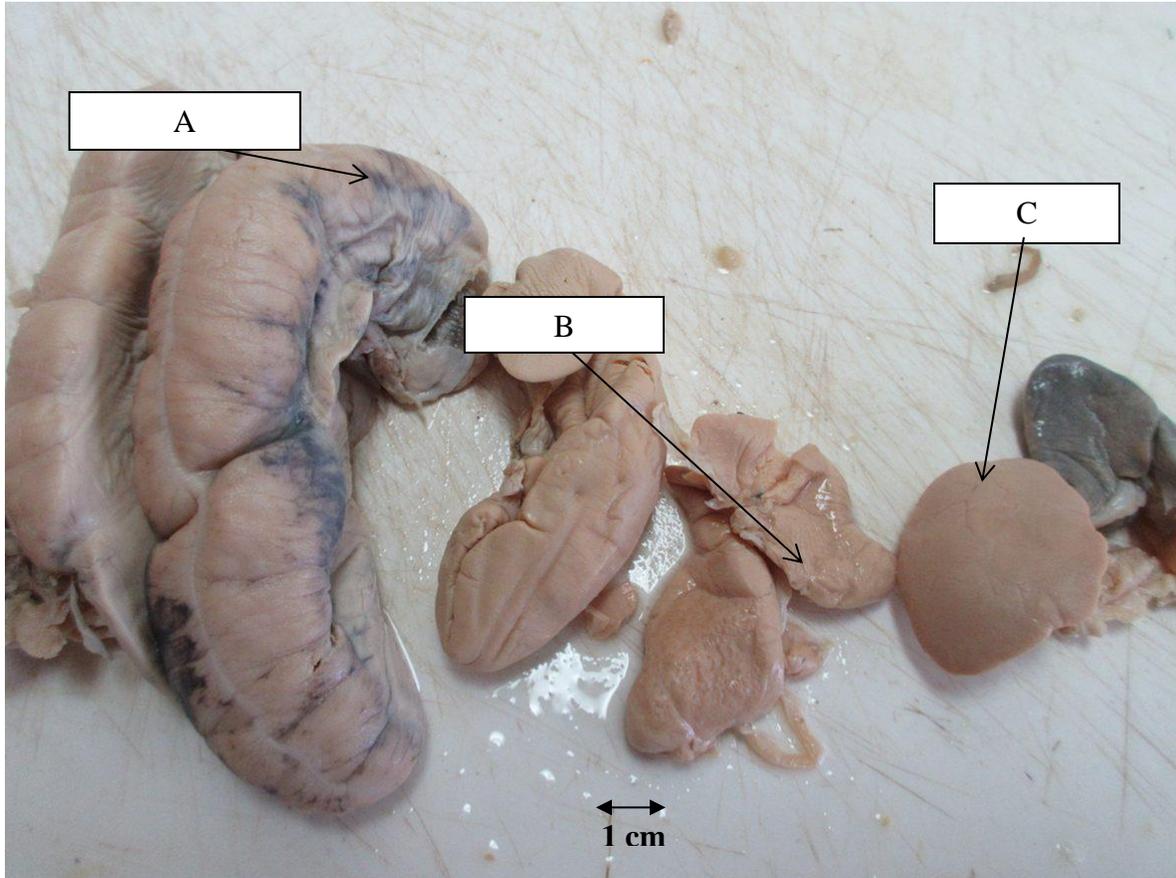


Figura 27. Se muestran los tres estadios de maduración en testículos de machos de *H. francisci*, A) Testículo de un organismo maduro, B) Testículo de un organismo en maduración C) testículo de un organismo inmaduro.

➤ Hembras.

Se analizaron un total de 37 gónadas de hembras, pudiéndose distinguir los tres estadios de maduración. Además, se detectó que solamente el ovario derecho es funcional, el izquierdo está ausente o vestigial. Ambas glándulas oviduales estaban presentes.

▪ Inmaduras.

En las gónadas analizadas, se observó que los ovocitos se presentaron un tamaño menor a 1 cm con coloraciones pálidas y de consistencia acuosa. La glándula ovidual apenas logra diferenciarse (si está presente) y los oviductos son delgados (Fig 29).

