



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO**

Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Proyecto de investigación de Servicio Social:

Caracterización morfológica del tracto reproductor de machos y hembras de tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*).

Alumna: Sánchez Espino Mónica Lizbeth.

No. Matricula: 2172033146

Fecha de Inicio: 01/03/2024

Fecha de Conclusión: 01/09/2024

Dr. Adrián Guzmán Sánchez

Asesor Interno

Dr. Felipe Galván Magaña

Asesor Externo

Sánchez Espino Mónica Lizbeth

Alumna

Resumen

El tiburón martillo liso o cornuda prieta (*Sphyrna zygaena*) es clasificado como vulnerable según la Lista Roja de la UICN y habita en áreas tropicales y templadas alrededor del todo el mundo. El tiburón martillo liso, es considerado una de las especies de tiburón menos estudiada, se desconocen aspectos relacionados con su biología reproductiva, lo cual es importante conocer para entender la dinámica poblacional de esta especie. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es documentar las características morfológicas del tracto reproductor de esta especie y analizar la relación entre la talla y el desarrollo gonadal en dos zonas de la costa occidental de Baja California Sur, México. La investigación incluyó la recolección de 466 ejemplares de *Sphyrna zygaena* capturados entre 2011 y 2017, en áreas de pesca artesanal de Punta Lobos y Bahía Tortugas, Baja California Sur. Se determinó la proporción de sexos de 1.25 hembras por macho. Se evaluaron las características morfológicas de los órganos reproductores de ambos sexos, clasificándolos en inmaduros, semimaduros y maduros según la presencia y desarrollo de estructuras específicas de las gónadas. Los resultados indican que la longitud total está correlacionada con el desarrollo de las estructuras reproductivas.

Introducción

Los Condrictios (Chondrichthyes), vertebrados conocidos como peces cartilaginosos, engloba a las subclases Holocefalos (Quimeras) y Elasmobranquios (tiburones y rayas). En esta clase se estiman alrededor de 900 especies de tiburones y rayas que se encuentran en tres hábitats diferentes incluyendo marinas, agua dulce y eurihalinas (UNAM-CNPE, 2011; White *et al.*, 2012; Bonfil, 2014).

En México en la subclase de Elasmobranquios, desde el punto de vista taxonómico, se agrupa en 83 géneros, 39 familias y 13 órdenes. Esta subclase la representan 211 especies de las cuales siete son quimeras, 95 son rayas y 109 tiburones, lo cual se considera casi 18% del total de especies vivientes de los Condrictios a nivel mundial (Del Moral & Pérez, 2013). Dentro de la subclase de Elasmobranquios, se encuentra el orden Carcharhiniformes (Schoch *et al.*, 2020). La especie *Sphyrna zygaena* (tiburón martillo o cornuda prieta) es parte del orden Carcharhiniformes, familia Sphyrnidae y género *Sphyrna* (Froese y Pauly, 2024).

El tiburón martillo liso o cornuda prieta (*Sphyrna zygaena*) está clasificado en peligro de extinción a nivel mundial. En 2018 ingreso a la Lista Roja como Especie Amenazada de La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), figurando como especie vulnerable según el criterio A2bd (UICN, 2019). La cornuda prieta fue incluida en el Apéndice II en la 16ª Reunión de la Conferencia de las Partes (CoP16) de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) como especie amenazada en 2013 (CITES, 2015). Las cornudas prietas se

encuentran en aguas poco profundas de mares tropicales y templados, principalmente en áreas oceánicas, realizando migraciones a latitudes más frías en el verano (Castillo y Tovar, 2016).

Aunque estos animales se acercan a la costa para buscar alimento, se presume que eligen áreas resguardadas cercanas a la costa para llevar a cabo su reproducción. El tiburón martillo liso puede encontrarse en el Océano Pacífico Oriental desde las costas del norte de California hasta el Golfo de California y desde Panamá hasta Chile, incluyendo las Islas Galápagos y las Islas de Hawai. En el Océano Pacífico Occidental se encuentran desde el sur de Japón hasta Vietnam y en la costa sur de Australia y Nueva Zelanda. En el Atlántico occidental, en Escocia a Florida, desde el sur de Brasil hasta el sur de Argentina. En el Atlántico norte oriental, se localizan en el mediterráneo e Islas Británicas a Senegal, Islas de Cabo Verde, Guinea y Costa de Marfil y en océano Índico occidental, en Sudáfrica y sur Mozambique, India y Sri Lanka (Compagno *et al.*, 1984; Compagno *et al.*, 1995).

Planteamiento del problema y justificación

Los elasmobranchios forman parte de un conjunto de especies poco explorado en lo que respecta a sus rasgos biológicos y procesos de reproducción. La información existente sobre su ciclo de vida y actividad reproductiva se fundamenta principalmente en algunas especies de interés comercial. La capacidad reproductiva exhibe singularidades evolutivas y fisiológicas que son notables en estos peces cartilaginosos. Aunque existe evidencia de estudios previos sobre la reproducción en otras especies, aún queda por documentar las características morfológicas reproductivas en la mayoría de las especies de tiburones y rayas en comparación con otros organismos (Piercy *et al.*, 2016; García *et al.*, 2021).

En este sentido, una de las especies de tiburón menos estudiada es el *Sphyrna zygaena*, del cual se desconocen aspectos como las tasas de natalidad, tasas de crecimiento y aspectos relacionados con su biología reproductiva, incluyendo las dimensiones de madurez sexual lo cual es importante para conocer la dinámica poblacional de esta especie. A pesar de que el tiburón martillo liso forma parte de la familia Sphyrnidae la cual es de interés comercial, la mayoría de las capturas de este tiburón corresponden a individuos juveniles, sin embargo, a la fecha no ha sido debidamente documentada, debido a las complicaciones inherentes en la obtención de datos, atribuibles a la movilidad estacional de sus poblaciones. Lo anterior, resalta la importancia crítica de continuar generando información biológica-pesquera para una gestión efectiva de la especie (Nava y Márquez, 2014; Romero *et al.*, 2016). Considerando que algunos aspectos relacionados con la morfología de ciertas estructuras reproductivas no han sido abordados previamente en algunas especies de la familia Sphyrnidae, es importante proporcionar una descripción morfométrica del tracto reproductor de machos y hembras del tiburón *S. zygaena*.

Objetivos

Objetivo general

Caracterizar la morfología reproductiva del tiburón martillo liso o cornuda prieta (*Sphyrna zygaena*) en la zona de Bahía Tortugas y Punta Lobos, Baja California Sur, México.

Objetivos específicos

- Describir la morfología macroscópica del aparato reproductor de machos y hembras de tiburón martillo.
- Determinar las tallas del tracto reproductor de machos y hembras de tiburón martillo.
- Analizar la relación morfométrica entre la talla y el grado de desarrollo gonadal en de tiburón martillo.

Antecedentes

Características generales de la población de estudio

Los elasmobranquios son considerados estrategias tipo K debido a su bajo potencial reproductivo a lo largo de su ciclo de vida teniendo un crecimiento lento, una amplia variabilidad en la edad de madurez sexual la cual oscila entre los 6 y 18 años, y periodos de gestación prolongados que van de los 9 a 12 meses, dependiendo de la especie (Cortés *et al.*, 2010; SEMARNAT, 2018).

Durante el periodo reproductivo, se observan uno o dos picos de nacimientos, estableciendo así un ciclo reproductivo anual, bienal o incluso trienal. La reproducción es sexual, emplea exclusivamente la fertilización interna durante la reproducción, y los modos reproductivos son diversos (UNAM-CNPE, 2011; Penfold y Wyffels, 2019; García *et al.*, 2021, Marongiu *et al.*, 2021; Katona *et al.*, 2023). Los modos de reproducción están determinados por el lugar de desarrollo del embrión (interno o externo) y la forma en que reciben nutrición los productos durante su desarrollo (matotrófico y lecitotrófico).

Entre los modos lecitotróficos de reproducción se incluyen tanto la oviparidad como la viviparidad donde el único alimento proviene del saco vitelino (UNAM-CNPE, 2011; Penfold y Wyffels, 2019; García *et al.*, 2021). Los modos de reproducción matotróficos, abarcan la incorporación de una fuente de nutrición suplementaria en algún momento del proceso embrionario, manifestándose a través de histotrofia lipídica, ya sea con huevos fertilizados o no fertilizados, o mediante la formación de una pseudo-placenta (García, *et al.*, 2021).

La morfología del aparato reproductor en elasmobranquios hembras presentan una variedad de especializaciones ligadas a los diferentes modos de reproducción. De manera general, siguiendo el eje longitudinal del animal, podemos encontrar dos ovarios, un único ostium, dos oviductos divididos en anterior y posterior con una glándula oviducal cada uno, dos istmos, dos úteros funcionales que finalizan en el cuello uterino y un esfínter en la sección posterior

(Hamlett et al., 1998; Hamlett et al., 2005; García et al., 2021; Marongiu et al., 2021).

El proceso de desarrollo y diferenciación del gametofito femenino y ovocito se produce en los ovarios, los ovocitos maduros se liberan en el celoma y son transportados al ostium por la acción de los cilios. El ostium, con forma de embudo, facilita el paso de ovocitos no fecundados a la parte anterior del oviducto y, posteriormente, a la glándula oviducal, desempeñando una función primordial para la fecundación de los ovocitos y el almacenamiento de espermatozoides (Hamlett et al., 1998; Hamlett et al., 2005; García et al., 2021; Marongiu et al., 2021).

Además, la glándula oviducal contribuye a la formación de la envoltura terciaria, donde en ovíparos los óvulos fertilizados se encapsulan en una cápsula de huevo y en vivíparos se empaquetan individualmente en una envoltura de huevo. Internamente, las hembras tienen un útero (batoideos) o dos úteros (tiburones) funcionales dependiendo de la especie, donde se desarrollan los embriones o se guardan los huevos hasta su puesta (Hamlett et al., 1998; Hamlett et al., 2005; García et al., 2021; Marongiu et al., 2021).

Previos reportes han descrito que existen diferencias importantes en el tracto reproductivo del orden Carcharhiniformes, (García et al., 2021). En hembras los elasmobranquios, los ovarios en desarrollo están presentes en pares y son simétricos; sin embargo, en la mayoría de los géneros estudiados, como *Scylorhinus*, *Pristiophorus*, *Carcharhinus*, *Mustelus*, *Sphyrna* y *Cethorhinus*, sólo el ovario derecho es funcional. En algunos casos, como en *Urolophus* y *Dasyatis*, sólo el ovario izquierdo es funcional; mientras que, en otros, como en *Squalus acanthias* y *Scoliodon sorrahkawah*, ambos ovarios son funcionales (Dodd, 1983).

A diferencia de las hembras, parte del sistema reproductor en los tiburones machos se encuentra, de manera externa, constituido por papilas urogenitales que son prolongaciones de las aletas pelvianas denominados gonopterigios que se calcifican con la madurez sexual y se utilizan como órganos intromitentes para la fertilización interna (Coetzee et al., 2021; García et al., 2021).

Los aparatos reproductores masculinos pueden ubicarse a lo largo de la cavidad pleuroperitoneal, comprendiendo los pares de testículos con una capa germinal a lo largo de ellos que sirve como origen de la espermatogénesis. Los testículos están conectados a los conductos eferentes, con dos tractos genitales por la parte contorneada craneal llamada epidídimo, seguido por los conductos deferentes o conductos de Wolff. La glándula de Leydig está formada por la parte craneal del mesonefro y produce el líquido seminal y la matriz donde se forman los espermatozeugmas o espermátóforos se encuentra adyacente al conducto deferente y vacía su contenido sobre él y sobre el epidídimo (García et al., 2021; Coetzee et al., 2021). En la parte caudal se localizan las vesículas seminales donde se almacena el esperma, así como las glándulas accesorias y un par interno de sacos sifón con un par de papilas urogenitales que se encuentran externamente. En algunas especies, se puede encontrar una estructura similar

a una bolsa en la superficie ventral de la vesícula seminal, el saco de esperma, donde se almacena el esperma maduro hasta el apareamiento (García *et al.*, 2021; Coetzee *et al.*, 2021).

Características específicas de la especie *Sphyrna zygaena*.

El tiburón martillo liso, presenta los lóbulos cefálicos largos y estrechos con un margen anterior sin la presencia de una hendidura o muesca central. Esta especie tiene un color oliváceo a pardo-grisáceo en la parte dorsal y una tonalidad más clara en la parte ventral; el extremo ventral de las aletas pectorales es oscuro. La primera aleta dorsal es grande con el margen posterior ligeramente falciforme, mientras que las aletas pectorales son cortas y de forma recta, la aleta anal tiene una muesca prominente (Figura 1) (Compagno *et al.*, 1984; Compagno *et al.*, 1995).

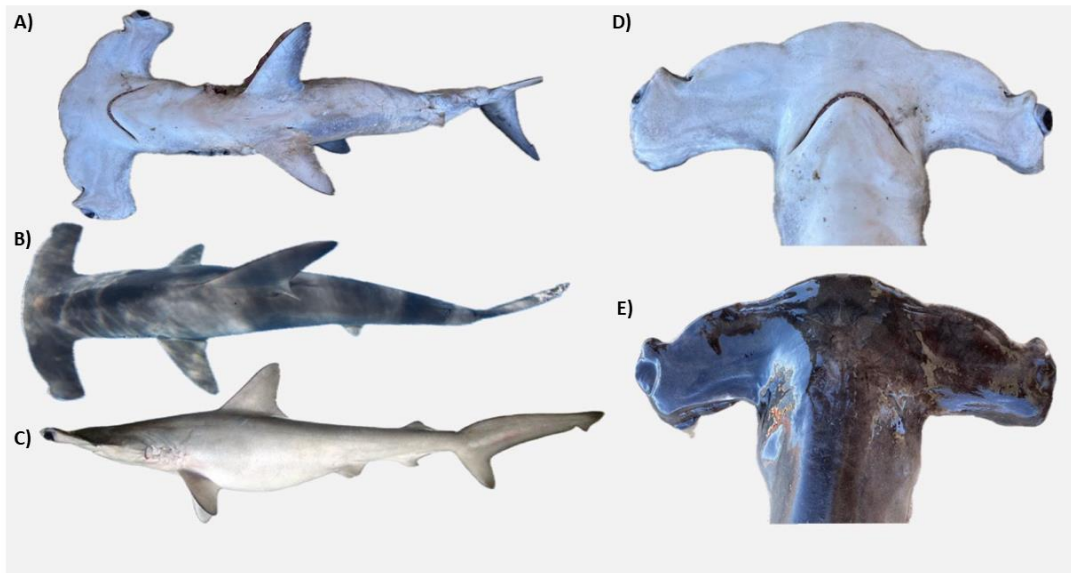


Figura 1. Ilustración del tiburón *Sphyrna zygaena*. A) Posición decúbito dorsal, B) Posición decúbito ventral, C) Posición decúbito lateral izquierdo. D) Cabeza en posición decúbito dorsal y E) Cabeza en posición decúbito ventral. (Imágenes obtenidas y editadas de campo y de Shark and Ray, 2024).

