



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

“EDAD Y CRECIMIENTO DE LA GUITARRA BANDEADA, *Zapteryx exasperata* (JORDAN & GILBERT 1880) (RHINOPRISTIFORMES: TRYGONORRHINIDAE), EN LA COSTA CENTRAL DE SONORA, MÉXICO”

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

Maestro(a) en Ciencias Marinas y Costeras

PRESENTA

Lic. Arlin Gabriela Ramos Rodriguez

DIRECTOR(A) DE TESIS

Dra. María del Pilar Blanco Parra

ASESORES

Dr. Javier Tovar Ávila

Dr. Carlos Alberto Niño Torres

Dr. Luis Manuel Mejía Ortíz

Dra. Delma Nataly Castelblanco Martínez



COZUMEL, QUINTANA ROO, MÉXICO, OCTUBRE 2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

COMITÉ DE TESIS


DIRECTOR(A): **Dra. María del Pilar Blanco Parra**


ASESOR: **Dr. Javier Tovar Ávila**


ASESOR: **Dr. Carlos Alberto Niño Torres**


ASESOR: **Dr. Luis Manuel Mejía Ortíz**


ASESOR: **Dra. Delma Nataly Castelblanco Martínez**



COZUMEL, QUINTANA ROO, MÉXICO, OCTUBRE 2023.

DEDICATORIA

A mis padres y abuelos por esos momentos catastróficos que llegamos a pasar durante el proceso de la Maestría. Han sido mi apoyo moral y me han proporcionado todo el amor del mundo. Además, que me mostraron un lugar maravilloso que es el mar.

A mis amigas que con su sororidad y empatía hemos logrado avanzar en este camino llamado vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo por recibirme como alumna en el programa de Maestría en Ciencias Marinas y Costeras y haberme brindado nuevos conocimientos y experiencias.

A la Dra. María del Pilar Blanco Parra por la oportunidad de trabajar bajo su dirección, gracias por sus enseñanzas, por dedicar tiempo a la revisión de este trabajo y por su apoyo. Por confiar en mí y motivarme. Así como también por compartir su conocimiento conmigo.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONHACYT) por el apoyo mediante la beca nacional 818430 para estudiantes de posgrado.

Al Laboratorio de Proyectos especiales de la unidad Chetumal por los buenos momentos y las experiencias compartidas.

Gracias al Dr. Tovar por el apoyo y las enseñanzas durante el proceso de datos y escritura de la tesis. Mi más sincero respeto y admiración.

Agradezco también a mi comité de tesis integrado por el Dr. Niño, Dr. Mejía y la Dra. Castelblanco por su apoyo y guía durante el proceso.

A mis padres y abuelos por el apoyo económico, moral y profesional, por el esfuerzo que hacen para que pueda cumplir mis metas y objetivos.

A mis padres postizos Lupita y Eduardo por estar ahí y apoyarme en los momentos difíciles que se atravesaron en el camino.

A mis amigas: Jhoselinne, Daysi, Ana Sofía, Fanny y Estibaliz, por estar conmigo durante este proceso y apoyarnos entre nosotras ante cualquier situación y alentarnos a ser mejor.

A los pescadores que hicieron posible la toma de muestras en los campos pesqueros.

A todas esas personas que me faltó mencionar pero que también estuvieron durante el camino y me brindaron su apoyo.

ÍNDICE

DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS	6
RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN	13
MARCO TEÓRICO	15
Clasificación taxonómica.....	15
Descripción de la especie.....	16
Reproducción	19
Pesquería.....	20
Estimación de la edad y crecimiento	22
Validación de la edad.....	23
Modelos de crecimiento	24
ANTECEDENTES.....	26
JUSTIFICACIÓN.....	28
HIPÓTESIS.....	29
OBJETIVOS.....	29
Objetivo general	29
Objetivos específicos	30
ÁREA DE ESTUDIO.....	30
MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
Obtención y procesamiento de muestras	32
Trabajo de gabinete	36
Lectura de vértebras	36
Análisis de datos.....	37
Precisión en las lecturas de marcas de crecimiento	37
Estimación de la edad.....	38
Validación de la periodicidad de formación de bandas.....	38
Modelos de crecimiento.....	39
RESULTADOS.....	41
Edad	42
Modelos de crecimiento.....	47
DISCUSIÓN.....	52

CONCLUSIONES	61
LITERATURA CITADA	62

ÍNDICE DE FIGURAS

- Fig. 1. Vista dorsal de un individuo de *Zapteryx exasperata* del Golfo de California. 16**
- Fig. 2. Vista ventral de una hembra de *Zapteryx exasperata* del Golfo de California. 17**
- Fig. 3. Distribución geográfica de *Zapteryx exasperata* según Aitchison et al. (2021). ... 18**
- Fig. 4. Diagrama de los planos en que se puede cortar una vértebra basado en el centrum. Elaborado por: Niño-Torres Carlos Alberto, 2021. 23**
- Fig. 5. Representación del área de estudio en el Golfo de California. La zona con un polígono color gris corresponde a la costa central de Sonora. 32**
- Fig. 6. Representación de: a) campos pesqueros (puntos) y b) zonas de captura en la costa central de Sonora en el Golfo de California; 1. Isla Tiburón, 2. Bahía de Kino, 3. El Sahuimaro, 4. El Choyudo, 5. Guaymas, 6. San Pedro Mártir. Modificado de: Blanco-Parra et al., 2009. 33**
- Fig. 7. Medidas morfométricas (longitud interdorsal (LI), longitud total (LT), longitud del disco (LD) y ancho del disco (AD)) de los individuos de *Zapteryx exasperata*. Tomado de: Blanco-Parra, 2009. 34**
- Fig. 8. Cortadora Buehler de baja velocidad, modelo Isomet, con una cuchilla de borde de diamante y ejemplo de cómo se montaron las vértebras en madera. 35**
- Fig. 10. Corte sagital de vértebra de *Zapteryx exasperata* de 7 años. Puntos negros: bandas (años), CC: corpus calcareum, I: intermedialia. 36**
- Fig. 11. Representación de un corte longitudinal de una vértebra con las medidas para obtener la proporción del incremento marginal (I_{MR}) según lo propuesto por Okamura y colaboradores (2013), M se refiere al ancho del margen = $V - R_n$; P al ancho del par de bandas previo al margen = $R_n - R_{n-1}$. V se refiere al radio vertebral; R_n al radio de la última banda completa y R_{n-1} al radio de la penúltima banda completa. 39**
- Fig. 12. Frecuencia de organismos machos y hembras (n= 174) de *Zapteryx exasperata* capturados con pesca artesanal en la costa central de Sonora, México. 41**
- Fig. 13. Frecuencia de tallas de *Zapteryx exasperata* de hembras y machos capturados en pesca artesanal en la costa central de Sonora, México (n= 174). 42**
- Fig. 14. Porcentaje de formación de bordes traslúcidos y opacos de *Zapteryx exasperata* en el Golfo de California durante los meses de muestreo (n=172). 43**
- Fig. 15. Relación del Radio vertebral con la Longitud total (RV-LT) de *Zapteryx exasperata* de hembras y machos capturados en pesca artesanal en la costa central de Sonora, México (n= 172). 44**
- Fig 16. Análisis de la proporción del incremento marginal (I_{MR}) por mes de las vértebras de *Zapteryx exasperata* en el Golfo de California (n=172). 45**