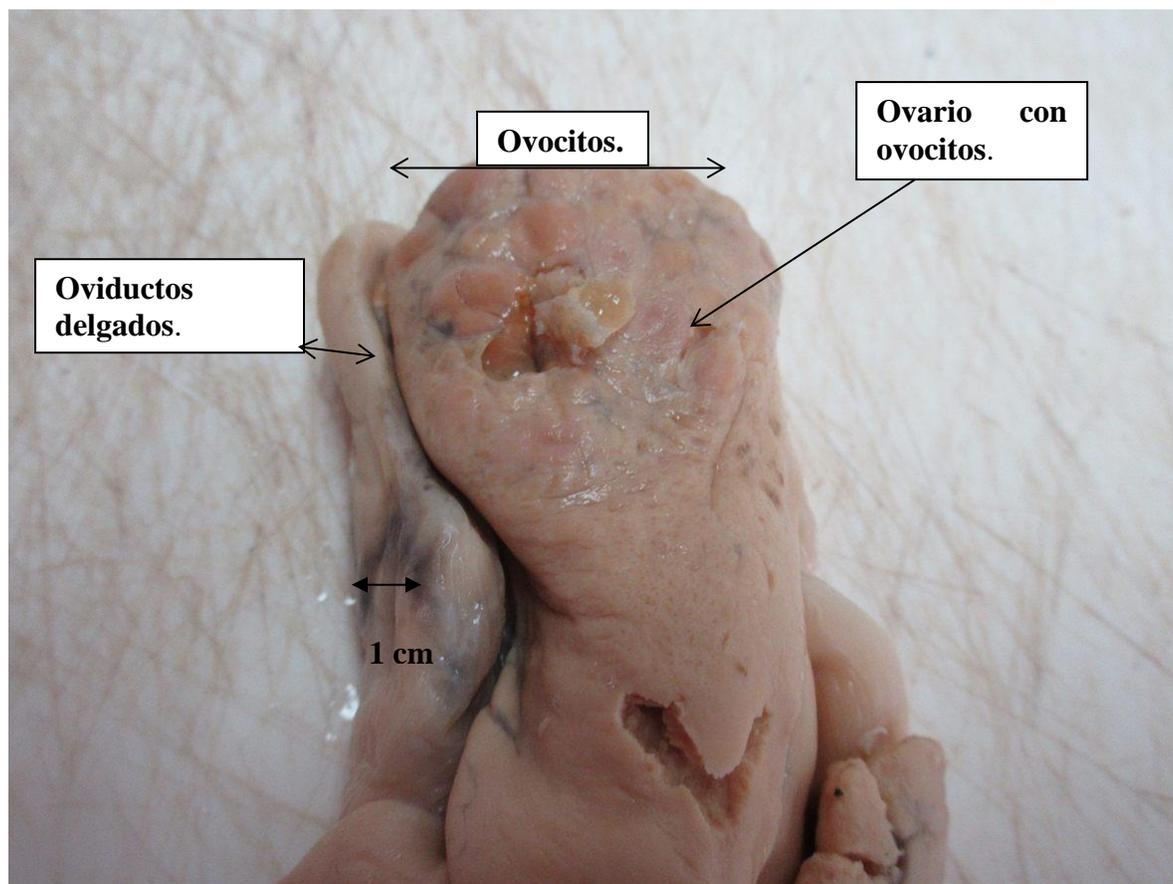


Figura 28. Aparato reproductor de una hembra inmadura de *H. francisci*

- En maduración.

Las hembras de esta categoría presentaban el oviducto diferenciado, aunque no grueso, la glándula oviducal estaba presente con una forma de corazón con un ancho que en promedio era de 2.372cm. Los ovocitos presentaban diámetros mayores y coloraciones más oscuras (Fig 30).