La longitud total (LT) de la cornuda prieta va de los 250 a 350 cm, raramente alcanza los 400 cm (Compagno *et al.*, 1984; Ferrari y Ferrari, 2001). Nava y Márquez (2014), reportan una longitud total de 286.3 cm en hembras y para machos de 278.0 cm. Un reporte bibliográfico reciente realizado por Mejía *et al.* (2022) ha revelado los hallazgos sobre la longitud total destacando que la longitud máxima alcanzada por los machos es de 313.85 cm, y para las hembras es de 298.96 cm, según el modelo de von Bertalanffy.

El tiburón martillo liso es una especie vivípara placentaria, con un periodo de gestación de 10 a 11 meses y un elevado número de crías que puede ir de 29 a 37 por camada (Compagno *et al.*, 1984, Smale, 1991; Compagno *et al.*, 1995;

Tricas *et al.*, 1998; White *et al.*, 2006; Miller, 2016). En cuanto a la madurez sexual, lo mínimo reportado en machos es de 193.7 cm de LT (Nava y Márquez, 2014), mientras que diversos autores postulan que van desde los 210 y 256 cm de LT (Smale, 1991; Compagno *et al.*, 1984, Compagno *et al.*, 1995; Tricas *et al.*, 1998). En hembras adultas se considera que son maduras después de los 240 cm de LT (Compagno *et al.*, 1984), difiriendo con otro autor donde se considera que es 200 cm LT (Nava y Márquez, 2014).

Material y Métodos

La presente investigación se realizó con un diseño no experimental de tipo transversal, descriptivo y observacional.

Zona de estudio

Bahía Tortugas, se encuentra situada en el centro de la Costa Occidental de la Península de Baja California, con extensión de aproximadamente 20.5 km y una profundidad que varía de 11 m en el centro a 10 m en la boca, cerrándose por puntas rocosas de origen ígneo, una de las cuales se extiende hacia el sureste con pequeños islotes que reducen la fuerza del oleaje y las corrientes. En esta región se presentan cambios estacionales en la temperatura, transición entre aguas templadas y cálidas; oscilando desde 12.7°C en mayo hasta 19°C en agosto (Figura 2) (Guzmán *et al.*, 1991; Lorenzo *et al.*, 2004).

Punta Lobos, ubicado en 23° 24' 27" Latitud Norte y 110° 13' 58" Longitud Oeste, presenta temperaturas medias anuales de 20-22° C (Ramírez *et al.*, 2013). influenciada por dos grandes sistemas de corrientes, la corriente de California que transporta aguas de origen subártico hacia el sur y la corriente Norecuatorial que transporta aguas de origen trópico-occidental caracterizados por altos valores de temperatura y salinidad, así como niveles bajos de oxígeno disuelto (Figura 2) (Sverdrup *et al.*, 1943).

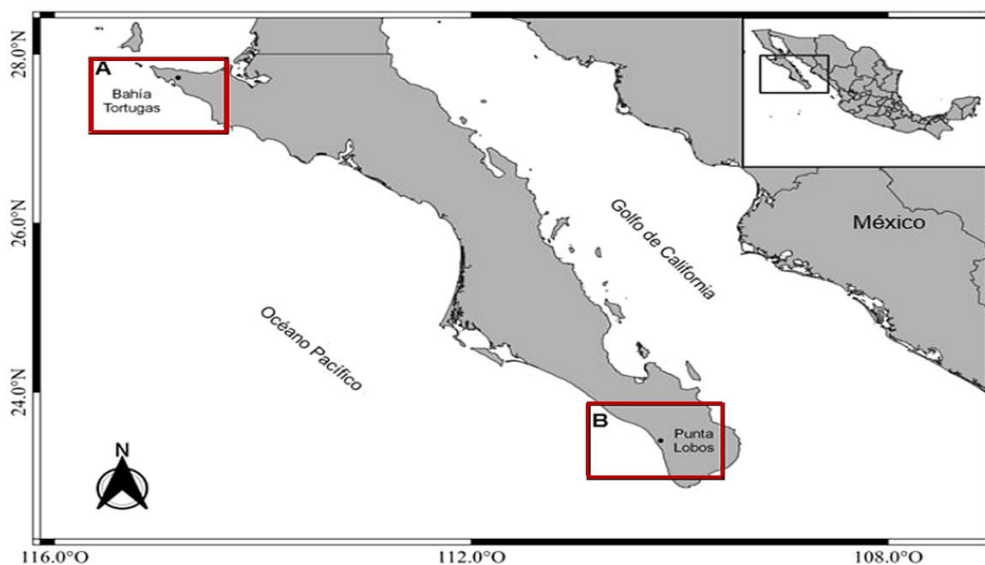


Figura 2. Sitios de muestreo: campamento pesquero de Bahía Tortugas (A) y Punta Lobos (B).

Captura y recopilación de datos de los especímenes.

La información biológica de los ejemplares de *Sphyrna zygaena* recolectados en el presente estudio provinieron de la captura artesanal de tiburones, realizada en el área de los campos pesqueros de Bahía Tortugas y Punta Lobos, B.C.S, México obtenidos en los años 2011, 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017.

Para la captura de *S. zygaena* e incluidos otros elasmobranquios en Bahía Tortugas los pescadores de la flota artesanal utilizaron una red de pesca de 4 a 6 pulgadas, con dimensiones de 1.5 km de largo y 2 metros de ancho, colocada a una profundidad de 25 brazas (50 metros). Se colocaron redes en los campos pesqueros operando durante toda una noche y posteriormente se colectaron al día siguiente. Por otro lado, en la zona de Punta Lobos los ejemplares fueron provenientes de la pesca artesanal realizada con palangre de superficie de 1 a 3 km de largo con anzuelos de 4 a 6 cm.

Una vez desembarcados los tiburones se llevó a cabo la identificación de los individuos de la especie *S. zygaena*, utilizando las claves de Compagno *et al.*, (1984) y Compagno *et al.*, (1995), posteriormente se midió la longitud total (LT) de cada ejemplar de cornudas capturadas, desde la punta del hocico hasta la punta de la aleta caudal (GTRT, 2010), utilizando una cinta métrica graduada en centímetros.

Se determinó el sexo por la presencia (machos) o ausencia (hembras) de gonopterigios. En machos se registró la longitud del gonopterigio, a su vez se estableció el grado de calcificación, rotación, apertura del rifiodón y la presencia de esperma, todo esto como indicadores de madurez sexual. Los machos que presentaron gonopterigios sin calcificar se consideraron como inmaduros o juveniles; los gonopterigios completamente calcificados con rotación fácil y con apertura del rifiodón se categorizaron como maduros o adultos. (Pratt, 1979; Carrera, 2007; Powter y Gladstone, 2008; Nava y Márquez, 2014; Estupiñán *et al.*, 2021).

En las hembras, se determinó su madurez a través de la presencia de ovarios agrandados, así como la observación de ovocitos grandes y la visualización del estado de desarrollo del útero y las glándulas oviduciales. Las hembras preñadas se detectaron por la presencia de embriones dentro del útero, los cuales en la medida de lo posible fueron medidos, sexados y contados (Pratt, 1979; Carrera, 2007; Powter y Gladstone, 2008; Nava y Márquez, 2014; Estupiñán *et al.*, 2021).

La obtención de gónadas se realizó mediante una incisión en la parte ventral, desde la cloaca hasta el centro de las aletas pectorales a la altura del esófago; facilitando la colecta de todo el aparato reproductor y exponiendo la cavidad pleuroperitoneal (García *et al.*, 2021). Los tractos se almacenaron en recipientes de plástico etiquetados con los detalles de su captura (fecha y número asignado, lugar de recolección, longitud total y nombre de la especie) con el fin de fijarlas en formol al 10%, posteriormente cada estructura reproductiva fue lavada de forma cuidadosa con agua corriente para remover el exceso de formol y arena,

con el fin de hacer un recambio a frascos con alcohol al 70% para preservarlas para su análisis.

Ubicación de procesamiento de muestras

Las muestras de los ejemplares de tiburones martillo recolectados fueron almacenados en el Laboratorio de Ecología de Peces del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) ubicado en Avenida Instituto, Politécnico Nacional SN, Playa Palo de Sta Rita, 23096 La Paz, B.C.S., para su estudio.

Procesamiento de muestras

En el caso de las hembras, se identificaron las partes que componen el tracto reproductivo, como es el ovario, las glándulas oviducuales y los úteros; se midió el ancho del útero, se determinó el promedio de ancho de ovocitos y ancho y largo de ambas glándulas oviducuales. Para los machos se extrajeron los testículos y cuando fue posible los epidídimos, ductos deferentes y vesícula seminal. Se midió el ancho de los testículos. Se utilizó un vernier y una regla de 30 cm para realizar las mediciones. Simultáneamente se procedió a realizar una descripción de la morfología macroscópica del aparato reproductor de machos y hembras.

Procesamiento de datos

Proporción de sexos

Para determinar la proporción de sexos, se contó el total de organismos de cada sexo y se dividió el número de hembras entre el número de machos. Para evaluar si existían diferencias significativas en la proporción de sexos, se utilizó la prueba de chi-cuadrado.

Estructura de tallas

La estructura de tallas se determinó a partir de la agrupación de datos con base a la frecuencia de aparición de los organismos, presentado mediante un histograma de tallas que distingue entre machos y hembras. 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.

Determinación del estadio madurez sexual

La determinación de estadio de madurez sexual se llevó a cabo mediante el análisis de las estructuras reproductivas de acuerdo con los resultados obtenidos de las medidas morfométricas teniendo en cuenta los criterios de (Soria, 2003); aunado a los rangos de tallas establecidos por los diversos autores, donde se pudieron clasificar en maduros, semimaduros e inmaduros (Tabla 1) (Smale, 1991; Compagno *et al.*, 1984, Compagno *et al.*, 1995; Tricas *et al.*, 1998, Nava y Márquez, 2014).

Tabla 1. Estadios de madurez sexual por características macroscópicas, obtenido y modificado de Soria (2003).

Características		
Clasificación	Machos	Hembras
Inmaduros	Gonopterigio cortos y suaves, sin calcificación, sin presencia de semen, sin apertura de rifodon y lóbulos testiculares delgados.	Ovarios pequeños sin distinción de ovocitos, sin diferenciación entre oviductos, glándula oviducal y útero.
Semimaduros	Gonopterigio elongado y rígido por calcificación, con o sin presencia de semen, con o sin apertura de rifodon y lóbulos testiculares ligeramente engrosados.	Ovarios pequeños con ovocitos medianos, sin diferenciación entre oviductos y útero, glándula oviducal pequeña, diferenciada por mayor diámetro de ancho del oviducto.
Maduros	Gonopterigio elongados y rígidos por calcificación, con o sin presencia de semen, con apertura de rifodon y lóbulos testiculares engrosados.	Ovario grande y alargado con ovocitos grandes. útero largo, glándula oviducal grande con forma de corazón.

Proporción de madurez sexual (Talla de madurez sexual L50)

Se estimó la curva de madurez mediante regresión logística, para determinar la proporción de hembras y machos en condición madura como una función de la longitud total. A las hembras o machos en condición madura se les asignó un valor de condición de madurez de 1, mientras que a aquellos en condición inmadura se les asignó un valor de condición de madurez de 0 (Hamlett, 2005).

Se llevo a cabo este análisis a partir de la ecuación de Walker (2005), mediante el programa estadístico R 3.6.0+Choose, 2024 versión 04.1+748.

$$P = P_{max} \left[1 + e^{-\ln(19) \left(\frac{l-l_{50}}{l_{95}-l_{50}} \right)} \right]^{-1}$$

Donde P_{max} es la proporción máxima de organismos en condición madura, l_{50} y l_{95} son las longitudes a la cual el 50% y el 95% de la proporción máxima están en condición madura (Punt y Walker 1998). $1 + e^{-\ln(19)}$ son constantes del modelo. Los parámetros P_{max} , l_{50} y l_{95} fueron estimados por el método de máxima verosimilitud.

Análisis de correlación

Para la relación longitud total (LT) y gónadas, se aplicará en las hembras un análisis de correlación, para determinar si existe relación entre la LT con las diferentes estructuras reproductivas (ancho de ovocitos, el ancho y largo de la glándula oviducal y el ancho del útero) (Natanson y Cailliet, 1986). En los machos de igual modo se realizará un análisis de regresión lineal, para observar si existe relación entre el largo del gonopterigio con respecto a la LT y el ancho de los testículos con la LT (Pratt, 1979; Joung y Chen, 1995).

Resultados

Muestras

Se obtuvieron un total de 466 ejemplares (258 hembras y 208 machos) de *Sphyrna zygaena* durante los años 2011, 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017 de ambas áreas de muestreo.

Composición de tallas y proporción de sexos

La proporción de sexos para ambas áreas de estudio fue de 1.25H: 1M. Basados en la prueba de chi-cuadrada (χ^2), se observó una proporción mayor ($P < 0.05$) de hembras en relación con los machos en toda la población de estudio. Sin embargo, al estimar la proporción de sexos únicamente para cada área de estudio, se observó que en Punta Lobos y Bahía Tortugas no se comportaron igual. En Punta Lobos se encontró una mayor proporción de hembras respecto a los machos ($P < 0.05$), no obstante, en Bahía Tortugas no se observaron diferencias ($P > 0.05$) entre sexos (Tabla 2).

Tabla 2. Proporción de sexos de *S. zygaena*.

Área	H:M	χ^2
Punta Lobos	1.46H: 1M	($\chi^2 = 12.9, p \leq 0.05$)
Bahía tortugas	0.75H: 1M	($\chi^2 = 2.0, p \geq 0.05$)
General	1.25H: 1M	($\chi^2 = 6.0, p \leq 0.05$)

Las LT de las 258 hembras colectadas tuvo un rango de 21 cm hasta los 320 cm de LT, con un promedio de 196.5 cm. En el caso de los machos (n=208) el rango de talla fue de 41 cm a 300 cm, con un promedio de 168.1 cm LT. Al comparar la LT en machos y hembras, se observó que la talla de las hembras es mayor ($P < 0.05$) a la de los machos (Figura 3).