Fig. 17. Media y error estándar por mes de la I_{MR} de las vértebras de <i>Zapteryx exasperata</i> en el Golfo de California (n=172).	45
Fig. 18. Frecuencia de edades estimadas para <i>Zapteryx exasperata</i> en el Golfo de California (n=172).....	47
Fig. 19. Curva de crecimiento obtenida del modelo de von Bertalanffy de dos parámetros (vBGM-2p) de las edades observadas de <i>Zapteryx exasperata</i> en machos (n=82).....	48
Fig. 20. Curva de crecimiento obtenida del modelo de von Bertalanffy de dos parámetros (vBGM-2p) de las edades observadas de <i>Zapteryx exasperata</i> en hembras (n=90).	49
Fig. 21. Curva de crecimiento obtenida del modelo de von Bertalanffy (vBGM) de las edades observadas de <i>Zapteryx exasperata</i> en machos (n=82).	49
Fig. 22. Curva de crecimiento obtenidas del modelo de von Bertalanffy (vBGM) de las edades observadas de <i>Zapteryx exasperata</i> en hembras (n=90).....	50
Fig. 23. Curva de crecimiento obtenida del modelo de Gompertz de las edades observadas de <i>Zapteryx exasperata</i> en machos (n=82).....	50
Fig. 24. Curva de crecimiento obtenida del modelo de Gompertz de las edades observadas de <i>Zapteryx exasperata</i> en hembras (n=90).	51
Fig. 25. Curva de crecimiento obtenida del modelo de Logístico de las edades observadas de <i>Zapteryx exasperata</i> en machos (n=82).....	51
Fig. 26. Curva de crecimiento obtenida del modelo de Logístico de las edades ajustadas de <i>Zapteryx exasperata</i> en hembras (n=90).....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de crecimiento obtenidos con el modelo de von Bertalanffy en cuatro especies de la familia Trygonorrhinidae. L_{∞} , longitud teórica máxima; k , coeficiente de crecimiento; t_0 , edad teórica donde la longitud era cero. 26

Tabla 2. Valores del índice porcentual de error promedio (APE), coeficiente de variación (CV) y el índice de precisión (D). 42

Tabla 3. Valores obtenidos del criterio de Akaike en la prueba de Okamura et al. (2013) (AIC; Δ_i , diferencia de Akaike y W , peso de Akaike). 46

RESUMEN

La edad y crecimiento son características biológicas de suma importancia en las pesquerías y se les clasifica como variables influyentes e indicadoras de la salud del stock. El estudio de éstas brinda parámetros con los cuales se pueden estimar otros aspectos de la población como la edad de madurez, longevidad y crecimiento, los cuales son datos fundamentales para describir la dinámica poblacional y para el manejo de las pesquerías. En el Pacífico Mexicano, las pesquerías artesanales de tiburones y rayas tienen un alto impacto socioeconómico, por su parte *Zapteryx exasperata*, tiene gran importancia dentro de la pesquería artesanal del Golfo de California (GC) y juega un papel importante en los ecosistemas costeros del GC como una especie reguladora, debido a su papel como depredador tope. Sin embargo, no hay datos suficientes de esta especie que permitan evaluar el estatus de la población debido a que algunos aspectos de su biología permanecen inciertos. Se utilizaron vértebras de 172 individuos para estimar la edad y crecimiento de *Z. exasperata* en la costa central de Sonora, México, utilizando una aproximación multimodelo comparando 4 modelos determinísticos: vonBertalanffy, vonBertalanffy de dos parámetros, Gompertz y Logístico. Se obtuvo un intervalo de longitud total (LT) de 41.3-86.8 cm en hembras (n=90) y de 46.7-75 cm en machos (n=82), siendo los últimos significativamente más pequeños ($P<0.05$). El intervalo de edad para las hembras fue de 3-23 años, mientras que para machos fue de 3-12 años. Según el análisis de bordes, la periodicidad de formación de bandas de crecimiento fue anual. El modelo que mejor describió el crecimiento de los individuos según el criterio de Akaike fue el de von Bertalanffy de dos parámetros, en donde los parámetros obtenidos fueron k : 0.17 años⁻¹ L_{∞} : 88.99 LT cm para hembras y k : 0.29 años⁻¹, L_{∞} : 71.03 LT cm para machos.

Palabras clave: edad, crecimiento, elasmobranquios, vértebras, pesquerías

INTRODUCCIÓN

Los peces condriictios (quimeras, tiburones y rayas) son un grupo diverso que presenta un alto riesgo de extinción. Según una evaluación global de la lista roja de especies amenazadas de la IUCN se identificó que el 17.4% de las especies en este clado están amenazadas y el 46.8% presenta datos insuficientes para su evaluación (Dulvy et al. 2021). Sus atributos biológicos como crecimiento lento, madurez sexual tardía, longevidad y baja fecundidad los hace vulnerables a la sobreexplotación, pues la recuperación de sus poblaciones puede tomar largos períodos de tiempo, lo cual genera preocupación debido a las funciones que tienen dentro del ecosistema marino e induce la necesidad de generar planes de manejo sostenible (Stevens et al. 2000; Santana-Morales et al. 2020).

Dentro del grupo de los elasmobranquios, las familias más amenazadas se encuentran en el orden de los Rhinopristiformes: Pristidae, Rhinobatidae y Rhinidae. La estimación del estado de las poblaciones de estas familias es complicada debido a su compleja relación filogenética y taxonómica (Kyne et al. 2020). La reestructuración del orden de los Rhinopristiformes trajo consigo la reasignación de ciertas especies en otra familia del mismo orden, como lo fue el caso de la guitarra bandeada (*Zapteryx exasperata*), la cual se encontraba en la familia Rhinobatidae y ahora se encuentra en la familia Trygonorrhinidae (Last y Serét, 2016; Kyne et al. 2020; Dulvy et al. 2021).