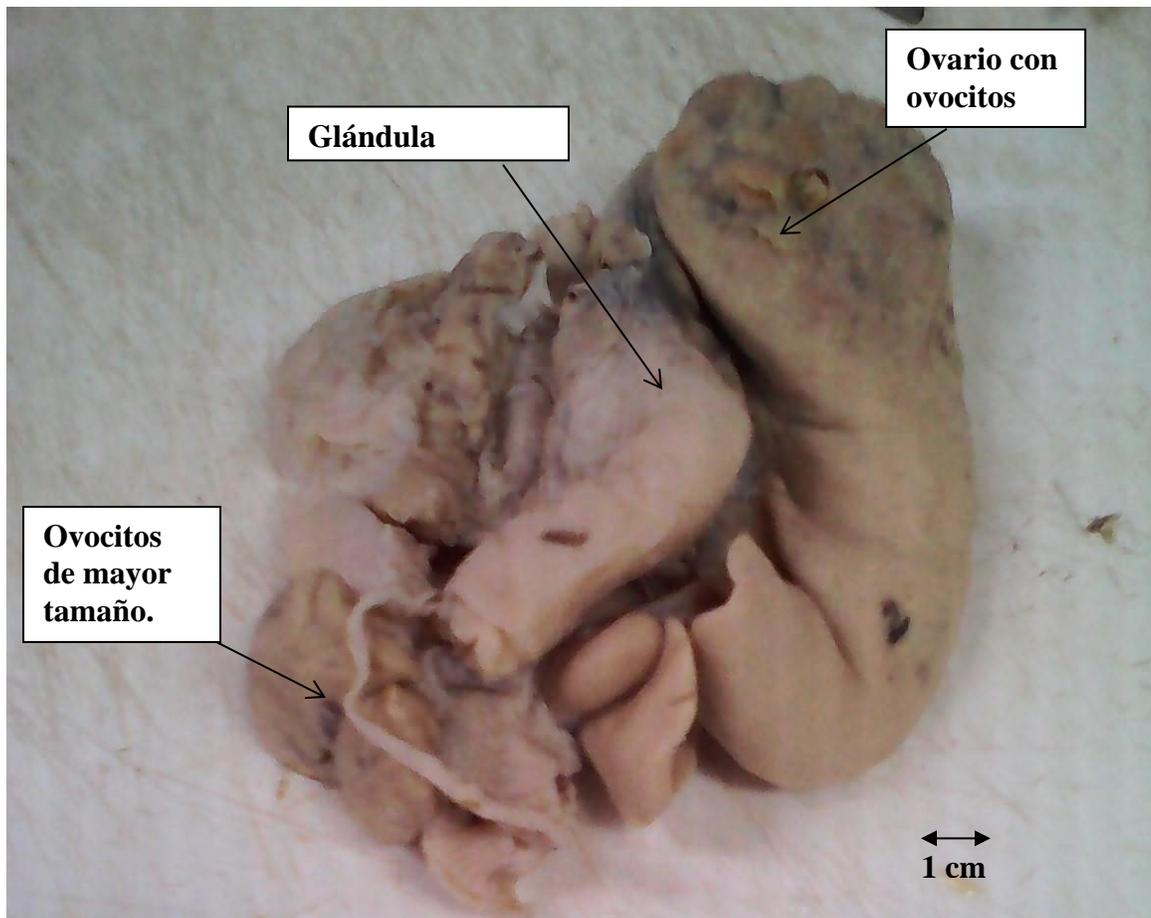


Figura 29. Aparato reproductor de una hembra en maduración de *H. francisci*

- Madura.

La glándula oviducal con un ancho promedio 39.06 cm. Forma de corazón muy distinguible. Ovarios grandes y con ovocitos de gran tamaño (diámetro promedio de 1.223 cm) y de coloraciones que iban de los rosas a los cafés intensos. Oviductos gruesos y bien diferenciados (Figs 31 y 32).

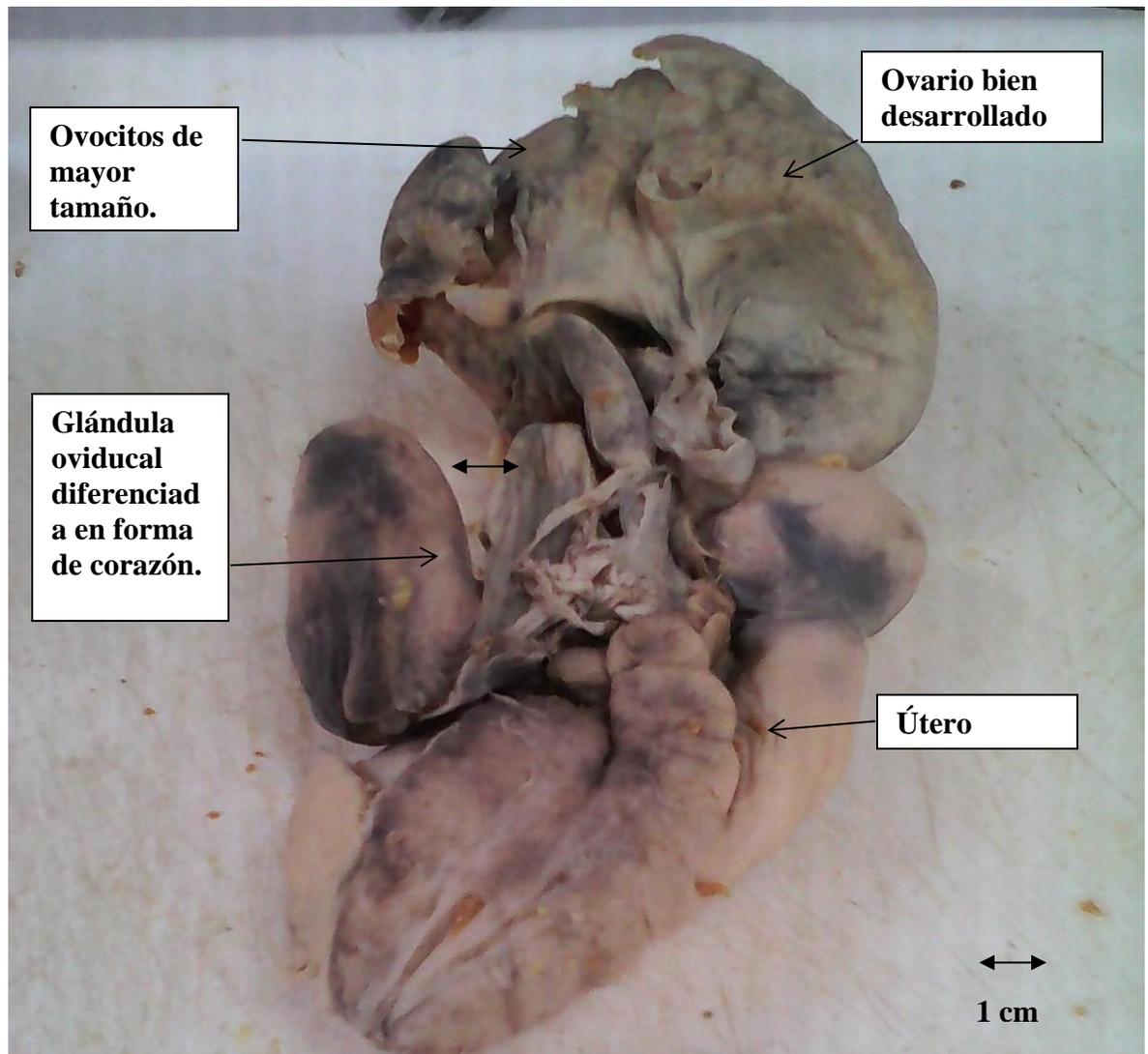


Figura 30. Hembra madura de *Heterodontus francisci*.