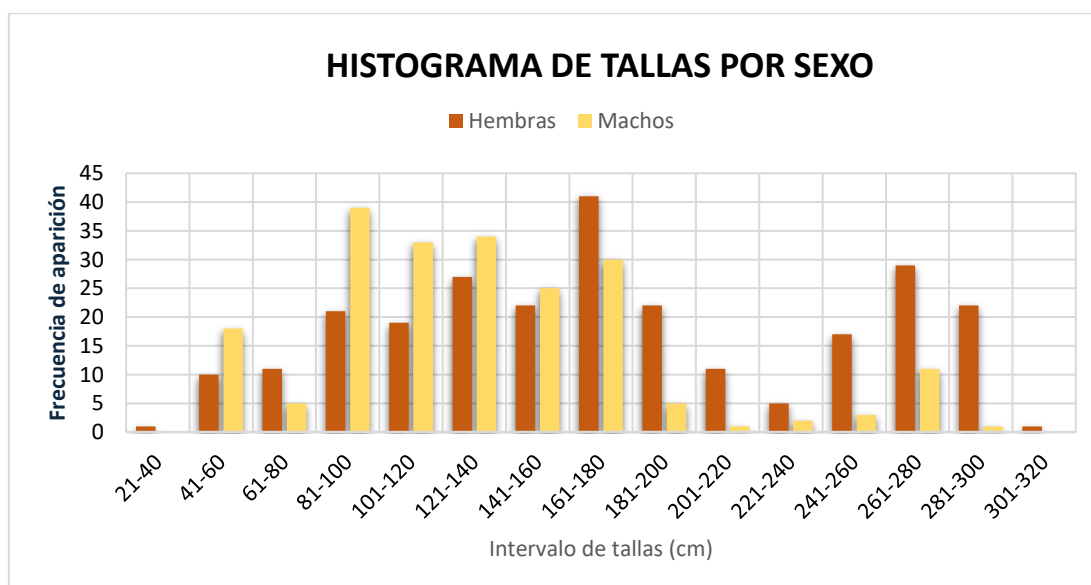


Figura 3. Composición de tallas por sexo del tiburón *Sphyrna zygaena*.

Los datos de talla por zona se muestran en la figura 4. Los resultados muestran que en Punta Lobos la talla de la mayor cantidad de individuos colectados estuvo

entre los 161-180 cm LT, mientras que Bahía Tortugas la talla más frecuente fue de 81-100 cm LT, evidenciando una variación en la estructura poblacional. Mensualmente, Bahía Tortugas registra mayor presencia de individuos en noviembre y frecuencias notables en marzo y agosto, mientras que en Punta Lobos concentra la mayor cantidad de individuos en abril, seguido de febrero (Figura 5).

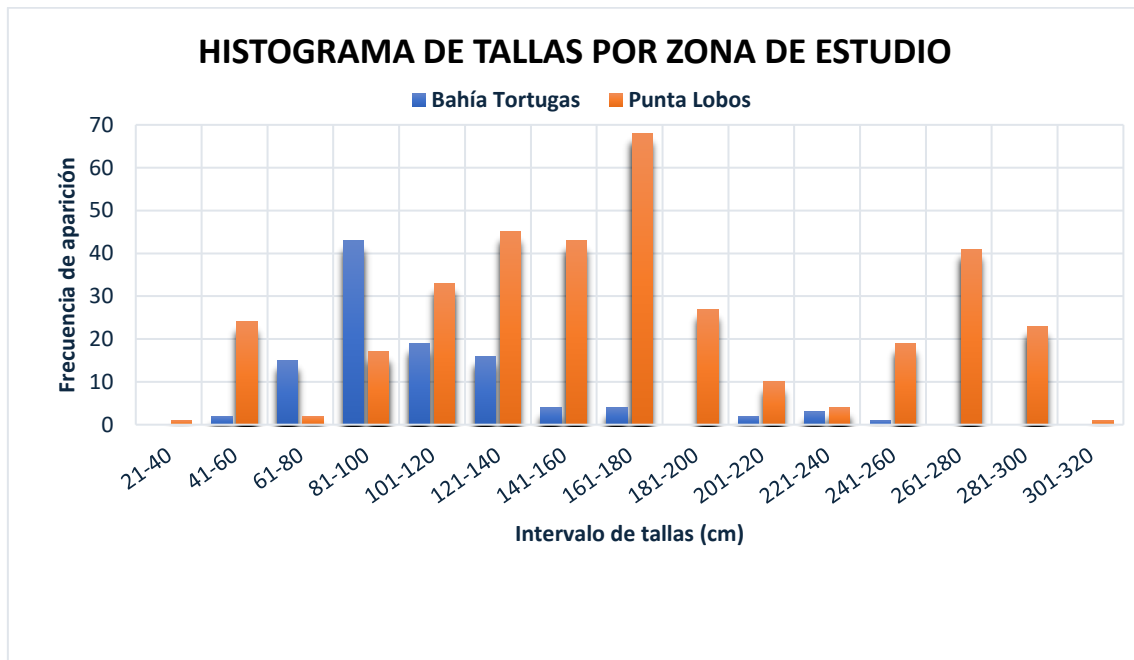


Figura 4. Composición de talla por zona de estudio del tiburón *Sphyrna zygaena*

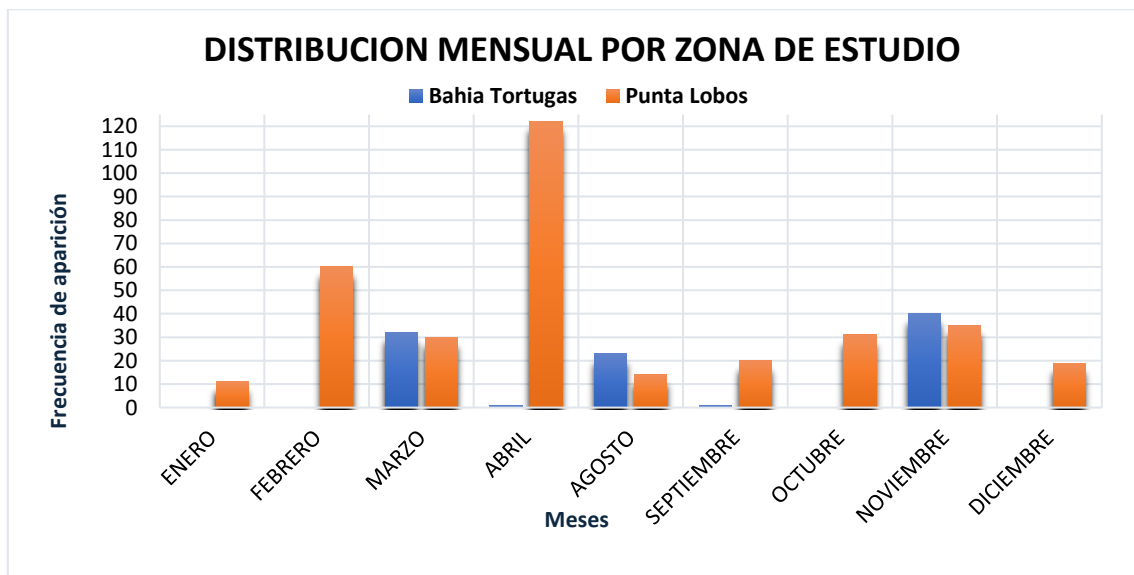


Figura 5. Distribución mensual por zona de estudio del tiburón *Sphyrna zygaena*.

De acuerdo con los histogramas de frecuencias de tallas por estadios de madurez en hembras (n=258), se observó la presencia de individuos inmaduros con tallas que van desde los 41 cm hasta los 220 cm LT. El intervalo de madurez

para las hembras varía entre los 141 hasta los 220 cm LT. En cuanto a los machos, los organismos inmaduros alcanzaron una talla máxima de 200 cm LT, mientras que los maduros presentaron tallas superiores a los 141 cm LT. Los organismos presentaban tallas que oscilaban entre 161 y 240 cm, un rango en el cual se puede considerar que ocurre la transición entre las etapas juvenil y adulta. En este intervalo de tallas, se observaron individuos en diferentes estados de desarrollo, incluyendo juveniles, semimaduros y adultos (Figura 6 y 7).

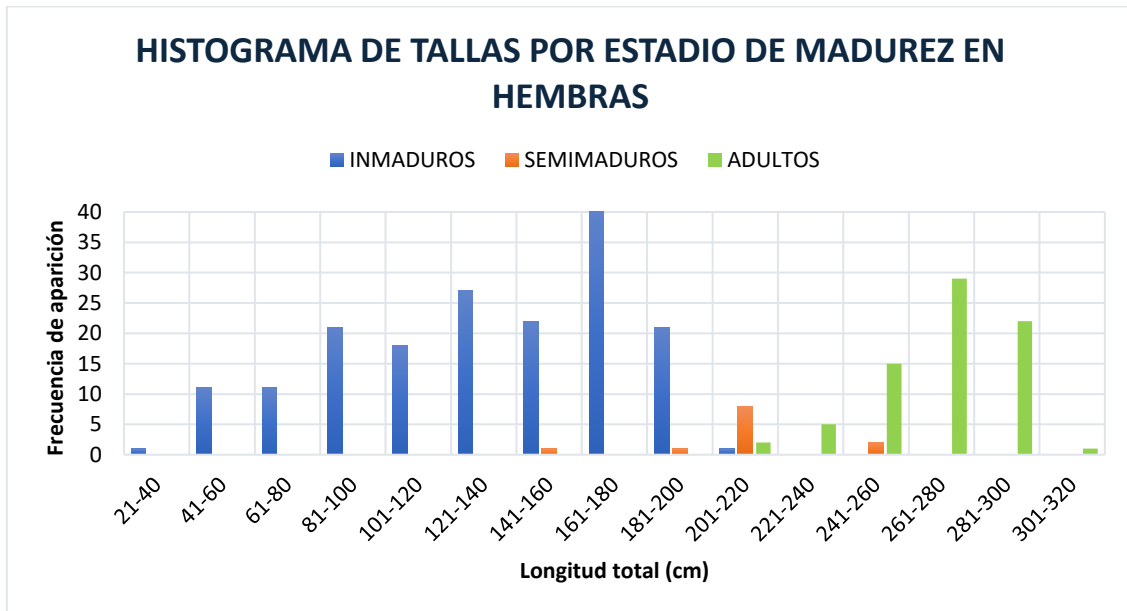


Figura 6. Histograma de tallas por estadios de madures en hembras de tiburón *Sphyrna zygaena*.

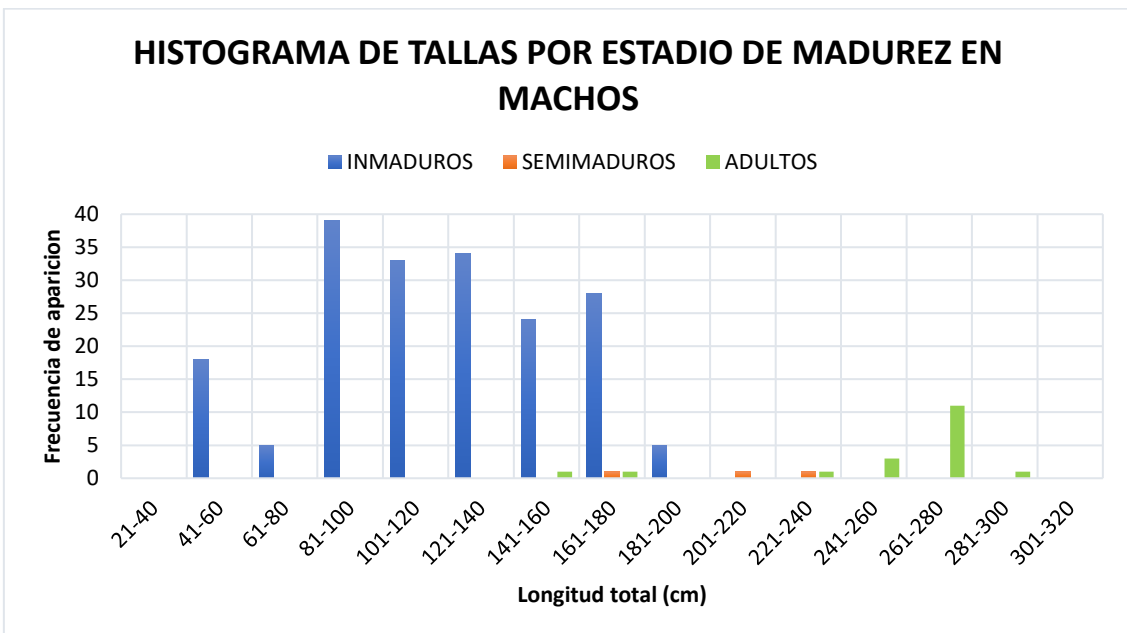


Figura 7. Histograma de tallas por estadios de madures en machos de tiburón *Sphyrna zygaena*.

Los individuos inmaduros de *Sphyrna zygaena* (121-180 cm) mostraron distribuciones de tallas similares en ambas localidades, tanto para machos como para hembras. Sin embargo, las hembras adultas de Punta Lobos (241-300 cm) alcanzaron tallas mayores que las de Bahía Tortugas. Los machos adultos, aunque también mostraron un patrón similar para Punta Lobos siendo mayores que en Bahía Tortugas, donde la distribución fue más uniformemente sobre los 200 cm (Figuras 8 y 9).