México es un país con una alta diversidad de elasmobranquios con aproximadamente 214 especies tanto marinas como de agua salobre (Del Moral-Flores et al. 2015). En el Pacífico mexicano (PM) 47 especies de tiburones y 55 especies de rayas se distribuyen en la provincia de Cortés (sinus Californiana) también conocida como Golfo de California (GC) o Mar de Cortés (González-Acosta et al. 2021). A nivel mundial se ha estimado que se capturan alrededor de 1.5 millones de toneladas de elasmobranquios cada año, siendo México uno de los cinco países que tienden a explotar de forma recurrente este grupo de peces (Stevens et al. 2000; Santana-Morales et al. 2020). Específicamente en el PM las capturas han llegado a aportar el 79% de la producción pesquera nacional, siendo el GC el área principal de pesca (González-Acosta et al. 2021).

En el PM las pesquerías artesanales de tiburones y rayas generan una derrama económica importante en las comunidades locales y regionales debido a que origina empleos, insumos y provee alimento (INAPESCA, 2012). En el caso del GC, la pesquería

artesanal de rayas se realiza con base en su abundancia y de manera estacional, ya que es una alternativa cuando otros recursos se encuentran en veda como el camarón o la jaiba (Márquez-Farías, 2007). Además, las rayas también son extraídas como fauna de acompañamiento en pesquerías de arrastre de camarón y en pesquería de escama (Márquez-Farías, 2007).

La normativa que rige las capturas de los tiburones y rayas en México es la NOM-029-PESC-2006, en ella se especifican la forma en que se aprovecha el recurso, en la misma se contemplan 48 especies de rayas dentro de las cuales podemos encontrar la Guitarra bandeada (*Zapteryx exasperata*) (INAPESCA, 2012). Sin embargo, no se han establecido medidas para determinar la cantidad de embarcaciones que podrían soportar las zonas de pesca lo cual podría conllevar un mal manejo del recurso y con ello la sobreexplotación de este (Bizzarro et al., 2009). Las familias Trygonorrhinidae y Rhinobatidae representan el 52% de las rayas capturadas en la pesquería del GC, y el 75% de las capturas son realizadas de marzo a junio con un pico en abril donde las hembras preñadas migran a la zona costera (Blanco-Parra et al. 2009).

A pesar de que la guitarra bandeada tiene gran importancia dentro de la pesquería artesanal del GC, se encuentra dentro de la lista roja de la UICN (International Union for Conservation of Nature) en la categoría de datos insuficientes (Blanco-Parra et al., 2009; IUCN, 2023; Cervantes-Gutiérrez, 2017), esto debido a que algunos aspectos de la especie permanecen inciertos. Los estudios realizados en las zonas de aparición abordan la biología reproductiva en la costa oeste de Baja California Sur, reproducción en Bahía tortugas, Baja California Sur (Cervantes-Gutiérrez, 2017) y Golfo de California (Blanco-Parra et al. 2009), pesquería en el Golfo de California (Blanco-Parra et al. 2009), ecología trófica (Blanco-Parra et al. 2012; Vázquez-Moreno, 2018), concentración de mercurio (Murillo-Cisneros et al., 2018), edad y crecimiento en la costa noroeste de Baja California Sur (Cervantes-Gutiérrez, 2017), y análisis molecular filogenético (Castillo-Páez et al. 2017).

El estudio de la edad y crecimiento es de relevancia ya que proporciona información que ayuda a estimar edad de madurez y longevidad de la población, datos que son fundamentales para la evaluación del riesgo de las especies vulnerables ante la pesca para así originar planes de manejo sustentables (Blanco-Parra, 2003; Cervantes-Gutiérrez et al.

2017). En este estudio se pretende estimar la edad y crecimiento de la guitarra bandeada en la costa central de Sonora, México.

MARCO TEÓRICO

Clasificación taxonómica

Los peces cartilaginosos existen desde hace aproximadamente 420 millones de años, aparecieron en la era Paleozoica en el período Silúrico, y se encuentran divididos en Holocephali (quimeras), Selachians (tiburones) y Batoideos (rayas) (Compagno, 2001; Carrillo et al. 2018). A nivel global se estima que existen alrededor de 509 especies de tiburones y 630 de rayas tanto marinos como de agua dulce (Compagno, 2001). Las rayas se encuentran altamente modificadas por lo que son más diversas y exitosas en comparación a los tiburones y quimeras (Compagno, 2001; Carrillo et al. 2018). *Zapteryx exasperata* es considerada una raya guitarra (Fig. 1) y su clasificación taxonómica según Last y Serét (2016) se presenta a continuación:

Calse: Chondrichthyes

Subclase: Elasmobranchii

Orden: Rhinopristiformes

Familia: Trygonorrhinidae

Género: *Zapteryx*

Especie: *Zapteryx exasperata*



Fig. 1. Vista dorsal de un individuo de *Zapteryx exasperata* del Golfo de California.

Descripción de la especie

Dentro del orden de los Rhinoprístiformes existen características morfológicas que se conservan dentro de los géneros como la morfología de la zona oronasal, en el género *Zapteryx*, algunas de las características de esta región son nostrils pequeños y colgajos nasales anteriores poco bilobulados no fusionados, mandíbula inferior ligeramente convexa, labio superior cóncavo, surcos orales bien desarrollados lateralmente que forman crestas corrugadas en mentón (Last et al. 2016). La guitarra bandeada presenta un hocico ancho y corto con una coloración que va de café a gris con bandas de tonalidad café oscuro que pasan por el disco, el cual es casi igual a su longitud, en la zona apical las bandas se observan más pronunciadas incluso la tonalidad cambia, también posee varias espinas a lo largo de la columna vertebral (Fig. 1); por su parte la zona ventral tiene coloración blanca con puntos negros en el borde de las aletas pectorales y zona abdominal (Fig. 2) (Blanco-Parra, 2009; Cervantes-Gutiérrez, 2017). La primera aleta dorsal parte de forma más cercana a las aletas pélvicas que caudales, su cola es delgada y moderadamente larga con una aleta caudal redondeada sin lóbulo inferior diferenciado (Blanco-Parra, 2009) (Fig. 1).