Figura 31. Diferencias en los tamaños y coloraciones de ovocitos de hembras de *Heterodontus francisci*.

En la figura 33 se muestra la comparación de los diámetros promedio en los ovocitos de las hembras de *H. francisci* respecto a los meses del muestreo. El diámetro máximo (1.53 cm) se encontró en el mes de marzo.

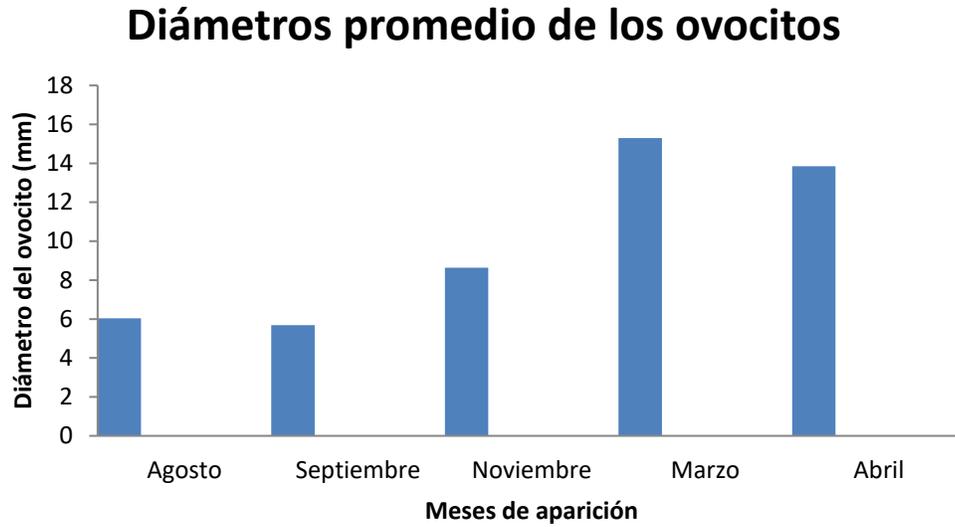


Figura 32. Diámetros promedio de los ovocitos de las hembras de *Heterodontus francisci*.

➤ Fecundidad ovárica

La frecuencia máxima presentada fue de 8.48 ovocitos. La mínima de 26.59 ovocitos y la frecuencia promedio de 17.54 ovocitos.

A partir de la morfología observada se construyó una tabla con las características distintivas de los estadios de maduración de las hembras (Tabla 5).

Tabla 5. Características morfológicas en los distintos estadios de maduración para hembras de *H. francisci*.

| Estadio de madurez | Características morfológicas |
|--------------------|---|
| Inmaduras | <p>Glándulas oviducales indiferenciadas.</p> <p>Oviductos blandos y delgados.</p> <p>Ovario pequeño con ovocitos acuosos y de coloración pálida.</p> |
| En maduración | <p>Glándulas oviducales diferenciadas en forma de corazón.</p> <p>Oviductos semigruesos.</p> <p>Ovarios de mayor tamaño con ovocitos de colores más oscuros.</p> |
| Maduras | <p>Glándulas oviducales totalmente diferenciadas en forma de corazón.</p> <p>Oviductos gruesos.</p> <p>Ovarios grandes con ovocitos de mayor tamaño y en coloraciones oscuras y de consistencia dura.</p> |

DISCUSIÓN

➤ Composición de las tallas.

En el presente estudio la talla mínima registrada es de 39cm LT y la máxima de 92cm LT. La talla máxima registrada en la literatura para *H. francisci* es de 122cm LT . La mayoría de los adultos se encuentra por debajo de los 97cm de LT de acuerdo a lo reportado con Compagno (2001) por lo tanto, se encontraron las tallas esperadas en esta especie.

La talla media de los organismos analizados durante los meses de captura fue de 66.17 cm de LT, un valor que es similar al registrado por Cortés (2015) en Bahía Tortugas, Baja California Sur donde presentan una talla media de 67cm de LT. Segura y colaboradores, (1996) registraron tallas entre los 29.1 a 76 cm de LT durante los meses de enero a febrero de 1992-1993 en la laguna de San Ignacio, Baja California Sur. El presente estudio registró tallas más elevadas para ambos sexos. Esto puede ser debido a que se trate de alguna segregación espacial por edades.

Al comparar las medias de LT entre machos y hembras durante los meses de captura con la prueba de t-student se encontró que no existieron diferencias significativas entre las tallas de ambos sexos. Esto puede atribuirse a que la mayoría de los individuos eran adultos maduros y ambos sexos tuvieron mayor frecuencia en las tallas de 71cm a 75cm de LT y siendo al arte de pesca utilizado una malla con una luz de 4 a 6 pulgadas esto evitaría que ciertas tallas pudieran ser capturadas.

➤ Composición de tallas para machos

En este estudio, se encontró que la media para los individuos maduros fue de 70.07cm de LT con tallas desde los 53cm hasta los 92cm de LT, valores que se aproximan con lo reportado por (Powter y Gladstone, 2008) donde determinan que *H. francisci* madura entre los 56 a 61 cm de LT para los machos. La media para los individuos inmaduros es de 54.35cm de LT y la de los individuos en maduración es de 59.99 cm de LT.