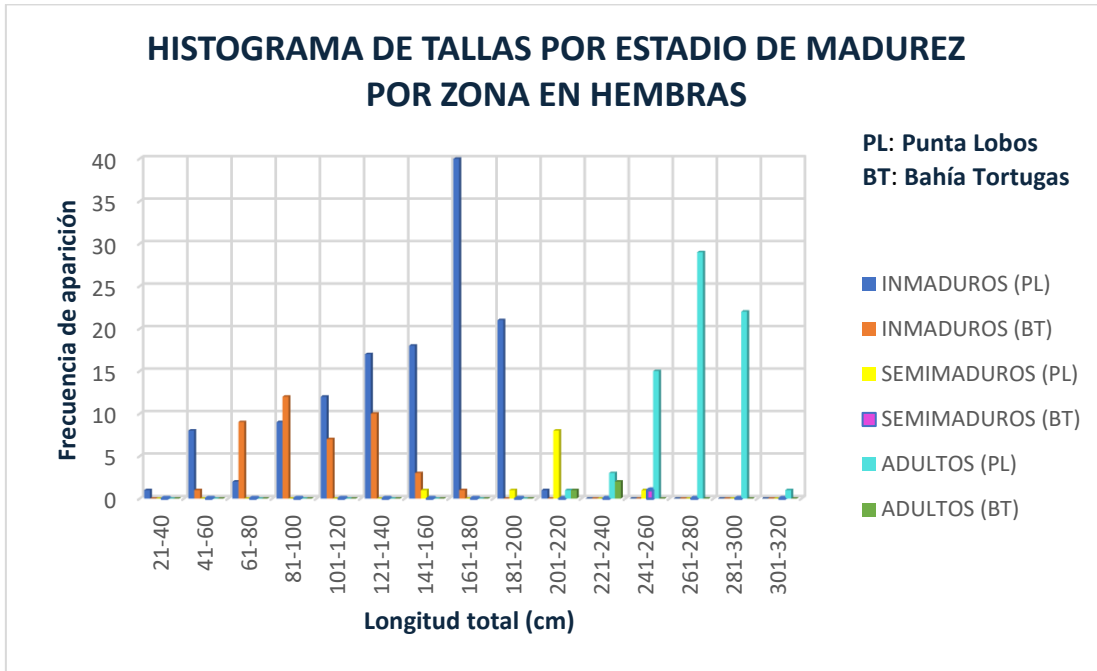


Figura 8. Histograma de tallas por estadios de madurez por zona en hembras de tiburón *Sphyrna zygaena*.

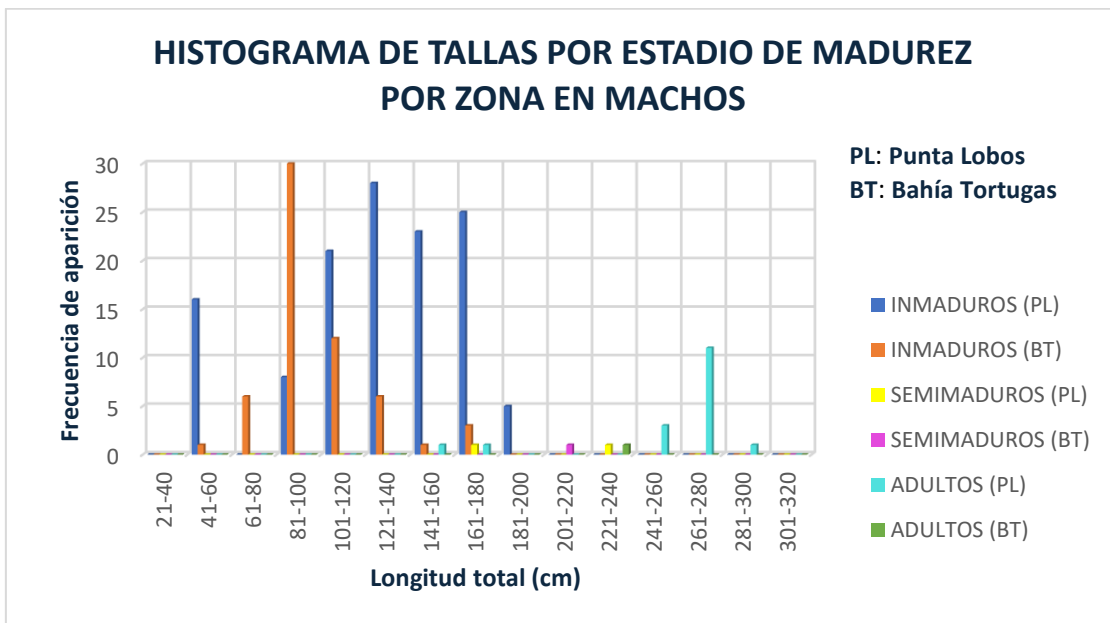


Figura 9. Histograma de tallas por estadios de madures por zona en machos de tiburón *Sphyrna zygaena*.

La distribución mensual general por estadios de madurez mostró una mayor aparición de individuos juveniles durante los meses de febrero a abril, siendo abril el mes con mayor relevancia (Figura 10). Tanto machos como hembras mostraron un pico de abundancia de individuos inmaduros en Punta Lobos durante abril. Sin embargo, mientras Punta Lobos presentó una mayor concentración de individuos inmaduros, Bahía Tortugas exhibió una mayor proporción de adultos, tanto machos como hembras, durante noviembre (Figura 11 y 12).

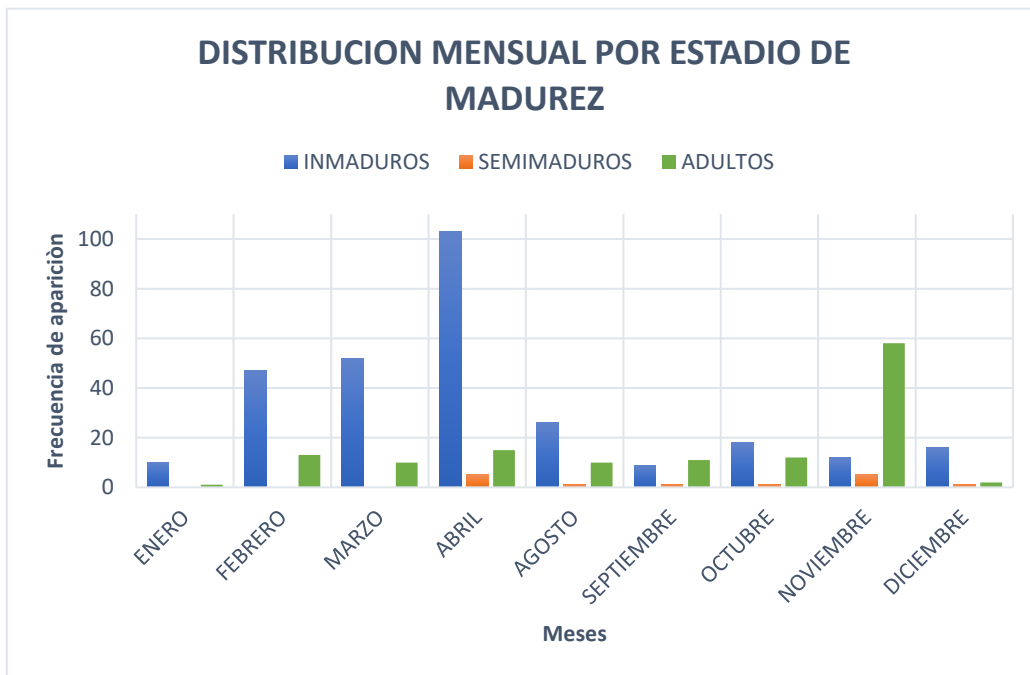


Figura 10. Distribución de aparición mensual por estadios de madurez de tiburón *Sphyrna zygaena*.

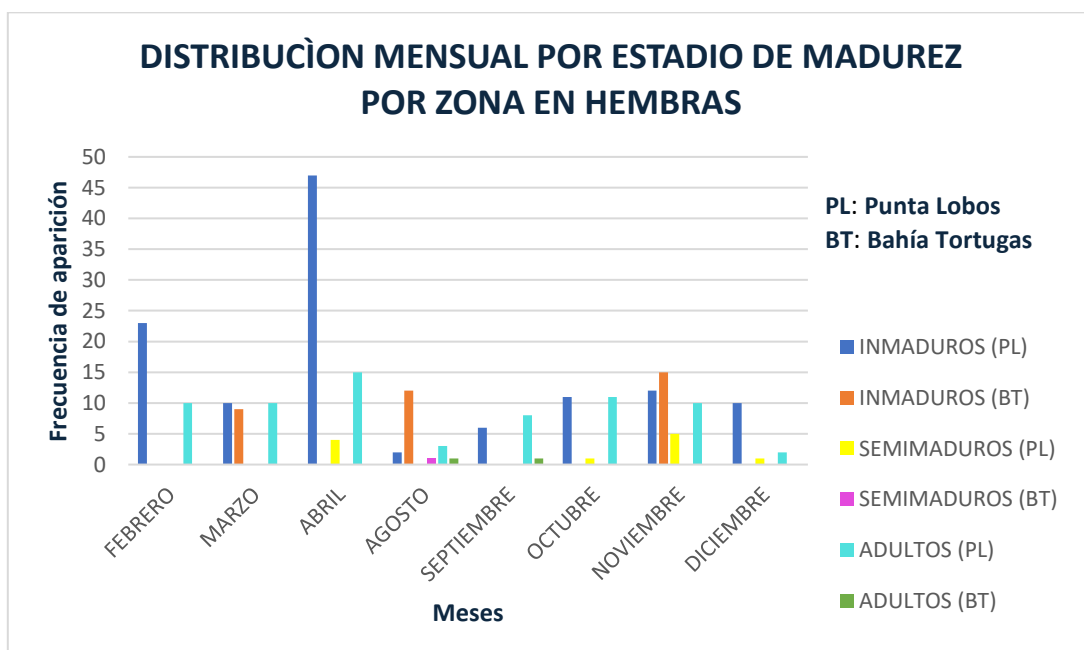


Figura 11. Distribución de aparición mensual por estadios de madurez por zona en hembras de tiburón *Sphyrna zygaena*.

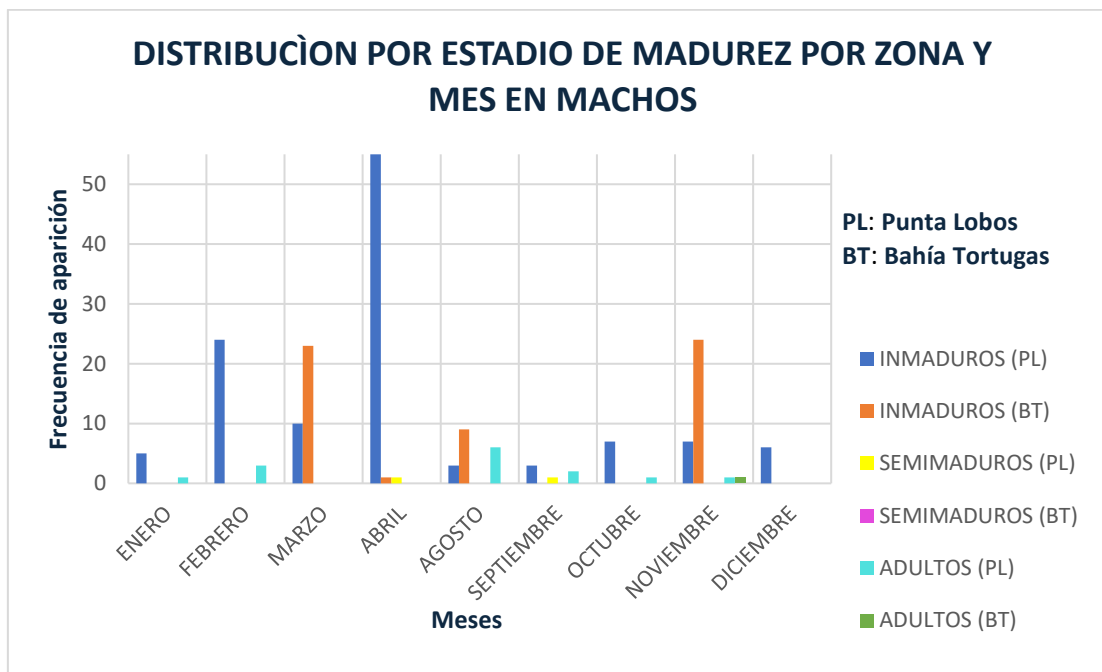


Figura 12. Distribución de aparición mensual por estadios de madurez por zona en machos de tiburón *Sphyrna zygaena*.

Morfología macroscópica del aparato reproductor de las hembras.

El aparato reproductor de la hembra se encuentra situado en la porción dorsal al interior de la de la cavidad pleuroperitoneal, adherido y alargado a la columna vertebral. Ubicando al ejemplar en posición decúbito dorsal, en dirección caudocraneal, poseen una cloaca ubicada entre las aletas pélvicas, donde convergen al sistema reproductor, constituido por dos úteros independientes largos, seguido de sus respectivos oviductos posteriores, glándulas oviducales, conduciendo los oviductos anteriores hacia un ostium, seguido de los ovarios constituido por los oocitos que crecen a lo largo del órgano epigonal conforme maduran (Figura 13).

Entre las características específicas, el tracto reproductor del tiburón martillo, cuenta con un solo ovario funcional, de forma oval y aplanada, donde solo el ovario derecho está activo funcionalmente, mientras que el otro es vestigial. Además, en esta especie vivípara placentaria, el ovario derecho es responsable de la producción de ovocitos. El órgano epigonal es pareado, tiene una textura suave y es alargado, sin embargo, la parte del ovario ventral se encuentra recubierto por el órgano epigonal, en cuanto a la parte dorsal el crecimiento de los oocitos se evidencia con forma circular y un diámetro promedio de 0.1 a 1.73 cm. Las glándulas oviducales tiene forma de manzana o corazón, su tamaño oscila alrededor de hasta 4.2 a 3 cm de diámetro en hembras maduras y de 2.6 a 1.9 cm en hembras semimaduras y en hembras inmaduras puede ser encontrada de 0.8 cm de diámetro a no diferenciarla de los oviductos (Figura 14).

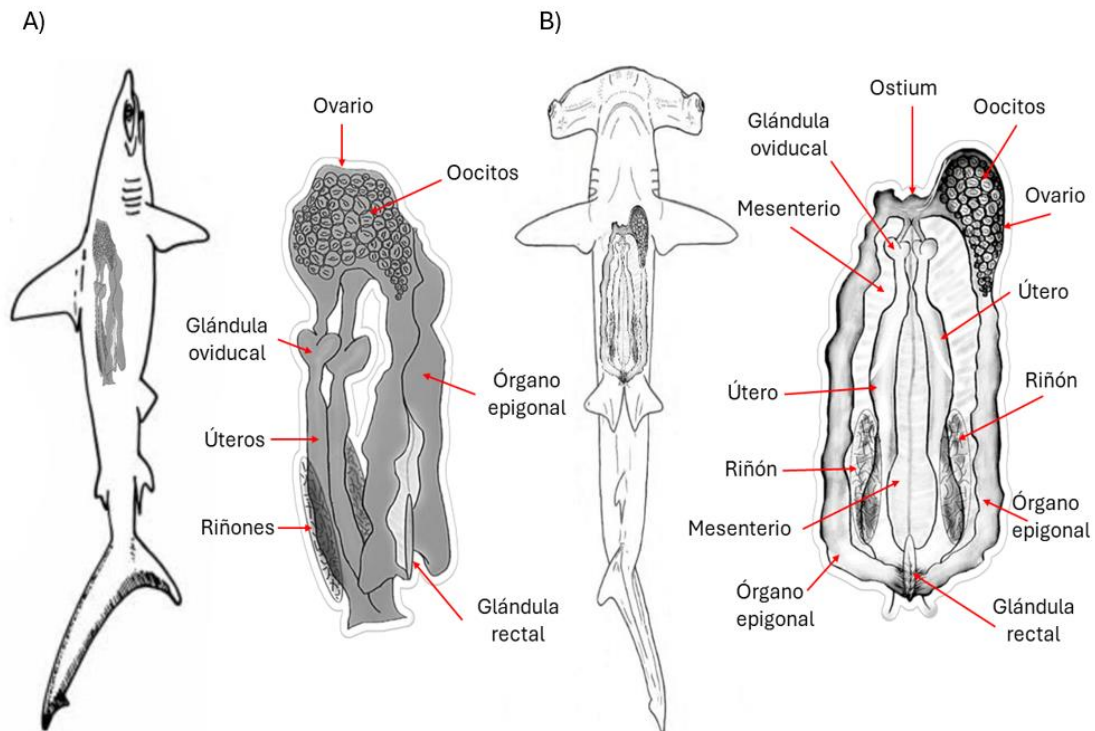


Figura 13. Esquema de la morfología del aparato reproductor en hembras de *Sphyrna zygaena* A) Vista lateral derecha, B) Vista ventral (Imágenes de silueta de tiburón martillo editadas de FAO, 2014).