Fig. 2. Vista ventral de una hembra de *Zapteryx exasperata* del Golfo de California.

Esta especie es bentónica con hábitos costeros y preferencia a los arrecifes rocosos, el rango donde se encuentra presente va desde la zona intermareal hasta profundidades entre 100 y 200 m, de forma ocasional se le ha reportado en fondos arenosos y lagunas costeras, el encontrarla en estas zonas con diferente profundidad es debido a que presenta migraciones estacionales, en primavera y verano la podemos encontrar en la zona costera y otoño e invierno en aguas más profundas (Blanco-Parra et al. 2009; Cervantes-Gutiérrez, 2017). *Zapteryx exasperata* se distribuye desde La Bahía de Monterey, California hasta Oaxaca, México, incluyendo el Golfo de California (Fig. 3) (Blanco-Parra, 2009; Cervantes-Gutiérrez, 2017; Castillo-Páez et al. 2017; Aitchison et al. 2021), en México su distribución al sur del Golfo de California en la zona de Sinaloa es controversial, ya que suele ser confundida con *Z. xyster* debido al parecido morfológico que presentan y lo que las distingue entre si es que *Z. exasperata* tiene una ausencia de ocelos en la zona dorsal (Blanco-Parra, 2009; Cervantes-Gutiérrez, 2017; Castillo-Páez et al. 2017).

El reciente avistamiento de *Zapteryx exasperata* en la Bahía de Monterey, California, mostró un cambio en el comportamiento, ya que se observó una hembra activa durante la tarde del mes de octubre (Aitchison et al. 2021), diferente a lo reportado para esta especie tanto en el Golfo de California y en la costa oeste de Baja California, ya que se le ha observado con mayor abundancia en los meses de primavera y verano mientras que en otoño su presencia ha sido poca o ausente. En el Golfo de California en los meses de otoño

e invierno se ha propuesto que se encuentra en aguas profundas con una posible migración a la zona costera para su reproducción en primavera y verano (Blanco-Parra et al. 2009; Cervantes-Gutiérrez, 2017).

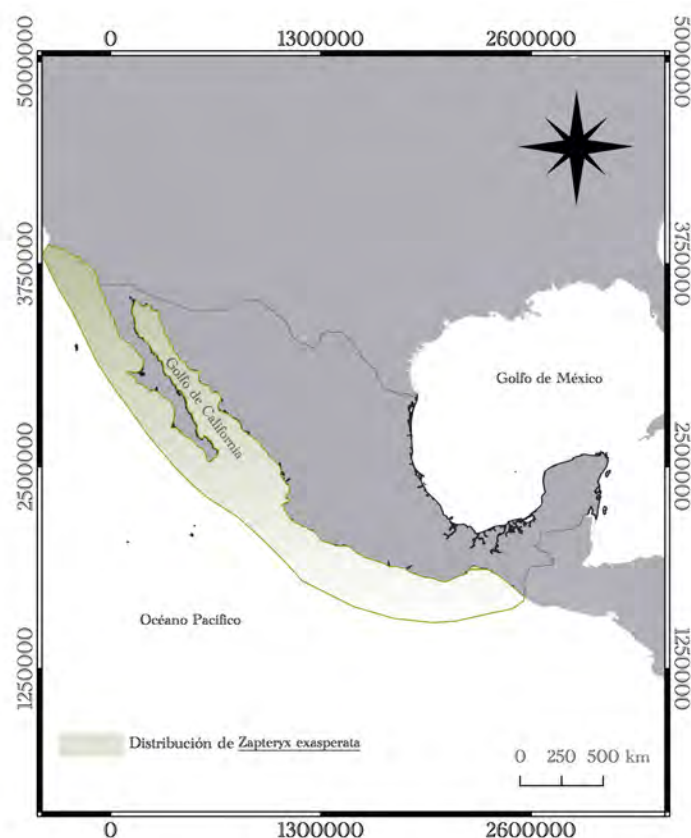


Fig. 3. Distribución geográfica de *Zapteryx exasperata* según Aitchison et al. (2021).

En el Golfo de California, los individuos de *Zapteryx exasperata* pueden alcanzar una longitud total (LT) de hasta 90 cm en hembras y de 83 cm LT en machos, mientras que en Baja California Sur las LTs máximas son de 103 cm en hembras y 83 cm en machos. En ambos casos se presenta un dimorfismo sexual en donde las hembras tienen un tamaño mayor a los machos (Blanco-Parra et al. 2009; Cervantes-Gutiérrez, 2017). También se ha reportado que su crecimiento es alométrico positivo, es decir que aumentan más de peso que de talla en el GC, mientras que en la población de BCS los individuos presentaron un crecimiento alométrico negativo (Blanco-Parra et al. 2009; Cervantes-Gutiérrez, 2017).

Zapteryx exasperata es considerada un depredador especialista de hábitos nocturnos (Blanco-Parra et al. 2011; Vázquez-Moreno, 2015). En la zona del Golfo de California su nivel trófico es de 4.1, su alimentación consta principalmente del pez fraile oro (*Porichthys margaritatus*), y secundariamente de la anchoa (*Engraulis mordax*) y calamar (*Loliolopsis diomedea*) (Blanco-Parra et al. 2011). Por su parte en Baja California Sur el nivel trófico es de 3.8, con una alimentación dominada de crustáceos, frecuentemente langostilla (*Pleuroncodes planipes*) seguido de camarones peneidos (Vázquez-Moreno, 2015).

Reproducción

Los peces cartilaginosos presentan fertilización interna, los individuos masculinos poseen una prolongación en la zona posterior de la base de las aletas pélvicas que funcionan como gonopterigios y son llamados claspers (Wourms y Demski, 1993; Carrier et al. 2012). En el Golfo de California se reportó la primera posible malformación congénita de un individuo de la *Zapteryx exasperata* con un solo cláster (Burgos-Vázquez et al. 2019).