➤ Composición de tallas para hembras.

La talla media para los organismos inmaduros es de 69.91cm de LT con intervalos entre los 65 cm a los 70 cm; la media para los organismos en maduración es de 72.85 cm presentando tallas desde los 72 cm a los 74 cm y para los maduros es de 79.05 cm de LT desde los 70 cm hasta los 90 cm. Powter y Gladstone, (2008) mencionan en su estudio que las hembras maduran por encima de los 58 cm, sin embargo, en este estudio se observó que las hembras se encuentran totalmente maduras en promedio, a partir de los 79.05cm de LT. Es probable que estos valores se modifiquen si el muestreo se llegara a extender a más meses y al obtener más individuos, ya que sólo se contaron con 37 gónadas para su análisis en laboratorio, sin embargo Zárate (2002) hace énfasis en que los tiburones tienen ciclos reproductivos largos así que eso también puede influir en el desarrollo sexual tardío.

Las hembras presentaron las mayores tallas de LT (76cm-90cm) a comparación de los machos, esto puede ser debido a que requieren más espacio para llevar las cápsulas ovígeras, además, Cortés (2000) en su estudio indica que aproximadamente los machos

suelen ser un 10% más pequeños que las hembras, aunque ellos alcanzan más rápido su talla máxima.

- Distribución temporal de los organismos.

Ambos sexos estuvieron presentes en todos los meses de muestreo, siendo los machos más abundantes, con un pico en noviembre (otoño) y las hembras más abundantes en agosto (verano). Se tiene registro que esta especie se aparea entre diciembre-enero. (Compagno, 2001) esto podría explicar la abundancia de machos inmaduros en el mes de noviembre, puede ser que estén terminando de desarrollarse y se están preparando para la época reproductiva. Por otra parte, se observó que tanto hembras como machos presentaron una gran abundancia en el estadio reproductivo de maduros en el mes de agosto, puede sugerir que están en la época de la cópula, mientras que, en marzo, donde existen más hembras maduras puede ser el periodo de ovoposición debido a que en elasmobranquios, las hembras preñadas tienden a acercarse a la costa para dar a luz o, en este caso eclosionar. También puede deberse a que estén preparándose para la cópula.

Se sabe que los tiburones son especies migratorias y para *H. francisci*, se ha reportado este fenómeno de acuerdo a Compagno (2001) en invierno, estos tiburones migran a aguas más profundas, aunque el mecanismo es poco conocido. Por lo tanto, los machos podrían estar acercándose a la zona de apareo y las hembras podrían estar ya en aguas profundas siendo más difíciles de pescar.

Tanto en hembras como en machos, los meses con más organismos maduros fueron agosto y marzo. Compagno (2001) indicaron que el periodo de expulsión de huevos es entre los meses de enero a abril para *H. francisci*, en este estudio se encontró que en marzo ambos

sexos tienen una fuerte presencia, lo que podría concordar con el periodo de expulsión de huevos, pero en agosto también hubo un pico de organismos en ambos sexos, Powter y Gladstone (2007) encontraron un pico en la ovoposición en el mes de Agosto a Octubre para la especie *H. portusjacksoni* en New South Wales, Australia , en este estudio la abundancia de hembras en agosto, podría deberse a una ovoposición fuera de la temporada si las aguas eran frías ya que para ambas especies *H. francisci* y *H. portusjacksoni* la expulsión de huevos se da en invierno. Sin embargo, lo más probable es que se deba a la selectividad de los pescadores pues de acuerdo con Cortés (2015) el tiburón cornudo (*H. francisci*) es de interés pesquero para las flotas artesanales del noroeste de Baja California Sur y es una de las especies con mayor aparición en las redes de enmalle de los pescadores de la zona.

- Proporción de sexos.

La proporción sexual fue de 0.65 hembras por un macho (0.65H:1M). Por lo tanto, ($\chi^2=5.06$ $p>0.05$) existiendo diferencias significativas en la proporción de sexos. Debido a la falta de estudios para esta especie, no podemos tener un comparativo que nos indique qué podría estar pasando en la proporción sexual, es decir si los valores obtenidos en este estudio difieren o no de otros encontrados. Sólo se puede inferir acerca del tipo de área del que podría tratarse. Las áreas de crianza son zonas geográficamente discretas en el rango de distribución espacial de una especie donde las hembras grávidas expulsan a sus crías o depositan sus huevos, y donde los jóvenes pasan sus primeros momentos de vida, que pueden ser días, semanas, meses o años según la especie (Salomón *et al*, 2009), en este estudio no se encontraron neonatos, juveniles o huevos en ningún mes del muestreo, por tal razón podría no tratarse de un área de crianza. Si se analiza la proporción de sexos con base en el estadio de desarrollo sexual, resulta evidente que habían más organismos maduros (en

ambos sexos) que en las otras dos categorías, por lo tanto, podría inferirse que se trata de una zona en donde tanto hembras como machos, comienzan a reunirse en un punto geográfico para comenzar el apareo durante los siguientes meses. Se sabe que una estrategia reproductiva en tiburones involucra el apareo y el almacén del esperma por parte de las hembras, así que podrían aparearse y guardar el esperma en la glándula oviducal hasta el momento de la fertilización de los huevos. La abundancia de machos, podría explicarse debido a una segregación espacial del ciclo reproductivo, pues las hembras podrían estar madurando en mayores profundidades (Soto, 2014).