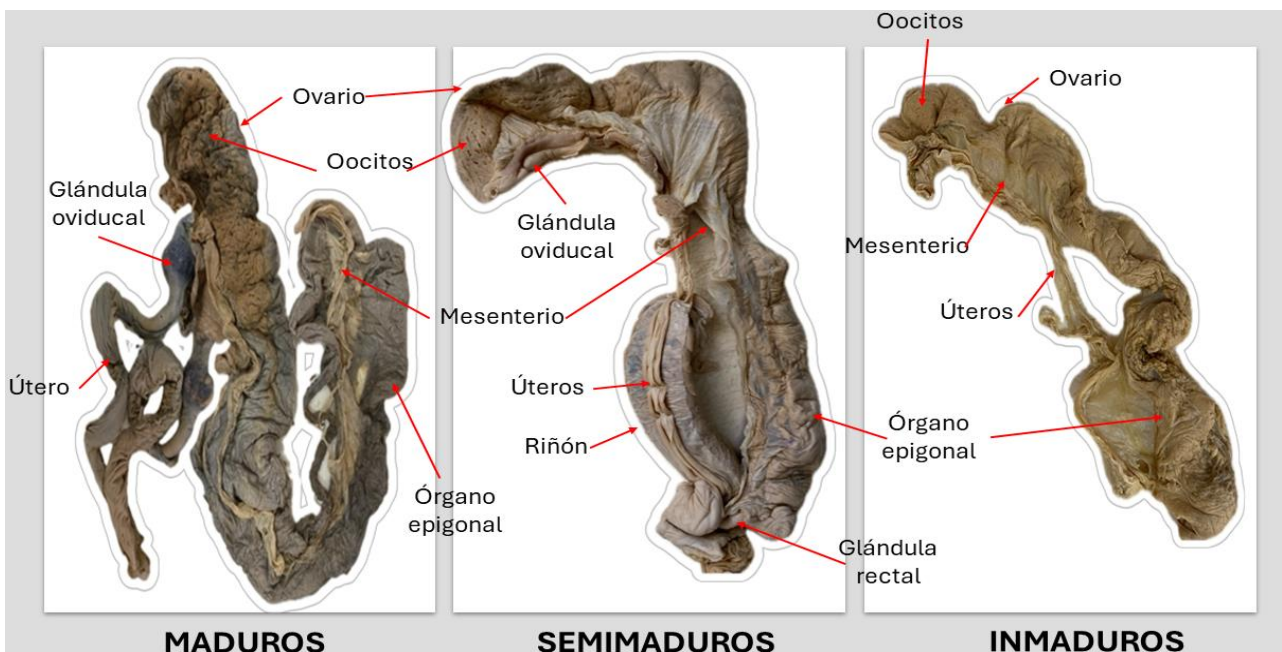


Figura 14. Anatomía del aparato reproductor de hembras en sus diferentes fases de maduración de tiburón martillo *S. Zygaena*.

Morfología macroscópica del aparato reproductor de los machos.

El tracto reproductivo de los machos se encuentra situado en la porción dorsal al interior de la de la cavidad pleuroperitoneal, adherido y alargado a la columna vertebral. Ubicando al ejemplar en posición decúbito dorsal, en dirección

caudocraneal se encuentra externamente, prolongaciones emparejadas de las aletas pélvicas llamadas gonopterigios que se utilizan como órganos intromitentes para la fertilización interna, seguido de ellos de manera interna convergen a las vesículas seminales, conductos deferentes, epidídimo conductos aferentes, par de testículos y aunado a ellos se encuentra el órgano epigonal.

Los testículos constan de lóbulos alargados, unidos dorsalmente sobre el órgano epigonal (órgano linfomieloide) y ubicados en la región anterodorsal de la cavidad pleuroperitoneal. La asociación entre los testículos y el órgano epigonal es estrecha; sin embargo, existe una diferenciación en textura y forma del tejido; el órgano epigonal es aplanado y de consistencia blanda y los testículos se caracterizan por ser ovalados, alargados y de textura uniforme (Figura 15).

El tamaño de los testículos oscila alrededor de 3.3 a 1.7 cm de diámetro en machos maduros, carente de cuantificaciones documentadas para machos semimaduros y de 0.8 a 0.3 cm de diámetro en machos inmaduros (Figura 16). Cabe destacar que la descripción específica del macho se basó en lo expuesto por Soria, (2003); referente a la posición encontrada a base de histología de estructuras específicas como el epidídimo, conductos aferentes y deferentes y vesícula seminal, ya que a escala macroscópica no se pudieron diferenciar estas estructuras en nuestro estudio.

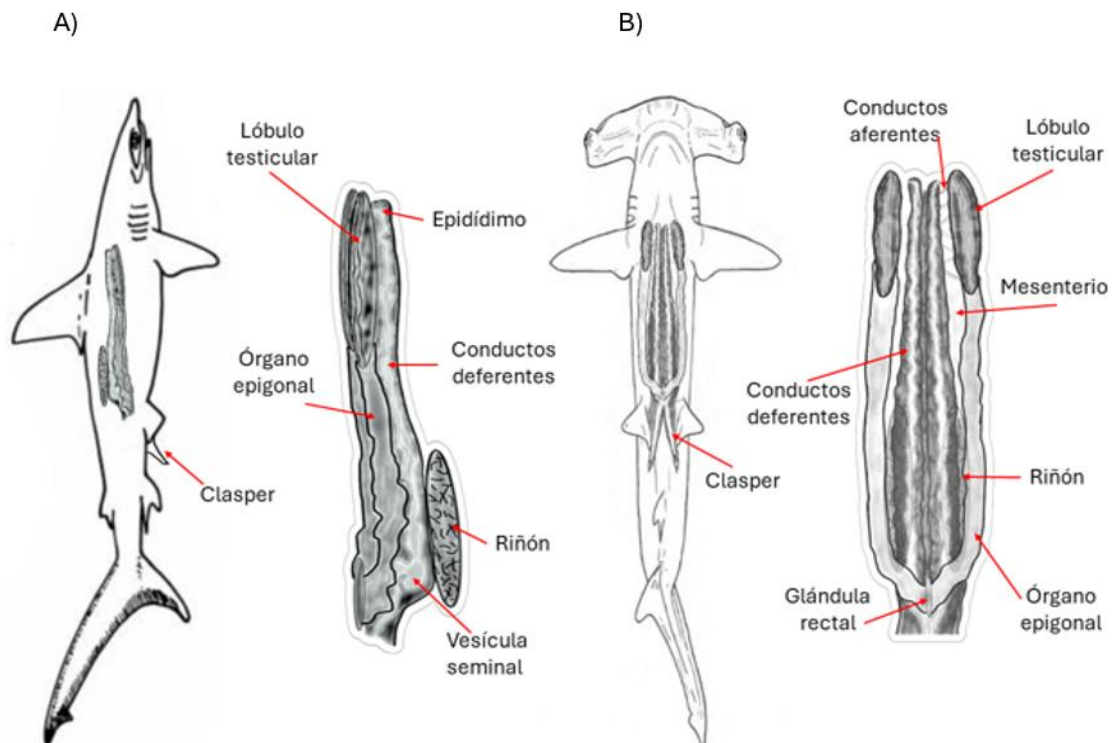


Figura 15. Esquema de la morfología del aparato reproductor en machos de *Sphyrna zygaena* A) Vista latero lateral derecha, B) Vista ventrodorsal (Imágenes de silueta de tiburón martillo editadas de FAO, 2014).

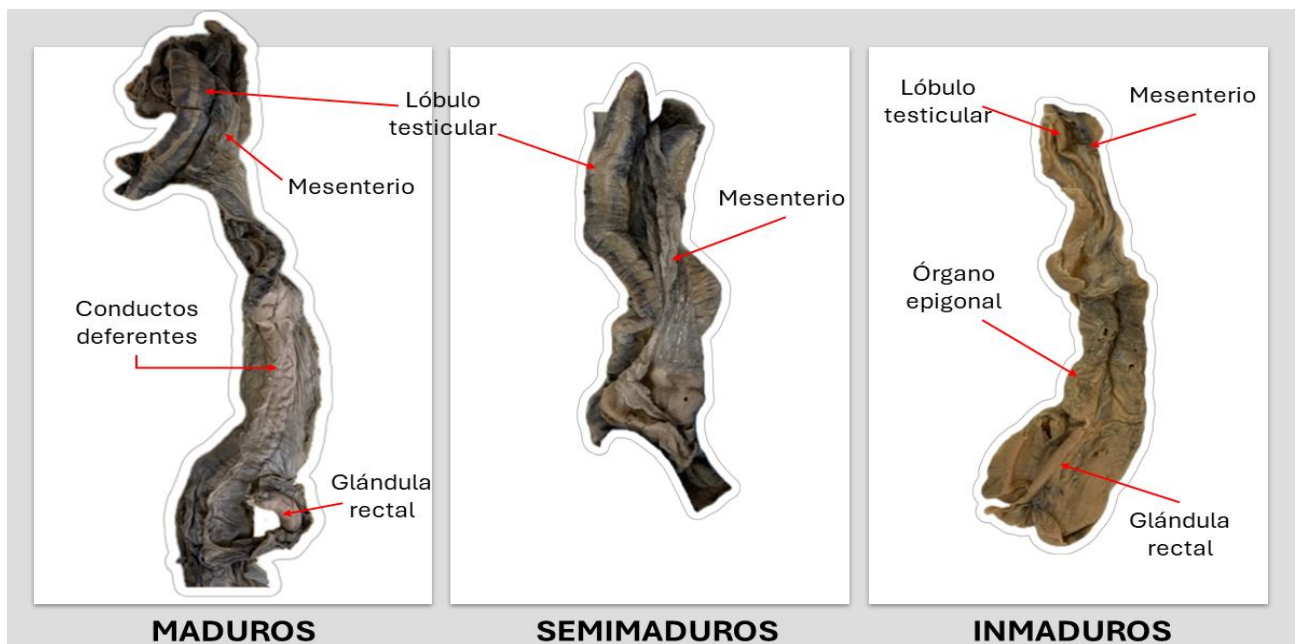


Figura 16. Anatomía del aparato reproductor de machos en sus diferentes fases de maduración de tiburón martillo *S. Zygaena*.

Determinación del proceso de ovulación en hembras

A partir del diámetro de los ovocitos, se logró analizar el proceso de ovulación en esta población. El diámetro máximo registrado en los ovocitos de la población en estudio fue de 1.8 cm y un mínimo de 0.1 cm. A medida que transcurren los meses, el diámetro medio de los ovocitos tiende a aumentar, alcanzando su punto más alto en el mes de agosto (Figura 17).

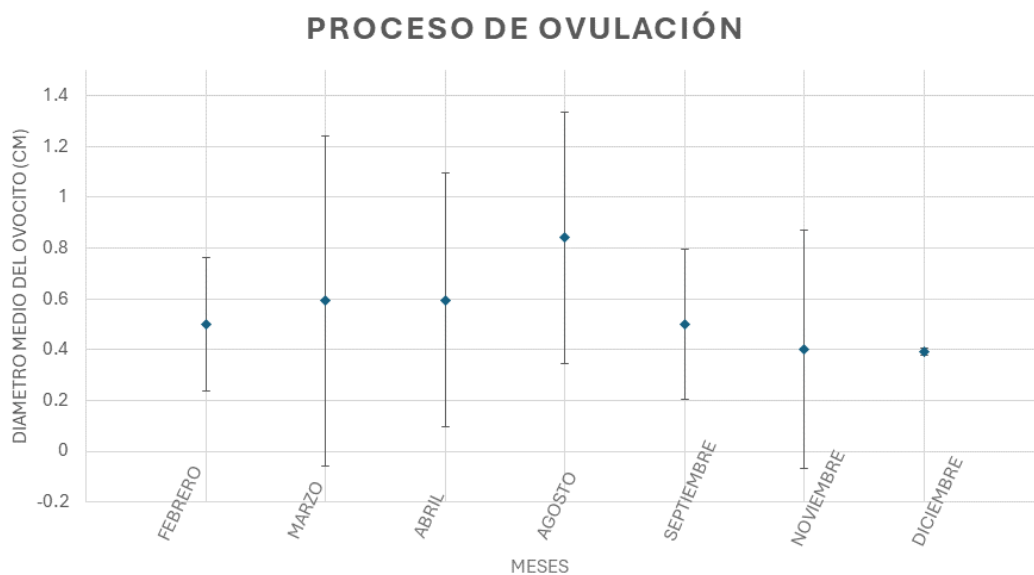


Figura 17. Proceso de ovulación en hembras de tiburón *Sphyrna zygaena*.

Talla de madurez sexual (L₅₀)

En *S. zygaena*, se estimó la proporción máxima de hembras en condición madura, obteniéndose un valor de l_{50} de 226.27 cm de LT y un valor de l_{95} de 253.17 cm LT. Sin embargo, debido a la calidad de los datos de los machos analizados, no fue posible elaborar una ecuación logística que permitiera determinar la talla de madurez para l_{50} y l_{95} (Figura 18).