Los elasmobranquios presentan diversas formas de reproducción, ovíparidad, viviparidad y partenogénesis, los casos de elasmobranquios con partenogénesis son de organismos en cautiverio y resulta poco común (Wourms y Demski, 1993; Harmon et al. 2015; Dudgeon et al. 2017). La nutrición de los embriones puede ser lecitotrófica (ovíparidad con cápsulas de huevos y viviparidad donde los individuos se alimentan del saco vitelino) o matrotrofica (canibalismo entre los embriones y de huevos no fertilizados, placentrotofia, histrotofia mucoide o lipídica), de las anteriores mencionadas la forma de reproducción y nutrición de embriones dentro de las rayas más frecuente presentada es la viviparidad lecitotrófica (Wourms y Demski, 1993; Blanco-Parra et al. 2009; Carrier et al. 2012). La *Zapteryx exasperata* es una especie vivípara lecitotrófica, es decir, que el desarrollo embrionario tiene lugar en el útero, y su ciclo reproductivo se encuentra influenciado por cambios ambientales (Sincrónico) (Wourms y Demski, 1993; Blanco-Parra et al. 2009; Waltrick et al. 2012).

El período de gestación identificado para la *Zapteryx exasperata* en el GC es de aproximadamente cinco meses, de febrero a junio, mientras que la cópula y nacimientos se dan en verano, lo cual sugeriría la existencia de una diapausa de 6 meses, es decir, que

entre los meses de agosto y febrero existe una pausa en el desarrollo de los óvulos fertilizados (Blanco-Parra et al. 2009). La diapausa se ha identificado en 17 especies de elasmobranquios, de las cuales en solo para dos especies se ha podido confirmar su presencia mediante técnicas histológicas y microscopía electrónica de barrido; al resto se le ha podido considerar con la presencia de diapausa ya que se ha encontrado una presencia de óvulos fertilizados durante largos periodos de tiempo (Waltrick et al. 2012; Torres-Huerta et al. 2019).

Dentro de la familia Trygonorrhinidae se han identificado tres especies con posible presencia de diapausa: *Trygonorrhina dumerilii*, *Zapteryx xyster* y *Z. exasperata* (Blanco-Parra et al. 2009; Waltrick et al. 2012; Torres-Huerta et al. 2019). La última especie mencionada, la *Zapteryx exasperata*, solo ha presentado este tipo de desarrollo discontinuo en la población del Golfo de California mas no en la zona de Baja California Sur (Blanco-Parra et al. 2009; Cervantes-Gutiérrez, 2017). Los estudios indican que dichas poblaciones presentan un desarrollo diferente, asincrónico en Baja California Sur y sincrónico en el Golfo de California, en donde el período de gestación en BCS es de 8 meses (marzo a noviembre) y debido a su tipo de desarrollo (asincrónico), podría ser que no presente una temporada reproductiva definida (Blanco-Parra et al. 2009; Cervantes-Gutiérrez, 2017).

La talla media de madurez encontrada por Blanco-Parra y colaboradores (2009) en Sonora fue de 69 cm LT en hembras y 64 cm LT en machos, mientras que en Baja California Sur las hembras mostraron una talla media de madurez de 70.05 cm LT y los machos de 67.42 cm LT, la edad de madurez solo se ha establecido para la población de Baja California Sur siendo ocho años para las hembras y siete años para los machos (Cervantes-Gutiérrez, 2017).

Pesquería

La pesca ha provocado presión sobre los recursos acuáticos incluyendo a los elasmobranquios, por lo que se ha mencionado que se encuentran dentro de una de las más grandes reducciones históricas de sus poblaciones globalmente (Bizzarro et al. 2009; Cervantes-Gutiérrez, 2017). En el Noroeste de México, la pesca artesanal es una de las prácticas con mayor impacto económico y social, ya que proporciona tanto alimento como trabajo en las zonas más pobres de México (Ramírez-Amaro y Galván-Magaña, 2019). Uno

de los platillos altamente consumido y popular en las costas de Sonora es la caguamanta, cuyo componente principal es raya acompañada de camarón (Figura 4). Por lo general los artes de pesca utilizados por los pescadores para las capturas de los tiburones y rayas son las líneas de mano, palangre de fondo, redes de enmalle a deriva o de fondo (Bizarro et al. 2009). Los géneros desembarcados de forma frecuente en esta zona son: *Galeorhinus*, *Mustelus*, *Squantina*, *Myliobatis*, *Pseudobatos* y *Zapteryx* (Ramírez-Amaro y Galván-Magaña, 2019).

Las capturas realizadas en el Golfo de California por pescadores artesanales están dominadas por rayas, que representan el 65% de las capturas en los desembarcos de Sonora. La composición es de aproximadamente 20 especies de las cuales *Zapteryx exasperata* es una de las más importantes comercialmente en el Noroeste de México (Blanco-Parra et al. 2009; Bizarro et al. 2009). Las especies capturadas varían por estaciones, zona de pesca y arte de pesca, las principales familias capturadas son: Rhinobatidae, Trygonorhinidae, Urotrygonidae y Mobulidae, de las cuales las dos primeras son las más abundantes con el 52% de los individuos en las capturas (Blanco-Parra et al. 2009).

Zapteryx exasperata es conocida por los pescadores como raya guitarra, guitarra manchada, guitarra bandeada, guitarra pinta, diablito manchado, huesuda, bandolón o tololoche. Sus capturas son realizadas de forma multiespecífica. Se utiliza una red de enmalle de nylon con un calibre que va de 0.4 a 0.55 milímetros, su longitud puede ir de 200 a 2400 metros, mientras que la luz de malla 9 a 33 centímetros (Blanco-Parra et al. 2009). El tipo de embarcación utilizada para las capturas es menor o panga, la distancia entre la proa y la popa puede ir de 6 a 9 m, las profundidades en las que se coloca el arte de pesca dependen de la temporada del año en la que captura (Blanco-Parra et al. 2009). Por ejemplo, en la primavera va de 9 a 22 m de profundidad y en invierno de 54 a 92 m, las redes suelen dejarse de forma usual 48 horas en las temporadas frías y 24 cuando es verano (Blanco-Parra et al. 2009).

En el caso de Baja California Sur, la pesquería que no está dirigida y se compone de diferentes especies de rayas y tiburones (Cervantes-Gutiérrez, 2017). El arte de pesca que se utiliza es la red de enmalle, al igual que en el Golfo de California, el resto de las

características como calibre, luz de malla, longitud, embarcación, horas en las que se dejan los artes de pescas en el fondo, etc., son iguales a los descritos por Blanco-Parra et al. (2009).

Estimación de la edad y crecimiento

La información de la edad mediante características anatómicas es de suma importancia para las pesquerías, si este parámetro se estima de una forma inadecuada puede llevar un recurso a la sobreexplotación, por lo que se le considera un indicador de la salud del stock (Goldman 2004; Matta et al. 2017). La edad se refiere a una descripción cuantitativa que el organismo alcanza en su tiempo de vida, mientras que el crecimiento es el cambio que tiene el cuerpo del individuo durante dos periodos de tiempo (Goldman 2004). La edad y el crecimiento son importantes para evaluar la productividad, reclutamiento, variabilidad de presas, longevidad, dinámica poblacional o demográfico, por lo que se les clasifica como una variable biológica influyente (Goldman 2004; Matta et al. 2017).