- Descripción macroscópica del aparato reproductor.

- Machos.

No se encontró una diferencia significativa en el tamaño de los testículos, pero, sí se encontró una diferencia en la forma que tienen según el estadio de madurez en el que se encuentren. Si los testículos presentan una forma más circular que elongada, y un gonopterigio de menos de 5cm, se trata de un organismo inmaduro. Si los testículos tienen una forma más elongada que circular, y un gonopterigio de mayores medidas, estamos ante un individuo en maduración. Un macho maduro tiene los testículos completamente lobulados, de gran tamaño y un gonopterigio de mayor longitud, en este estudio se encontró que el promedio es de 9.3cm.

Powter y colaboradores (2008) mencionan que la manera más viable de inferir el estado sexual de un macho es tomar en cuenta el tamaño del gonopterigio y el grado de calcificación, y, como complemento analizar la morfología macroscópica de la gónada. En este estudio se observó que, al analizar el gonopterigio y el grado de calcificación de los organismos y catalogarlo en algún estadio sexual éste, coincidía con el estadio sexual que se infería solamente observando la gónada. Por lo que, analizar los testículos podría ser una buena referencia si no se cuentan con los datos del gonopterigio y rifodón.

En su estudio, Powter y Gladstone (2008) indican que a partir de los 0.5 cm y la forma lobulada de los testículos se puede considerar a un organismo como maduro, la forma lobulada es la misma que se reportó en este estudio como parte distintiva en un testículo maduro. De igual forma, no encontraron diferencias significativas entre los testículos derecho e izquierdo. En el presente estudio tampoco se registró.

➤ Hembras

El estadio sexual se determinó mediante la condición de la glándula oviducal y los ovocitos. Se encontró que el ovario derecho es funcional y el izquierdo está ausente o vestigial. Validando lo encontrado por Powter y Gladstone (2008) y por Jones y colaboradores (2008) en sus respectivos estudios.

Al analizar la glándula oviducal, se encontró que la forma de corazón es distintiva en los organismos maduros de *H. francisci*, cuando ya es perceptible pero cuando no se encuentra totalmente desarrollada esta forma, se trata de una hembra en maduración y cuando no está o a penas se está formando es una hembra inmadura. Powter y Gladstone (2008) utilizaron la misma referencia en cuanto a la forma de la glándula oviducal para clasificar a las hembras en los estadios sexuales sólo que en su caso la forma no es reportada como de "corazón".

Cada ovario presentó distintos estadios de ovocitos sin dominancia alguna, esto indica que se trata de un desarrollo de tipo asincrónico. Powter y Gladstone (2008) tomaron como referencia que ovocitos a partir de 0.5 cm correspondían a una hembra en maduración (según las características de la glándula oviducal y/útero) y para considerar a una hembra totalmente madura los ovocitos debían tener medidas mayores a 3.5 cm. Jones *et al*, (2008) dividieron a las hembras en inmaduras si presentaban ovocitos menores a 2.5 cm y maduras si eran <2.5 cm. En este estudio se encontraron ovocitos mayores a 3.5 cm sólo en hembras totalmente maduras. Pero, tanto en hembras en maduración o inmaduras existía un amplio margen de valores en los ovocitos por lo que éstos no fueron el criterio definitivo al momento de catalogar a los organismos. Sin embargo, en ambos estudios y en el presente trabajo se encontró que a partir de los 0.5cm los ovocitos están completamente vitelogénicos.

- Tallas de madurez

- Hembras

Powter y Gladstone (2008) encontraron una relación fuerte entre el ancho de la glándula oviducal y la LT. En este estudio no fue posible corroborar dicha relación debido a la falta de ejemplares.

El valor de L_{50} para hembras corresponde a: 74.52cm de LT que es muy aproximado al que encontraron Jones *et al.* (2008) de 80-84.9cm y el 100% de las hembras se encuentran maduras por encima de los 90 cm. Aunque reportaron hembras maduras desde los 71.5cm. Este estudio identificó hembras maduras desde los 73cm LT aunque a partir de los 80cm de LT sólo existían organismos completamente maduros lo que podría acercarse a lo encontrado por Jones *et al.* (2008).

Powter y Gladstone (2008) reportaron valores de L_{50} de <90 cm. Probablemente si se ampliara la *n* de este estudio podrían encontrarse valores más altos de LT para la L_{50} como en el estudio de Jones *et al.* (2000) y Powter y Gladstone (2008).

- Machos

De los machos analizados la L_{50} arrojó un valor de 64.08cm de LT a la cual, se considera que los organismos ya son maduros. Jones y colaboradores (2000) encontraron un valor de L_{50} de 59.3 cm. Un valor aproximado al de este estudio. Reportaron que el 95% se encontrarían en el rango de 65-69.9 cm. Powter y Gladstone (2008) obtuvieron un valor más alto, de 71.06 cm de LT.

En el caso de los machos, el valor de L_{50} puede variar según el criterio utilizado. Los valores cambian si se usa la medida del gonopterigio o del testículo. Por ejemplo, Jones y colaboradores (2000) encontraron una diferencia de 1.2 cm para la L_{50} si usaban las gónadas (testículos) o si usaban el gonopterigio. (58.1cm 59.3 cm respectivamente).