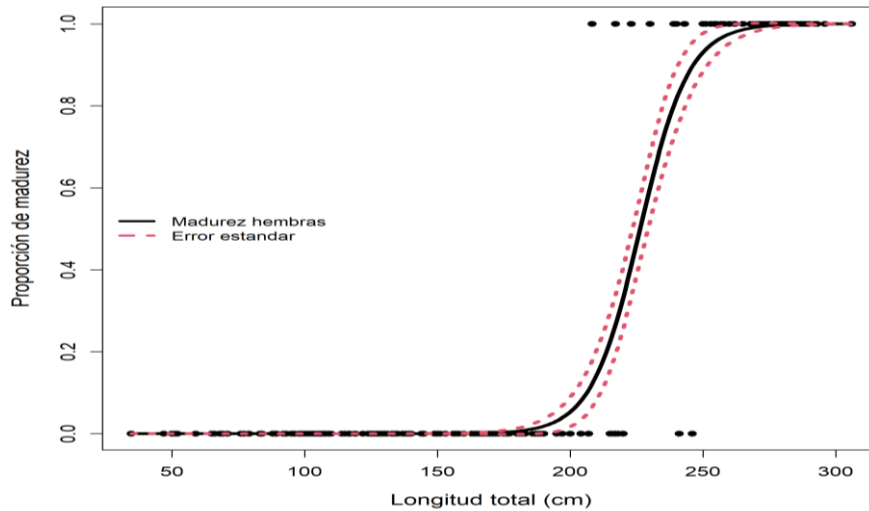


Figura 18. Proporción de madurez sexual en hembras de tiburón *Sphyrna zygaena*, con intervalos de confianza de 95%.

Relación entre longitud total y las gónadas de machos.

La relación entre la longitud total y el gonopterigio, así como entre la longitud total y los testículos, mostró una tendencia exponencial positiva ($R^2 = 0.6986$; $R^2 = 0.6916$, respectivamente), indicando que el gonopterigio y el ancho testicular aumentan a medida que crece la longitud total del organismo (Figura 19). Con respecto al ancho entre ambos testículos no se encontró diferencia significativa ($P \geq 0.05$), de acuerdo con la prueba t-Student.

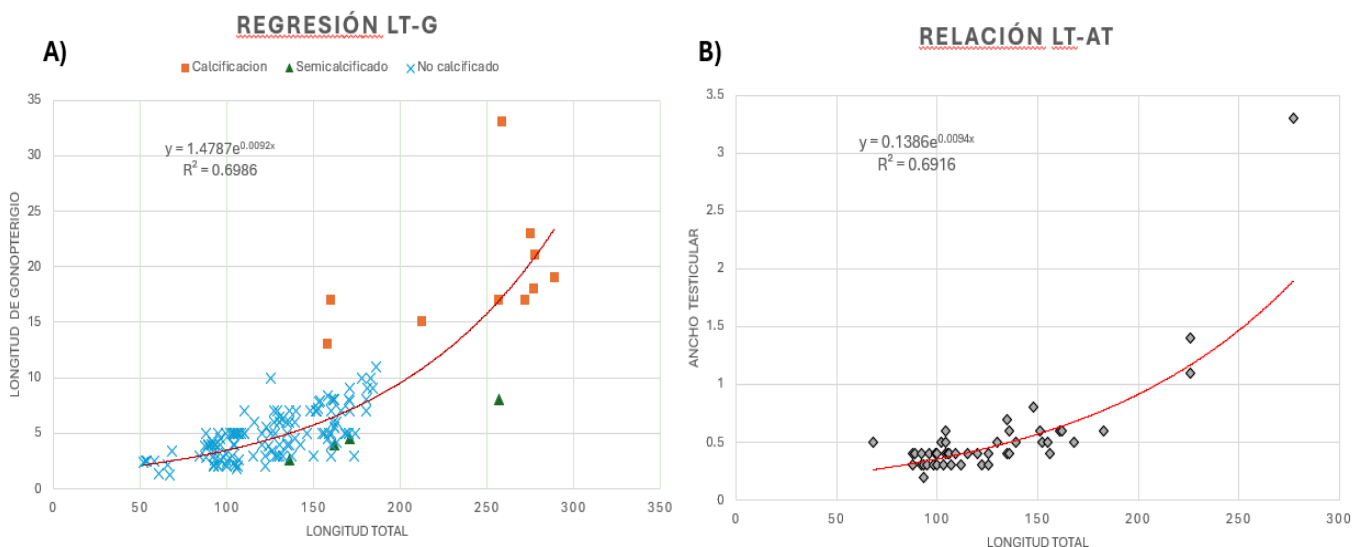


Figura 19. A) Relación entre la longitud total (LT) y el gonopterigio (CL) y B) Relación entre la longitud total (LT) y el testículo (T) para machos de *S. zygaena*.

Relación entre longitud total y las gónadas de hembras

El análisis de la longitud total y la glándula oviducal se realizó en hembras maduras y semimaduras, ya que en inmaduras las estructuras, tales como el útero y la glándula oviducal no se diferenciaban del oviducto. Se observó una correlación entre el largo y ancho de las glándulas oviducal con la longitud total de los organismos (ancho: $R^2 = 0.5367$; largo: $R^2 = 0.5304$), indicando una tendencia de crecimiento proporcional. Finalmente, al evaluar la relación exponencial de la longitud total y el ancho de útero se descubrió que también es significativa ($R^2 = 0.9082$), lo que sugiere un crecimiento significativo del útero con el tamaño del organismo (Figura 20).

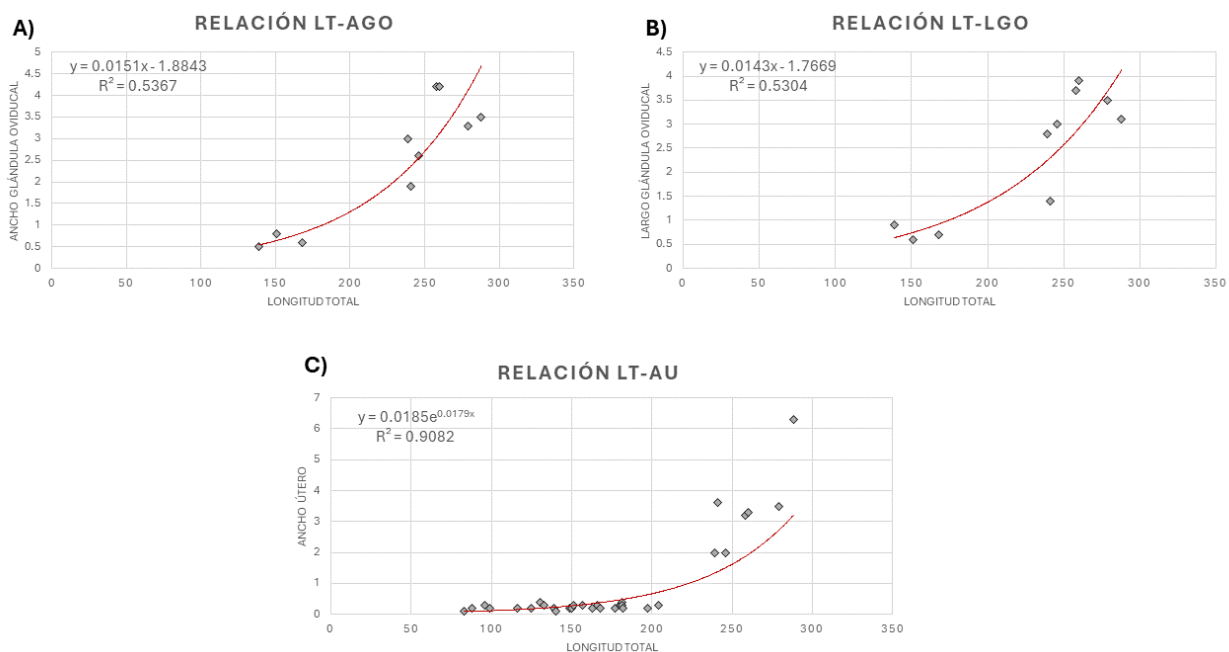


Figura 20. A) Relación entre la longitud total (LT) y el ancho de glándula oviducal (AGO); B) Relación entre la longitud total (LT) y el largo de glándula oviducal (LGO) y C) Relación entre la longitud total (LT) y el ancho del útero (AU) en hembras de *S. zygaena*.

Discusión

De acuerdo con Nava y Márquez (2014), la proporción de sexos en los elasmobranchios, por longitudes, revela factores importantes que podrían no ser evidentes en la proporción general de sexos. La proporción sexual encontrada en este estudio fue de 1.25H:1M para *Sphyrna zygaena*. Los resultados sugieren que hay una segregación sexual que varía dependiendo del área de estudio. En Punta Lobos, se observó una mayor proporción de hembras, mientras que, en Bahía Tortugas, la proporción es más equilibrada. Desde el punto de vista de

Wearmouth y Sims (2008), se describe que esto se deba a una estrategia de la especie por diferencias en migración y dieta, como un fenómeno adaptativo que permite a machos y hembras optimizar su supervivencia y éxito reproductivo. Por ejemplo, Klimley (2004) observó que, las hembras juveniles de *S. lewini* se alejan de las zonas de cría costeras a una edad más temprana que los machos, lo que sugiere un patrón de segregación basado en la edad y el sexo.

Aunque *Sphyrna zygaena* es una especie migratoria, se observó una prevalencia mensual constante en Punta Lobos, en contraste con la variabilidad en Bahía Tortugas, lo cual sugiere la influencia de condiciones ambientales favorables (Bizzarro *et al.*, 2007). Este patrón sugiere diferencias estacionales y de hábitat que podrían influir en la distribución y comportamiento de esta especie en ambas áreas (Ramírez *et al.*, 2003). De acuerdo con Cuevas *et al.*, (2020) y Wargat (2021), las preferencias ambientales de *S. zygaena* varían según la edad o el grado de desarrollo, lo que explica la presencia de juveniles en Bahía Tortugas y la presencia de individuos con una amplia diversidad de talla en la zona de Punta Lobos.

En el presente estudio, se observó una mayor captura de organismos juveniles en comparación con adultos. La presencia predominante de juveniles de *S. zygaena* en Bahía Tortugas sugiere que esta zona podría funcionar como un hábitat de crecimiento, donde los individuos permanecen hasta alcanzar un tamaño suficiente para emprender migraciones hacia mar adentro o hacia otras regiones templadas como Punta Lobos. Esta hipótesis es acorde con los resultados de Diemer *et al.* (2011) y la UICN (2021), quienes reportan que los juveniles de esta especie se encuentran comúnmente en áreas costeras y que la especie exhibe patrones migratorios desde la costa hacia mar abierto, sin embargo, se requieren estudios adicionales para confirmar esta hipótesis y comprender mejor los factores que influyen en estos patrones migratorios.

Estudios previos en otras localidades respaldan esta hipótesis. Por ejemplo, en Bahía Kaneohe, Hawái, estudios de telemetría y marcado-recaptura han demostrado que neonatos y juveniles de *Sphyrna lewini* permanecen en la bahía durante varios meses o incluso un año (Holland *et al.*, 1993; Duncan y Holland, 2006). Asimismo, Torres *et al.*, (2008), documento que el Golfo de California, particularmente la costa este y Bahía de La Paz, son áreas de crianza importantes para *S. lewini*, con presencia de neonatos y juveniles en bahías y estuarios.

Además, se ha evidenciado que la pesca artesanal captura grandes cantidades de juveniles en la plataforma continental, lo que podría explicar la alta captura en este estudio debido al uso de artes de pesca optimizadas, como palangres de superficie y redes de enmalle (Motta *et al.*, 2005; Bornatowski *et al.*, 2012; Bornatowski *et al.*, 2014). En la investigación de Ramírez *et al.*, (2003), los tiburones de mayor tamaño fueron capturados principalmente con palangres, mientras que las redes de enmalle capturaron organismos de *S. zygaena* de menor tamaño (102 ± 3.5 cm LT y 100 ± 4.5 cm LT, respectivamente), a partir de esto se puede ver una prevalencia de individuos de mayor longitud en Punta

Lobos y de menores tallas en Bahía Tortugas dadas las artes de pesca que se utilizan en cada una de las zonas.

Se registró una talla máxima de 306 cm de longitud total (LT) para hembras y 289 cm de LT para machos. A partir de estudios previos, la talla máxima reportada para *Sphyrna zygaena* es de 400 cm de LT en hembras y 300 cm de LT en machos (Compagno *et al.*, 1984). Por lo tanto, las tallas observadas en este estudio se encuentran dentro de los rangos máximos establecidos para ambos sexos. Los resultados obtenidos por López *et al.*, (2020), son consistentes con nuestros datos, reportando una longitud máxima de 310 cm de LT en pesquerías del Ecuador. En contraste, la talla mínima registrada en este estudio fue de 34.6 cm de LT para hembras y 47.2 cm de LT para machos. Estas medidas son inferiores a las reportadas por Negrete (2007), quien encontró tallas mínimas de 51.4 cm LT para machos y 52.5 cm LT para hembras en pesquerías del Ecuador.

Nuestros resultados revelaron que las hembras alcanzaron tallas mayores que los machos (Figura 3), corroborando así la tendencia observada en otros estudios sobre tiburones y rayas. En línea con estudios previos (Compagno *et al.*, 1984; Smale, 1991; Compagno *et al.*, 1995; Tricas *et al.*, 1998; Nava y Márquez, 2014), esta diferencia se ha mencionado como una adaptación a la viviparidad, donde a medida que aumenta la longitud de las hembras, también lo hace su cavidad abdominal, lo que facilita el período de gestación, ya que esta especie suele tener elevado número de crías que puede ir de 29 a 37 por camada.

En relación con la talla a la que las hembras alcanzan la madurez sexual (l_{50}), nuestros resultados ($l_{50}= 226.27$ cm) (Figura 14), se encuentran entre los valores reportados por López *et al.*, (2020) ($l_{50}= 239.3$ cm) y Nava y Márquez (2014) ($l_{50}= 200$ cm). Sin embargo, nuestros datos sugieren una madurez sexual ligeramente más temprana que lo estimado por López *et al.*, (2020). En el caso de los machos, no fue posible calcular un l_{50} preciso debido a la distribución de los datos no se adecuaron a ninguna ecuación. No obstante, se puede inferir que el período de madurez sexual en machos ocurre entre los 161 y 240 cm, sugiriendo una madurez más temprana en comparación con los resultados de López *et al.*, (2020) con un valor de $l_{50}= 263.7$ cm LT, pero más cercano a lo reportado por Nava y Márquez (2014).