La edad se determina con base en el supuesto de la existencia de zonas visibles de crecimiento en estructuras duras que se depositan anualmente (Matta et al. 2017). Los vertebrados poseen estructuras rígidas como vértebras, espinas u otolitos que se pueden utilizar para esta estimación (Matta et al. 2017). Por su parte, los elasmobranchios carecen de huesos y se componen de cartílago calcificado y para obtener la estimación de la edad se pueden utilizar vértebras, espinas o arcos neurales (Goldman 2004).

El método más utilizado para esta estimación en los peces cartilaginosos es la identificación de bandas anuales (opaca y translúcida) en las vértebras, de las cuales la banda opaca se le ha relacionado con un crecimiento rápido formada en los meses de primavera y verano, mientras que la translúcida a un crecimiento lento con formación en los meses de otoño e invierno. Sin embargo, la precisión de los métodos debe validarse mediante métodos independientes, ya que las zonas de crecimiento pueden no formarse de forma continua a lo largo de la vida del pez o pueden no estar relacionadas con la periodicidad estacional (Goldman 2004; Natanson et al. 2018). Además, algunas especies por lo general de profundidad tienen una calcificación pobre que no funciona como indicador de crecimiento o puede haber otras que no posean espinas dorsales (Goldman 2004).

La vértebra se extrae de la región cervical, torácica o en la parte posterior de las branquias. La zona de extracción depende de la especie, el tejido remanente es removido, hervido o blanqueado para limpiar la vértebra, se eliminan los arcos neurales y se deja secar para seccionar o incrustar (Campana, 2014). Al seccionar las vértebras se revelan las bandas de crecimiento, es importante localizar la zona central donde se localiza el centrum, ya que dependiendo del tamaño de la vértebra el método a utilizar para observar las bandas de crecimiento será diferente (Campana, 2014; Matta et al. 2017).

Para seccionar o cortar las vértebras se utiliza una sierra de baja velocidad con hojas de diamante, los cortes para observar las bandas pueden ser longitudinales (sagitales) o transversales (Fig. 4) (Campana, 2014; Matta et al. 2017). En vértebras con un diámetro central de más de un 1 cm se pueden seccionar sin necesidad de ser incrustadas, pero las más pequeñas deberán incrustarse en un epoxy rígido (Campana, 2014).

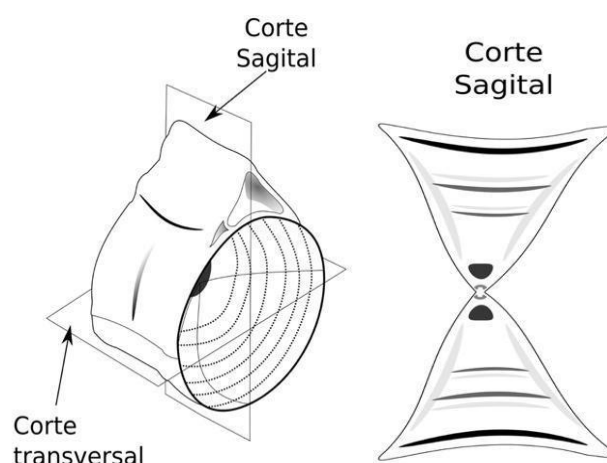


Fig. 4. Diagrama de los planos en que se puede cortar una vértebra basado en el centrum. Elaborado por: Niño-Torres Carlos Alberto, 2021.

Validación de la edad

Estimar la edad, crecimiento y longevidad de los elasmobranquios con bandas opacas formadas en las vértebras suele ser un indicador preciso para la mayoría de las especies (Goldman, 2004), sin embargo, en algunas las vértebras o espinas no son de utilidad para esta estimación por lo que se utilizan espinas caudales o arcos neurales (Cailliet, 2015).

La validación determina la frecuencia en que se forman las bandas de crecimiento, y los cortes de las vértebras tienen que permitir que múltiples personas puedan leer las bandas de crecimiento, es decir, que la información de la formación de los anillos formados anualmente puedan ser corroborados y reproducibles para obtener la edad absoluta del individuo (Campana 2001; Goldman, 2004; Cailliet, 2015), mientras que la verificación se refiere a la confirmación de la edad mediante la comparación con otros métodos (Goldman, 2004).

Para validar la interpretación de la edad existen diversos métodos y se clasifican según lo que se quiera validar ya sea la edad, periodicidad del incremento del crecimiento o un conjunto de estimaciones de edad existente (Campana, 2001). Algunos de los métodos que se pueden utilizar son: bomba de radiocarbono, marcaje-recaptura con la aplicación de químicos (ej. Oxitetraciclina) o crianza en cautiverio (Campana 2001; Goldman, 2004; Cailliet, 2015).

Modelos de crecimiento

Los organismos crecen con un patrón donde se pueden identificar puntos de inflexión, edad y talla, las variaciones de crecimiento se determinan por el estado metabólico, el cual depende de dos procesos opuestos el anabolismo y catabolismo (Guzmán-Castellanos et al. 2014). Dependiendo de los procesos mencionados se puede describir el crecimiento con modelos a partir de las relaciones empíricas o con algoritmos matemáticos que incorporan bases teóricas (Guzmán-Castellanos et al. 2014).

Para tener un estudio sólido sobre el crecimiento de los individuos que pueda ser biológicamente explicable es necesario contar muestras de todos los tamaños y ambos sexos de cada mes del año, ya que con esto se puede evitar tener un incremento falso, sin embargo, se pueden recalcular datos para llenar la falta de estos mediante ajustes a los modelos (Goldman, 2004; Guzmán-Castellanos et al. 2014). Dadas estas características se han desarrollado por lo menos tres grupos de modelo de crecimiento entre los cuales se encuentran: 1) modelos asintóticos, 2) modelos no asintóticos y 3) modelos generales de crecimiento (Guzmán-Castellanos et al. 2014).