Cortés (2000) indica en su estudio que las hembras tienden a tardar más en madurar y a vivir más años que los machos, esto podría explicar por qué los valores de L_{50} son más altos en hembras que en machos.

CONCLUSIONES

- Las tallas para los organismos de *H. francisci* en ambos sexos oscilaron entre los 39cm a los 92cm de LT.
- La talla máxima de machos fue de 92cm de LT y la talla máxima para hembras fue de 89cm de LT.
- Las hembras fueron más frecuentes en tallas mayores a 80cm de LT.
- *H. francisci* estuvo presente durante los meses de muestreo, que fueron: agosto, septiembre, noviembre, abril y marzo en Bahía Tortugas, Baja California Sur.
- Los machos fueron más abundantes en noviembre. Las hembras en agosto.
- Ambos sexos tuvieron mayor representatividad en la pesca en el estadio maduro.
- La proporción sexual (O.65H:1M) mostró una diferencia significativa.
- Los machos presentaron ambos testículos funcionales. No se encontró una diferencia significativa de tamaño entre el derecho y el izquierdo. Los testículos maduros son completamente lobulados.
- Las hembras presentaron sólo el ovario derecho funcional. El desarrollo de los ovocitos es asincrónico. La glándula oviducal alcanza su máximo ancho cuando el organismo está maduro.
- La talla de primera madurez en hembras fue de 74.52cm de LT y para machos de 64.08cm de LT.

El aumento de la explotación humana en las últimas décadas y la amenaza hacia los hábitats y su subsecuente deterioro constituyen una importante amenaza hacia las poblaciones de todo el mundo de tiburones. Un mejor entendimiento en la historia de vida de estas especies podría beneficiar en el desarrollo de modelos de la dinámica de las poblaciones y su demografía, que requieren conocimientos clave para construir un plan de manejo y conservación de este grupo (Cortés, 2000).

LITERATURA CITADA.

- Awruch, C. (2013). Reproductive endocrinology in chondrichthyans: The present and the future. *General and Comparative Endocrinology*. 192, 60-73.
- Bussing, A. (2002). *Peces de las aguas continentales de Costa Rica*. San José, C.R. Ed. Universidad de Costa Rica. 468 pp.
- Caravaca, F; J, Castel; L, Guzmán; M, Delgado; Y, Mena; J, Alcalde; P, González. *Bases de la Producción Animal*. (2003). Universidad de Sevilla. 511 pp.
- Carrier, J; J, Musick; M, Heithaus. (2012). *Biology of Sharks and Their Relatives*. Segunda edición. CRC Taylor & Francis Group. 666 pp.
- Castillo, L; S, Soriano; R, Villaseñor (2008). *Pesquerías mexicanas de tiburón en el océano Pacífico*. *Pesquerías Latinoamericanas.*, pp. 211-244.
- Compagno, L. (2001). *Sharks of the world, an annotated and illustrated catalogue of shark species known to date, Volumen 2: Heterodontiformes, Lamniformes, and Orectolobiformes*. Roma. Ed. Food and agriculture organization of the united nations (FAO). *Species catalogue for fishery purposes No. 1, Vol. 2*, pp. 32-37.
- Cortés, E. (2000). Life History Patterns and Correlations in Sharks. *Reviews in Fisheries Science*, 8:4, 299 - 344.
- Crawshaw, L; H, Hammel. (1973). Behavioral Temperature Regulation in the California Horn Shark, *Heterodontus francisci*. *Brain Behavior and Evolution*. Vol 7. 447-452.
- Eayrs; S. *Guía para Reducir la Captura Incidental (bycatch) en las Pesquerías por Arrastre de Camarón Tropical*. (2007). FAO. Australia, pp. 5-10.

- Espinosa-Pérez, H; J, Castro-Aguirre; L, Huidoboro-Campos. (2004). Listados Faunísticos de México IX Catálogo sistemático de tiburones (Elasmobranchii-Selachimorpha). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. pp 21-23.
- Estrada, E; M, Uribe. Atlas de Histología De Vertebrados. (2002). Universidad Nacional Autónoma de México. Primera edición. México, pp. 149-151.
- FAO, (2016). <http://www.fao.org/fishery/species/12655/en>
- Furlong-Estrada, E; J, Tovar-Águila; E, Ríos. (2014). Evaluación de riesgo ecológico de la pesca artesanal para los tiburones capturados en la entrada del Golfo de California. Hidrobiológica vol.24 (2) : 83-97.
- Galván, F; H, Nienhuis; A, Klimley. (1989). Seasonal abundance and feeding habits of sharks of the lower (Gulf of California, Mexico. Calif. Fish and Game. 75(2): 73-83.
- Girard, C. F. (1855) Characteristics of some cartilaginous fishes of the Pacific coast of North America. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 7: 196-197
- Granado-Lorencio, C. (2002). Ecología de peces. Sevilla. Ed. Universidad de Sevilla, pp. 164-187. (figura 2).
- Grijalba-Bendeck, M., A. P. Acero y E. González. (2008). Biología reproductiva de *Rhinobatos percellens* (Walbaum, 1792) (Batoidea: Rajiformes) en el Caribe colombiano. Revista de Biología Marina y Oceanografía 43(3): 469-481.
- Guisande-González, C; P, Pascual-Alayón; J, Baro-Domínguez; C, Granado-Lorencio; A, Acuña-Couñago, A; Manjarrés-Hernández, P; Pelayo-Villamil. (2013). Tiburones, rayas, quimeras, lampreas y mixínidos de la costa Atlántica de la península Ibérica y Canarias. Ed. DíazDeSantos, pp. 12-31.