Como lo señalaron Pratt y Tanaka (1994), la presencia de gonopterigios rígidos y calcificados es un indicador confiable de madurez sexual en los machos. Los resultados corroboran esta afirmación, mostrando un crecimiento gradual del gonopterigios en relación con el tamaño del individuo ($R^2 = 0.6986$). El tamaño del gonopterigios y del testículo aumentó con la longitud total, observando una transición gradual de inmaduros a maduros entre los 140 y 266 cm LT. Los resultados son comparables a los reportados por Torres *et al.*, (2008), quienes sugieren un inicio de la madurez en *Sphyrna lewini* alrededor de los 161 cm LT. De manera similar al gonopterigios, el ancho del testículo ($R^2 = 0.6916$), sugiere

una relación directa con la LT y corroboran con Dodd (1983), quien establece que los testículos pueden alcanzar hasta un 4% del peso corporal total.

Conforme a la anatomía del aparato reproductor en ambos sexos de *Sphyrna zygaena*, los ovarios y los testículos se observaron asociados con los órganos epigonales, coincidiendo con lo referido por Pedreros y Ramirez (2015), considerando tan estrecha relación entre los testículos y el órgano epigonal que parecen un solo órgano, sin embargo, la posición varía entre las especies, por ejemplo, en *Cephaloscyllium ventriosum*, el órgano epigonal rodeaba todo el testículo (Bernal *et al.*, 2021). El órgano epigonal se encuentra en todos los peces cartilagosos; el cual confiere la producción de granulocitos y linfocitos (Honma *et al.*, 1984; Galíndez y Aggio, 2002; McClusky y Sulikowski, 2014). En el caso de las hembras *S. zygaena*, al igual que en otras especies como *Scylorhinus*, *Pristiophorus*, *Carcharhinus*, *Mustelus*, *Sphyrna* y *Cethorhinus* (Dodd, 1983), se observó un ovario derecho funcional y una glándula oviducal con características similares a lo establecido por Soria (2003), donde la glándula oviducal tiene una forma similar muy parecida a una manzana u corazón.

El desarrollo del largo y ancho de diámetro de la glándula oviducal en *S. zygaena* experimentó un mayor crecimiento entre los 140 y 160 cm LT para este estudio, con la primera hembra madura a los 239 cm LT. A diferencia de *Sphyrna corona* (Orozco *et al.*, 2014), donde el crecimiento inicia a los 55.5 cm LT. En hembras inmaduras de *S. zygaena*, estructuras como el útero y la glándula oviducal no se diferenciaban del oviducto, coincidiendo con Soria (2003), quien observó que en hembras juveniles de *Sphyrna lewini*, las glándulas oviducal tienen casi el mismo diámetro que el oviducto.

En este estudio, el tamaño de las glándulas oviducal osciló entre 4.2 y 3 cm de diámetro en hembras maduras y entre 2.6 y 1.9 cm en hembras semimaduras, superando lo establecido por Pérez (2001), quien consideró maduras a las hembras de *S. lewini* cuando la glándula oviducal era mayor a 1.2 cm. El ancho del útero mostró un crecimiento exponencial relacionado con la longitud total (LT) ($R^2 = 0.9082$), alcanzando la madurez sexual a los 210 cm LT. Estos resultados coinciden con Orozco *et al.*, (2014), quienes establecieron que en *S. corona* un ancho uterino de 0.3 cm se consideraba madura.

Aunque en este estudio no se hallaron individuos preñados, esta especie es considerada vivípara placentaria (Compagno *et al.*, 1984, Smale, 1991, Compagno *et al.*, 1995; Tricas *et al.*, 1998). De acuerdo con Hamlett *et al.*, (1985), el desarrollo embrionario tiene lugar en compartimentos uterinos, donde el embrión inicialmente depende del vitelo almacenado. Luego, la madre lo alimenta a través de una conexión placentaria, preparándolo gradualmente para el nacimiento. En el género *Sphyrna*, el cordón umbilical puede presentar ornamentaciones con apéndices arborescentes o apendicularia. (Gilbert, 1981). No obstante, a pesar de que ya se ha observado en otras especies de tiburones como *Sphyrna tiburo* (Gilbert, 1981) y *Sphyrna lewini* (Soria, 2003), es necesario realizar más investigaciones sobre la especie *S. zygaena* para verificar si sus características coinciden con las descritas para este género.

La descripción morfométrica macroscópica permitió clasificar a los individuos en diferentes etapas de madurez. Sin embargo, es crucial llevar a cabo estudios adicionales a nivel histológico para entender las características de madurez celular en esta especie. Según estudios histológicos realizados por Soria (2003), esta metodología proporciona información detallada sobre el desarrollo gametogénico, lo que permite determinar las longitudes aproximadas a las que los individuos pueden iniciar su reproducción.

Tras un período de gestación de 10 a 11 meses (White *et al.*, 2006; Miller, 2016), se sugiere una reproducción probable anual, ya que la tasa de reproducción anual dependerá de la periodicidad de su ciclo reproductivo (Clarke *et al.*, 2015). La evidencia del crecimiento de ovocitos para este estudio, supone tener un ciclo reproductivo asincrónico, indicando que el período de ovulación podría presentarse en agosto, ya que es cuando los ovocitos alcanzan su pico de crecimiento. Por consiguiente, se puede asumir que los meses de nacimiento son mayo, junio o julio, dado que el período de ovulación ocurre de agosto a septiembre, con una disminución del tamaño de los ovocitos en septiembre.

Esto coincide con la mayor presencia de individuos juveniles durante el período de febrero a abril, siendo abril el mes de mayor prevalencia, lo que ratifica Nava y Márquez (2014), en su investigación aludiendo que *Sphyrna lewini* nace a partir de julio; sin embargo, se requiere más investigación para confirmar si presenta un ciclo reproductivo continuo. Un estudio en *Sphyrna tiburo* sugiere que las condiciones ambientales, con fluctuaciones estacionales bajas, podrían influir de manera significativa y posiblemente inducir la asincronicidad del ciclo reproductivo en elasmobranchios (Palacios *et al.*, 2020).

No obstante, en *S. lewini*, Torres *et al.*, (2008) aluden la presencia de que la ovulación ocurrió en esta especie en julio, presentando ovocitos en el oviducto con un diámetro promedio de 3.3 cm de diámetro, aunque no es una diferencia grande entre meses, puede considerarse una pequeña diferencia entre especies.

Conclusiones

- La proporción de sexos en *Sphyrna zygaena* es de 1.25 machos por cada hembra. Sin embargo, esta proporción varía dependiendo de la ubicación geográfica, con más hembras en Punta Lobos y una proporción más equilibrada en Bahía Tortugas.
- La segregación sexual de esta especie parece estar vinculada a estrategias adaptativas relacionadas con la migración y la dieta, permitiendo a machos y hembras optimizar su supervivencia y éxito reproductivo.
- Los juveniles de *Sphyrna zygaena* tienden a habitar áreas costeras, migrando hacia mar adentro conforme crecen.
- Las hembras alcanzan mayores longitudes que los machos, lo cual es una adaptación a la viviparidad, permitiendo mayor capacidad para la gestación.
- La madurez sexual en las hembras se observa a partir de los 226.27 cm de longitud total (LT), mientras que en los machos no se determinó un

valor específico debido a la falta de ajuste en los datos, pero se estima entre los 161 y 240 cm LT.

- Los individuos de *Sphyrna zygaena* presentan un desarrollo significativo de la glándula oviducal y el útero para hembras y testículos y gonopterigios para machos conforme alcanzan la madurez sexual.
- No se encontraron individuos preñados, pero se confirmó que esta especie es vivípara placentaria, con un desarrollo embrionario que depende inicialmente del vitelo y luego de una conexión placentaria.
- Se sugiere que el ciclo reproductivo de *Sphyrna zygaena* podría ser asincrónico, con ovulación en agosto y nacimiento de juveniles entre mayo y julio.
- Tanto los ovarios como los testículos están asociados con los órganos epigonales.
- La combinación de análisis morfométricos macroscópicos y estudios histológicos es esencial para comprender plenamente las etapas de madurez y las capacidades reproductivas de la especie, garantizando una evaluación precisa de su desarrollo biológico.
- Se recomienda llevar a cabo estudios histológicos para esta especie, para corroborar y complementar los datos obtenidos a nivel macroscópico.

Referencias Bibliográficas

1. Bernal Pérez, S., Ochoa Báez, R. I., Galván Magaña, F. y Soto López, K. (2021). "Reproductive biology of the swell shark *Cephaloscyllium ventriosum* (Carcharhiniformes: Scyliorhinidae)". *Journal of fish biology*, 99(3), 818–830. <https://doi.org/10.1111/jfb.14765>
2. Bizzarro, J.J., Smith W.D., Márquez Farias J.F. y Hueter R.E. (2007). "Artisanal fisheries and reproductive biology of the golden cownose ray, *Rhinoptera steindachneri* Evermann and Jenkins, 1891, in the northern Mexican Pacific". *Fish. Res.* 84: 137–146.
3. Bonfil Ramón. (2014). "Diagnóstico del estado de conservación de los elasmobranquios en México". Consultoría solicitada por la CONAMP. [Consultado el 12 de enero del 2024]. Disponible en: http://www.conamp.gob.mx/contenido/PDF/normatividad/estudios/DGOR/2014_Conservacion_Elasmobranquios.pdf
4. Bornatowski, H., Heithaus, MR., Abilhoa, V. y Correa, MFM. (2012). "Feeding of the Brazilian sharpnose shark *Rhizoprionodon lalandii* (Müller and Henle, 1839) from southern Brazil". *Journal of Applied Ichthyology*, 28(4), 623-627.
5. Bornatowski, H., Navia, AF, Braga, RR, Abilhoa, V. y Correa, MFM (2014). "Ecological importance of sharks and rays in a structural foodweb analysis in southern Brazil". *ICES Journal of Marine Science*, 71(7), 1586-1592.
6. Carrera Fernández, M. y Martínez Ortiz, J. (2007). "Aspectos reproductivos de los tiburones martillo *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) y *S. zygaena* (Linnaeus, 1758) en aguas del Ecuador". In *Tiburones en el Ecuador: Casos de Estudio*; Eds.; EPESPO-PMRC: Manta, Ecuador, pp. 51–56.

7. Castillo Géniz J. L. y Tovar Ávila J. (2016). "Tiburones mexicanos de importancia pesquera en la CITES". Instituto Nacional de Pesca. ISBN: 978-607-8274-14-7
8. CITES (2015). "Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres". Apéndices I, II y III. Secretaría de la CITES. Apéndice II en la 16ª Reunión de la Conferencia de las Partes (CoP16). [Consultado el 26 de enero del 2024]. Disponible en: http://elibrary.unep-wcmc.org/Document/GetDocument/16982/CoP16_Prop43_Sphyrna_ES
9. Clarke, S., Coelho, R., Francis, M., Kai, M., Kohin, S., Liu, K.M., Simpfendorfer, C., Tovar-Avila, J., Rigby, C. y Smart, J. (2015). "Report of the Pacific shark life history expert panel workshop". 28-30 April 2015. WCPFC–SCII–2015/EB–IP–13: 111pp
10. Coetzee, H. J.; Naidoo, K. y Wagenaar, I. (2021). "A first observation of spermatogenesis in mature male scalloped hammerheads (*Sphyrna lewini*) from Zinkwazi, KwaZulu-Natal, South Africa". *Fish physiology and biochemistry*, 47(3), 713–723. <https://doi.org/10.1007/s10695-020-00871-z>
11. Compagno, L.J (1984). "Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part II, Carcharhiniformes". *FAO FISH SYNOP.* (125) 4: 251-655.
12. Compagno, L.J., Krupp F. y Schneiders W. (1995). "Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca". *Pacifico Centro Oriental. FAO. Vol. 2.* (1):646-1200
13. Cortés Enric, Arocha Freddy, Beerkircher Lawrence, Carvalho Felipe, Domingo Andrés, Heupel Michelle, Holtzhausen Hannes, Santos Miguel N., Ribera Marta y Simpfendorfer Colin. (2010). "Ecological risk assessment of pelagic sharks caught in Atlantic pelagic longline fisheries". *Aquatic Living Resources* 23:25–34. doi:10.1051/alr/2009044
14. Cuevas Gómez, G. A., Pérez Jiménez, J. C., Méndez Loeza, I., Carrera Fernández, M., y Castillo Géniz, J. L. (2020). "Identification of a nursery area for the critically endangered hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) amid intense fisheries in the southern Gulf of Mexico". *Journal of Fish Biology.* doi:10.1111/jfb.14471
15. Del Moral Flores L. F. y Pérez Ponce de León G. (2013). "Tiburones, rayas y quimeras de México". *Biodiversitas*, 111: 1-6 [Consultado el 13 de enero del 2024]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/287687196>
16. Diemer, K.M., Mann, B.Q. y Hussey, N.E. (2011). "Distribución y movimiento del tiburón martillo festoneado *Sphyrna lewini* y del tiburón martillo liso *Sphyrna zygaena* a lo largo de la costa este del sur de África". *Revista Africana de Ciencias Marinas*, 33 (2), 229–238. <https://doi.org/10.2989/1814232X.2011.600291>
17. Dodd, J.M. (1983). "Reproduction in Cartilaginous fishes (Chondrichthyes)". 31-86. En: Hoar, W.S. & D.J. Randall (Eds.) *Fish Physiology*. Academic Press, Inc. New York, E.U.A

18. Duncan, K.M. y Holland, K.N. (2006). "Uso del hábitat, tasas de crecimiento y patrones de dispersión de tiburones martillo juveniles *Sphyrna lewini* en un hábitat de crianza". Marine Ecology Progress Series, 312, 211-221.
19. Estupiñán Montaña, C., Carrera Fernández, M. y Galván Magaña, F. (2021) "Reproductive biology of the scalloped hammerhead (*Sphyrna lewini*) in the central-eastern Pacific Ocean", Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 101(2), pp. 465–470. doi:10.1017/S0025315421000138.
20. FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2014). "Guía de a bordo para la identificación de tiburones pelágicos y rayas del océano Índico occidental". Ebert, DA. Reproducida de la ilustración de Marc Dando, ilustrador de vida silvestre.
21. Ferrari A. y Ferrari A. (2001). "Todo. Escualos". Barcelona. Ed. Grijalbo Mondadori. ISBN: 84-253-3612-2
22. Froese, R. y Pauly D. (2024). "*Sphyrna zygaena* (Lineo, 1758)". Editores Base de pescado. [Consultado el 26 de enero del 2024]. Disponible en el Registro Mundial de Especies Marinas en: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=105819> el 2024-01-27
23. Galíndez, Elena Juana y Aggio, Mario Carlos. (2002). "The Granulopoietic Organs of the Narrow Nose Smooth Hound *Mustelus Schmitti* (Chondrichthyes, Triakidae)". A Light and Electron Microscopic Study. Revista chilena de anatomía, 20(1), 49-54. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-98682002000100007>
24. García Salinas, P., Gallego, V. y Asturiano, J. F. (2021). "Reproductive Anatomy of Chondrichthyans: Notes on Specimen Handling and Sperm Extraction. II. Sharks and Chimaeras". Animals: an open access journal from MDPI, 11(8), 2191. <https://doi.org/10.3390/ani11082191>
25. Gilbert, P.W. (1981). "Patterns of shark reproduction". Oceanus 24(4): 30-39.
26. GTRT, Grupo de Trabajo Regional de Tiburones (2010). "Protocolo de Colecta de Datos de los Desembarques y Muestreo Biológico en la Pesca Artesanal e Industrial de Tiburones y Rayas en América Central". Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano (OSPESCA). 36 p. [Consultado el 02 de enero del 2024]. Disponible en: https://www.sica.int/documentos/protocolo-de-colecta-de-datos-de-los-desembarques-y-muestreo-biologico-en-la-pesca-artesanal-e-industrial-de-tiburones-y-rayas-en-america-central_1_53297.html
27. Guzmán Del Prío S.A., Mille Pagaza S.R., Guadarrama Granados R., De la Campa De Guzmán S., Carrillo Laguna J., Pereir Corona A., Belmar Pérez J., Parra Alcocer M. De J. y Luque Guerrero A.C. (1991). "La comunidad bentónica de los bancos de abulón (*Haliotis* spp. Mollusca:gastropoda) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México". Esc. Nac. Cienc. Biol. Méx. 36:27-59.