Entre los modelos utilizados para describir a los elasmobranchios los que se emplean de forma más común son los modelos determinísticos (Matta et al., 2017) como: el de von Bertalanffy (von Bertalanffy, 1938), Gompertz (Gompertz, 1825) y Logístico (Ricker, 1979), mientras que entre los menos común podemos encontrar: el de Richards (Richards 1959), Schnute (Schnute, 1981) o el propuesto por Minte-Vera et al. (2016) que incorpora el costo de reproducción. Estos modelos matemáticos determinísticos consideran que las variables son continuas, es decir, que cada edad presenta una distribución normal de longitud, los parámetros son fijos en cada curva de crecimiento e ignoran los efectos estocásticos demográficos (Gustafsson y Sternad, 2013; Tovar-Ávila et al. 2014).

Existen también enfoques contemporáneos para modelar el crecimiento, es decir, el enfoque e inferencia multimodal, son métodos que ajustan los datos de tamaño por edad a múltiples modelos (Smart et al. 2016). Para asignar el modelo que mejor describe los datos de crecimiento se tiene que realizar con base en criterios matemáticos como: bondad de ajuste, error cuadrático medio o el criterio de Akaike, siempre priorizando que los resultados tengan sentido biológico (Matta et al. 2017).

Dentro de las aproximaciones que presentan los modelos se ha documentado que los parámetros como L_{∞} difiere mucho entre los modelos, así como también que L_0 es posiblemente contrastante para los elasmobranchios, ya que presentan diversos tamaños al nacer (Smart et al. 2016). Dichos parámetros pueden variar también debido a que los organismos pueden presentar individualidad de crecimiento originado por diversas causas como errores humanos al momento de medición o variabilidad biológica, razones que cuestionan la confiabilidad de los modelos (Tovar-Ávila et al. 2009; 2014). Para poder integrar la heterogeneidad presentada dentro de estos parámetros y tener una mejor precisión para la interpretación de los datos se han desarrollado modelos que integran esta variabilidad los cuales son los modelos estocásticos (Tovar-Ávila et al. 2009; 2014). Un ejemplo es la variación estocástica del modelo de crecimiento de von Bertalanffy que incorpora la variabilidad de la longitud de los individuos a cierta edad en la constante k , es decir, considera dentro de este parámetro una distribución aleatoria (Tovar-Ávila et al. 2009).

ANTECEDENTES

En la familia Trygonorrhinidae existen 8 especies descritas, *Z. brevirostris*, *Z. xyster* y *Z. exasperata*, *Trygonorrhina fasciata*, *T. dumerilii*, *Aptychotrema rostrata*, *A. vicentiana*, *A. timorensis*, de las cuales solo cuatro presentan estudios de edad y crecimiento (Tabla 1; Cervantes-Gutiérrez et al. 2017; Caltabellota et al. 2019; Reis y Figueira, 2020; Campbell et al. 2021).

Tabla 1. Parámetros de crecimiento obtenidos con el modelo de von Bertalanffy en cuatro especies de la familia Trygonorrhinidae. L_{∞} , longitud teórica máxima; k , coeficiente de crecimiento; t_0 , edad teórica donde la longitud era cero.

Especie	Hembras			Machos			Referencia
	k (años ⁻¹)	L_{∞} (cm)	t_0 (años)	k (años ⁻¹)	L_{∞} (cm)	t_0 (años)	
<i>Zapteryx brevirostris</i>	0.22	62.44	-1.50	0.25	60.15	-1.42	Caltabellota et al. (2019)
<i>Zapteryx exasperata</i>	0.14	100.71	-0.39	0.17	89.78	-0.65	Cervantes-Gutiérrez et al. (2017)

Especie	Sexos combinados			Referencia
	L_{∞} (cm)	k (años ⁻¹)	t_0 (años)	
<i>Trygonorrhina fasciata</i>	109.61	0.20	0.26	Reis y Figueira (2020)

Especie	Hembras			Machos			Referencia
	k (años ⁻¹)	L_{∞} (cm)	L_0 (cm)	k (años ⁻¹)	L_{∞} (cm)	L_0 (cm)	
<i>Aptychotrema rostrata</i>	0.05	114.1	19	0.10	81.3	18.7	Campbell et al. (2021)

Zapteryx exasperata es capturada de forma incidental en pesquerías comerciales y es una de las especies más abundantes en la pesquería artesanal (Blanco-Parra et al. 2009). Las características biológicas básicas de *Zapteryx exasperata* han sido poco estudiadas, el primer aspecto que se delimitó fue la talla máxima, 91 cm de longitud total (LT), por

Eschmeyer et al. 1983 (Cervantes-Gutiérrez, 2017). En el caso de Bahía Tortugas, Baja California Sur Meza-Castillo (2014) determinó que en esta área los individuos podrían tener tallas máximas de 124 cm de LT.

La biología reproductiva fue estudiada por Villavicencio-Garayzar (1995) en la costa del Pacífico de Baja California Sur, el cual encontró que la talla de madurez era de 69 cm LT en machos y de 77 cm LT en hembras. En la costa central de Sonora Blanco-Parra et al (2009) observaron que para esta zona la madurez en machos es de 63 cm LT, mientras que para las hembras de 67 cm LT. Para esta misma zona se encontró que la alimentación de la *Zapteryx exasperata* consiste principalmente de crustáceos como *Callinectes bellicosus* cuando es juvenil y en su etapa adulta de peces (*P. margaritatus* y *E. mordax*) (Blanco-Parra et al. 2012). A su vez, por medio de isótopos estables se estableció que el nivel trófico es de 4.1, es decir, es considerado un depredador tope especialista importante para la estructuración de la comunidad bentónica de esta área (Blanco-Parra et al. 2012). Para la zona de Bahía Tortugas, Baja California Sur se realizó un estudio de ecología trófica que presentó un comportamiento de alimentación similar, la diferencia fueron las especies, entre los crustáceos se encontraba *Pleuroncodes planipes* y en peces *Synodus spp*, también para esta área es considerado un depredador tope (Vázquez-Moreno, 2018).

También se han estudiado aspectos de la biología pesquera de esta especie, específicamente en la costa central de Sonora, México por Blanco-Parra et al (2009), los cuales observaron que se captura como un recurso secundario en la pesquería comercial y que la pesquería artesanal es multiespecífica. Las capturas de la *Zapteryx exasperata*, son abundantes durante la primavera, mientras que en verano descenden, por lo que es un recurso estacional, además estimaron que la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) en primavera fue de 3.8 individuos por viaje de pesca (Blanco-Parra et al. 2009).