- Hamlett, W. (2005). Reproductive Biology and Phylogeny of Chondrichthyes Sharks, Batoids and Chimaeras. Estados Unidos. Ed. Science Publishers, Inc, pp. 81-237.
- Huber, D; T, Eason, R, Hueter; P, Motta. (2005). Analysis of the bite force and mechanical design of the feeding mechanism of the durophagous horn shark *Heterodontus francisci*. *Journal of Experimental Biology* Vol. 208 3553-3571.
- Jones, N; RC, Jones. (1982). The Structure of the Male Genital System of the Port Jackson Shark, *Heterodontus portujacksoni*, with Particular reference to the Genital Ducts. *Australian Journal of Zoology* 30(4) 523-541.
- Lista roja de la IUCN, <http://www.iucnredlist.org/details/full/39333/0>
- Meza, H. (2014). Aspectos reproductivos de la raya *Zapteryx exasperata* (Jordan & Gilbert, 1880) (Chondrichthyes: Rhinobatidae) en Bahía Tortugas, Baja California Sur. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar, campus Puerto Ángel, pp 14-15.
- Mollet, H; Cliff, J; Pratt Jr. H. y Stevens J. (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.
- Morales, M; E, Lluch; E, Serviere; S, Guzmán. (2011). Modeling an exploited rocky coastal ecosystem: Bahia Tortugas, México. *Ecological Modelling*. (222) : 1185-1991.
- Moreno Sánchez X. G. (2002). Composición ictiofaunística de Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, México, pp, 117 .
- Mourato, BL; R, Coelho; A, Amorim; F, Carvalho; F, Hazin; G; Burgess. Talla de madurez y relación peso-talla del tiburón de profundidad *Etmopterus bigelowi*(Squaliformes: Etmopteridae) capturado en el sudeste de Brasil. (2010). *Ciencias Marinas*. Vol. 36. (4) : 323-331.

- Norris, D; K, López. Hormones And Reproduction Of Vertebrates Fishes (2011). Elsevier. Vol. 1, pp. 65-71.
- Powter, D; Gladstone, W. (2008). The reproductive biology and ecology of the port Jackson shark, *Heterodontus portusjacksoni* in the coastal waters of eastern Australia. *Journal of Fish Biology*. 72, 2615-2633.
- Pratt, H. (1988). Elasmobranch Gonad Structure: A Description and Survey. *Copeia*. (3) 719-729.
- Pratt, H. (1993). The storage of spermatozoa in the oviducal glands of western North Atlantic sharks. *Environmental biology of fishes*. (38) 129-149.
- Rochin, A. Efecto Económico En la Pesquería de Tiburones y Rayas al Aplicar Medidas Regulatorias en la Costa Occidental de B.C.S, México. (2014). Tesis Maestría. Instituto Politécnico Nacional, pp- 25-30.
- SAGARPA(2015)<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/bajacalifornia/Boletines/2015/febrero/Documents/2015B099.pdf>
- Salomón-Aguilar, C; C, Villavicencio-Garayzar; H, Reyes-Bonilla. (2009) Zonas y temporadas de reproducción y crianza de tiburones en el Golfo de California: Estrategia para su conservación y manejo pesquero. *Ciencias Marinas*. 35 (4) : 369-388.
- Segura, J; L, Abitia; F, Galván. (1997). Observaciones sobre la alimentación del tiburón *Heterodontus francisci*, Girard 1854 (Chondrichthyes: Heterodontidae) en Laguna de San Ignacio, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*. 23(1): 111-128.
- Smith, W; J, Bizzarro; GM, Cailiet. (2009). La pesca artesanal de elasmobranchios en la costa oriental de Baja California, México: Características y consideraciones de manejo. *Ciencias Marinas*. 35(2): 209-236.

- Sokal, R; J, Rohlf (1980). Introducción a la Bioestadística. Sevilla. Ed. Reverté, pp, 27-30.
- Soto, K. (2014) Biología Reproductiva de la raya Raja velezi (Chirichigno,1973) en el suroeste de la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz. 72 pp.
- Tovar, J; T, Walker; R, Day. (2007). Reproduction of *Heterodontus portusjacksoni* in Victoria, Australia: evidence of two populations and reproductive parameters for the eastern population. Marine and Freshwater Research. Vol. 58, 956-965.
- Vanuccini , S. (1999). Shark utilization, marketing and trade. Roma. Ed. FAO Fisheries Technical Paper 389.
- Vázquez, D; A, Ibarra; S, Martínez; I, Julián; R, Sáez. Diccionario de Ciencias. (2004). Edit. Complutense. Madrid.
- Zárate, P. (2002). Tiburones. Especies no extractivas. Vol. (20) 373-388