28. Hamlett, W. C., Allen, D. J., Stribling, M. D., Schwartz, F. J. y Didio, L. J. (1985). "Permeability of external gill filaments in the embryonic shark". Electron microscopic observations using horseradish peroxidase as a macromolecular tracer. *Journal of submicroscopic cytology*, 17(1), 31–40.
29. Hamlett, W.C., Knight D.P., Pereira F.T.V., Steele J. y Sever David M. (2005). "Reproductive Biology and Phylogeny of Chondrichthyes: Sharks, Batoids, and Chimaeras". Volume 3 (1st ed.). Volume edited by William Hamlett. Science Publishers, Inc. Plymouth, UK. pp. 301-336 CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781439856000>
30. Hamlett, W.C., Knight, D.P., Koob, T.J., Jezior, M., Luong, T., Rozycki, T., Brunette, N. y Hysell, M.K. (1998). "Survey of oviducal gland structure and function in elasmobranchs". *Exp. Zool.*, 282: 399-420. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-010X\(199811/12\)282:4/5<399::AID-JEZ2>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-010X(199811/12)282:4/5<399::AID-JEZ2>3.0.CO;2-6)
31. Holland K. N., Wetherbee B. M., Peterson J. D. y Lowe C. G. (1993). "Movements and Distribution of Hammerhead Shark Pups on Their Natal Grounds". *COPEIA*. (2): 495-502.
32. Honma, Y., Okabe K. y Chiba A. (1984). "Comparative histology of the Leydig and epigonal organs in some elasmobranchs". *Jpn. J. Ichthyol.*, 31(1): 47-54.
33. IUCN. (2021). "Propuesta para la Inclusión del Tiburón Martillo Liso *Sphyrna zygaena*". Anexo III. Protocolo Spaw Rigby, C.L., Barreto, R., Carlson, J., Fernando, D., Fordham, S., Herman, K., Jabado, R.W., Liu, K.M., Marshall, A., Pacoureaux, N., Romanov, E., Sherley, R.B. & Winker, H: The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T39388A2921825 [Data set]. En IUCN Red List of Threatened Species. IUCN. https://www.car-spaw-rac.org/IMG/pdf/unep_depi_car_wg.42inf.24_add5_smooth_hammerhead_proposal_-_es.pdf
34. Joung, S.J., y Chen, C. (1995). "Reproduction in the Sandbar Shark, *Carcharhinus plumbeus*, in the Waters off Northeastern Taiwan". *Copeia*, 1995, 659-665.
35. Katona, G., Szabó, F., Végvári, Z., Székely, T., Jr, Liker, A., Freckleton, R. P., Vági, B., y Székely, T. (2023). "Evolution of reproductive modes in sharks and rays". *Journal of evolutionary biology*, 36(11), 1630–1640. <https://doi.org/10.1111/jeb.14231>
36. Klimley, A.P. (2004). "The determinants of sexual segregation in the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*". *Environmental Biology of Fishes*, 18, 27-40.
37. López Martínez, J., Cabanilla Carpio, C., Choez, W. R. y Arzola Sotelo, E. A. (2020). "Interannual variability of distribution, abundance and population dynamics of the smooth hammerhead *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) in the central-southeast Pacific Ocean". *Journal of Fish Biology*, 97(2): 341–353. <https://doi.org/10.1111/jfb.14360>

38. Lorenzo, E.D., Miller, A.J., Neilson, D.J., Cornuelle, B.D., y Moisan, J. (2004). "Modelling observed California Current mesoscale eddies and the ecosystem response". *International Journal of Remote Sensing*, 25, 1307 - 1312.
39. Marongiu, M. F., Porcu, C., Pascale, N., Bellodi, A., Cau, A., Mulas, A., Pesci, P., Porceddu, R., y Follesa, M. C. (2021). "A Taxonomic Survey of Female Oviducal Glands in Chondrichthyes: A Comparative Overview of Microanatomy in the Two Reproductive Modes". *Animals: an open access journal from MDPI*, 11(9), 2653. <https://doi.org/10.3390/ani11092653>.
40. McClusky, L. M., y Sulikowski, J. (2014). "The epigonal organ and mature pole of the testis in the recreationally fished blue shark (*Prionace glauca*): histochemico-functional correlates". *Journal of anatomy*, 225(6), 614–624. <https://doi.org/10.1111/joa.12242>
41. Mejía D., Mero Jiménez J. y Briones Mendoza J. (2022). "Biología, Ecología y pesquería del tiburón martillo (*Sphyrna zygaena*) en el Ecuador: una revisión histórica-bibliográfica". *Scientia*. 32. 32-45.
42. Miller, M. H. (2016). "Endangered Species Act Status Review Report: Smooth Hammerhead Shark (*Sphyrna zygaena*)". Silver Spring, MD.
43. Motta, F.S., Gadig, O.B., Namora, R.C., y Braga, F.M. (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(1-3), 116-126.
44. Natanson, L.J., y Cailliet, G.M. (1986). "Reproduction and Development of the Pacific Angel Shark, *Squatina californica*, off Santa Barbara, California". *Copeia*, 987-994.
45. Nava Nava, P. y Márquez Farías J. F. (2014). "Talla de madurez del tiburón martillo, *Sphyrna zygaena*, capturado en el Golfo de California". *Hidrobiológica*, 24(2), 129-135. [Consultado el 29 de enero del 2024]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972014000200005&lng=es&tlng=es.
46. Negrete Aveiga, A. M. (2007). "Composición de los desembarques de la pesca artesanal de tiburón en Puerto López, Manabí, con énfasis en las dos especies más abundantes: *Sphyrna zygaena* y *Squatina californica*". [tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quito]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/874>
47. Orozco Guarín María Alejandra, Mejía Falla Paola Andrea y Londoño Cruz Edgardo (2014). "Aspectos reproductivos del tiburón martillo (*Sphyrna corona*) en el Pacífico colombiano". Trabajo de grado. Pregrado. Recuperado el 28 de junio de 2024, de <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/3d197fe9-466f-47bd-ba1b-985383a17a2c/content>
48. Palacios Hernández, D., Castillo Géniz, J. L., Méndez Loeza, I., y Pérez Jiménez, J. C. (2020). "Temporal and latitudinal comparisons of reproductive parameters in a heavily exploited shark, the bonnethead, *Sphyrna tiburo* (L.

- 1758), in the southern Gulf of Mexico”. *Journal of Fish Biology*, 97(1), 100–112. doi:10.1111/jfb.14330
49. Pedreros Sierra T.M. y Ramírez Pinilla M.P. (2015). “Morphology of the reproductive tract and acquisition of sexual maturity in males of *Potamotrygon magdalenae* (Elasmobranchii: Potamotrygonidae)”. *J Morphol.* 276(3):273-89. doi: 10.1002/jmor.20337. Epub 2014 Nov 18. PMID: 25408127.
50. Penfold, L. M., y Wyffels, J. T. (2019). “Reproductive Science in Sharks and Rays”. *Advances in experimental medicine and biology*, 1200, 465–488. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23633-5_15
51. Pérez Jiménez Juan Carlos (2001). “Análisis de la pesquería artesanal de tiburones y rayas de Isla Isabel, Nayarit, México”. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 75 pp.
52. Piercy, A. N., Murie, D. J., y Gelsleichter, J. J. (2016). “Histological and morphological aspects of reproduction in the sandbar shark *Carcharhinus plumbeus* in the U.S. south-eastern Atlantic Ocean and Gulf of Mexico”. *Journal of fish biology*, 88(5), 1708–1730. <https://doi.org/10.1111/jfb.12945>
53. Powter, D.M. y Gladstone W. (2008). “Demographic analysis of the Port Jackson shark *Heterodontus portusjacksoni* in the coastal waters of eastern Australia”. *Marine and Freshwater Research* 59(5):444-455.
54. Pratt Harold. (1979). “Reproduction in the blue shark, *Prionace glauca*”. *Fishery Bulletin. National Oceanic and Atmospheric Administration.* 77. 445-470.
55. Pratt, H. L., Jr, y Tanaka, S. (1994). “Sperm storage in male elasmobranchs: a description and survey”. *Journal of morphology*, 219(3), 297–308. <https://doi.org/10.1002/jmor.1052190309>
56. Punt, A. E. y Walter, T. I. (1998). “Stock assessment and risk analysis for the school shark *Galeorhinus galeus*, off southern Australia”. *Mar. Freshw. Res.* 51:205-220.
57. Ramírez Amaro, S., Cartamil, D.P., Galván Magaña, F., González Barba, G., Graham, J.B., Carrera Fernández, M., Escobar Sánchez, O., Sosa Nishizaki, O., y Rochin Alamillo, A. (2013). “The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California Sur, Mexico, management implications”. *Scientia Marina*, 77, 473-487.
58. Ramírez Amaro, Sergio Roberto, Galván Magaña, F., González Barba, G. y Carta leve. (2003). “Caracterización de la pesca artesanal de elasmobranchios en la costa occidental de Baja California Sur, México”. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional.
59. Romero Lucero F., Constante García J.J., Salvatierra Lucero C, Acevedo Rangel R. Martínez Urrea D.A. y Espinoza García, S. (2016). “Pesca artesanal de *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en dos sitios de Baja California Sur, México”. SOMEPEC. [Consultado el 29 de enero del 2024].

Disponible en: https://somepec.org/wp-content/uploads/2018/10/Libro_Resumenes.pdf

60. Schoch, C. L., Ciuffo, S., Domrachev, M., Hotton, C. L., Kannan, S., Khovanskaya, R., Leipe, D., Mcveigh, R., O'Neill, K., Robbertse, B., Sharma, S., Soussov, V., Sullivan, J. P., Sun, L., Turner, S., y Karsch-Mizrachi, I. (2020). "Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools". NCBI. Database: the journal of biological databases and curation, 2020, baaa062. <https://doi.org/10.1093/database/baaa062>
61. SEMARNAT. (2018). "Programa de Acción para la Conservación de las Especies Tiburones y Rayas". SEMARNAT/CONANP, México (Año de edición 2018). [Consultado el 16 de enero del 2024]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/444011/PACE_Tiburones_y_Rayas.pdf
62. Smale, M. J. (1991). "Occurrence and feeding of three shark species, *Carcharhinus brachyurus*, *C. obscurus* and *Sphyrna zygaena*, on the Eastern Cape coast of South Africa". South African Journal of Marine Science, 11(1), 31–42. Doi:10.2989/025776191784287808
63. Soria Quiroz Armando G. (2003). "Descripción Anatómica e Histológica del Sistema Reprodutor de Juveniles de Tiburón Martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834)". Tesis de Maestría en Manejo de Recursos Marinos. IPN-CICIMAR
64. Sverdrup, H.U., Johnson, M.W. y Fleming, R.H. (1943). "The oceans: their physics, chemistry, and general biology". Copeia, 1943, 261.
65. Torres Huerta, Ana María, Villavicencio Garayzar, Carlos, y Corro Espinosa, David. (2008). "Biología reproductiva de la cornuda común *Sphyrna lewini* Griffith & Smith (Sphyrnidae) en el Golfo de California". Hidrobiológica, 18(3), 227-238. Recuperado en 18 de junio de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972008000300006&lng=es&tlng=es.
66. Tricas Timothy C., Deacon Kevin, Last Peter, McCosker John E., Walker Terence I. y Taylor Leighton. (1998). "Tiburones y Rayas". Editorial Planeta. 288 pp.
67. UICN. (2019). "*Sphyrna zygaena*". Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN: e. T39388A2921825. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T39388A2921825.en>. Consultado el 18 de junio de 2024.
68. UNAM-CNP; Colegio Nacional de Peces. (2011). "Evolución, Clase Chondrichthyes". Instituto de Biología. [Consultado el 12 de enero del 2024]. Disponible en: http://www.ibiologia.unam.mx/peces/evolucion_%20CHONDRICHTHYES.html
69. Walker T.I. (2005). "Reproduction in fisheries science". 81-127 En: Hamlett W. (Ed). Reproductive Biology and Phylogeny of Chondrichthyes. Sharks, Batoids and Chimaeras. Science Publishers, Inc. USA. 562p.

70. Wargat, B.N. (2021). "Characterization of a scalloped hammerhead (*Sphyrna lewini*) nursery habitat in portions of the Atlantic Intracoastal Waterway". Tesis de Maestría. University of North Florida.
71. Wearmouth, V. J. y Sims, D. W. (2008). "Sexual segregation in marine fish, reptiles, birds and mammals behaviour patterns, mechanisms and conservation implications". *Advances in marine biology*, 54, 107–170. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(08\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(08)00002-3)
72. White W.T., Blaser S.J. y Craig J.F. (2012). "The current status of elasmobranchs: biology, fisheries and conservation". *J Fish Biol.*80(5):897-900. Doi: 10.1111/j.1095-8649.2012.03268.x. PMID:22497366.
73. White, W. T., Last, P. R., Stevens, J. D. y Yearsley, G. K. (2006). "Economically Important Sharks and Rays of Indonesia". Canberra. Doi [10.22004/ag.econ.114072](https://doi.org/10.22004/ag.econ.114072)