En el año 2013 Castillo-Páez y colaboradores realizaron una comparación entre las poblaciones de la *Zapteryx exasperata* que se encuentran en la costa de Baja California en el Pacífico y en el Golfo de California para determinar si las diferencias morfológicas y reproductivas que han sido reportadas se encontraban relacionadas a una diferenciación genética alopátrica o solamente a una plasticidad fenotípica y al realizar el análisis se identificó que las diferencias que presentan las poblaciones son las manifestaciones fenotípicas de una diferenciación genética. El genoma mitocondrial de la *Z. exasperata* fue

estudiado por Castillo-Páez et al. (2014) determinando que la estructura de los genes es similar a lo que se ha encontrado con otros batoideos y la longitud del genoma es de 17, 310 pares de bases.

Dentro del género *Zapteryx* existen hasta el momento tres especies descritas, *Z. brevirostris*, *Z. xyster* y *Z. exasperata*, la primera tiene una distribución restringida a las costas Atlánticas del suroeste, mientras que las dos restantes tienen una distribución parecida, la primera ocurre de Mazatlán a Perú y la segunda del sur de California a Perú, incluyendo el Golfo de California (Castillo-Páez et al. 2017). Dicha distribución generó una inquietud en cuanto a la delimitación de estas especies por lo que Castillo-Páez y colaboradores en 2017 realizaron un estudio para resolver este problema con un análisis molecular filogenético, en el cual encontraron una falta de distinción genética entre *Z. exasperata* y *Z. xyster* para la región del Pacífico Mexicano, es decir, presentan una superposición geográfica; así como la presencia de un linaje divergente de estas especies en la zona de Oaxaca.

Cervantes-Gutiérrez et al. (2017) realizaron un estudio de edad y crecimiento para la población de Bahía Tortugas y observó que las bandas de crecimiento para la *Zapteryx exasperata* presentaron una periodicidad anual, de los cuales las hembras son más longevas con 22.6 años, mientras que los machos 18.6 años, también identificaron que las hembras maduran a los 8 años y los machos a los 7 años.

JUSTIFICACIÓN

La guitarra bandeada (*Z. exasperata*) es una de las más abundantes en las capturas en Sonora y la tercera más importante en Baja California Sur, donde tanto la pesca comercial como artesanal fungen dentro de las cifras (Blanco Parra et al. 2009; Cervantes-Gutiérrez et al. 2017).

La información para evaluar el estado de la especie no es suficiente y se le ha colocado en la lista roja de la IUCN en la categoría de datos insuficientes (Blanco-Parra et al. 2009; Bizzarro y Kyne, 2015). A pesar de que desde 1983 inició el interés por estudiar a *Zapteryx exasperata* con un número creciente de estudios sobre su historia de vida tales como edad y crecimiento para la costa noroccidental de Baja California Sur, biología

reproductiva, pesquerías, nivel trófico, las diferencias morfológicas y genéticas que han sido reportadas entre las poblaciones (Villavicencio-Garayzar, 1995; Castillo-Páez et al. 2013; Cervantes-Gutiérrez et al. 2017) evidencia que se debe continuar con el análisis de sus poblaciones para desarrollar un manejo adecuado del recurso. Este estudio se aplican modelos con distintos enfoques que proporcionan información básica sobre la edad y crecimiento de *Z. exasperata* en la costa central de Sonora, México, ya que esta información se considera indispensable para caracterizar la dinámica poblacional y para el desarrollo de las pesquerías (Cervantes-Gutiérrez et al. 2017).

HIPÓTESIS

Se ha demostrado que las poblaciones de *Zapteryx exasperata* de las zonas del Pacífico y Golfo de California difieren en tamaño, ciclo reproductivo e incluso presentan un posible aislamiento reproductivo, (Villavicencio-Garayzar, 1995; Blanco-Parra et al. 2009; Castillo-Páez et al. 2013) por lo que se espera que:

- 1) Los parámetros de edad y crecimiento de la costa central de Sonora sean diferentes a los estipulados por Cervantes-Gutiérrez et al. (2017) para la población que se ubica en el Pacífico (Bahía Tortugas, Baja California, Sur)
- 2) Los datos de edad se ajusten mejor al modelo von Bertalanffy de uno y dos parámetros
- 3) El valor del L asintótico (L^∞) sea más pequeño para el Golfo de California que lo reportado para la población el Pacífico
- 4) Las hembras y los machos de *Zapteryx exasperata* de la costa central de Sonora, México presenten diferencias en el crecimiento

OBJETIVOS

Objetivo general

Estimar la edad y parámetros de crecimiento de la población de *Zapteryx exasperata* en la costa central de Sonora, México.

Objetivos específicos

- Estimar la edad de los individuos de *Zapteryx exasperata* extraídos de la costa central de Sonora, México a partir del conteo de bandas de crecimiento en sus vértebras.
- Identificar la periodicidad de formación de las bandas de crecimiento en las vértebras de *Zapteryx exasperata* extraídos de la costa central de Sonora, México.
- Determinar cuál modelo explica mejor el crecimiento de la población de *Zapteryx exasperata* en la región central de Sonora.
- Comparar los parámetros de crecimiento de hembras y machos de *Zapteryx exasperata* de la costa central de Sonora, México.

ÁREA DE ESTUDIO

El GC es una extensión del Océano Pacífico formada por una zona de fallas, por lo que presenta una batimetría compleja (Páez-Osuna et al. 2017). Tiene una longitud de 1400 km que incluye 40 lagunas costeras y 922 islas, al norte es somero mayoritariamente plataforma continental, mientras el resto presenta una cadena de cuencas que incrementan su profundidad conforme se avanza hacia la zona sur (Páez-Osuna et al. 2017).

Dentro del GC ocurren procesos físicos que afectan la dinámica y alteran las características del agua, inducidos principalmente por efecto de marea, viento, y gradientes de densidad, es decir que en todas las regiones la circulación y estructura hidrográfica obedece a cambios estacionales (Lavín et al. 1997). Esta zona presenta relevantes características oceanográficas como una capa de baja concentración de oxígeno disuelto desde zonas someras hasta profundidades intermedias, la cual actúa como una barrera para el movimiento de la biota; actividad hidrotermal en la cuenca de Guaymas; mecanismo natural de fertilización producido por el intercambio vertical de agua entre el Océano Pacífico y el GC; un fenómeno de surgencia que produce una alta biomasa de fitoplancton (Páez-Osuna et al. 2017).

El GC tiene una circulación anticiclónica en invierno con flujo de entrada por la parte occidental, es decir por las costas de la Península de Baja California, y ciclónica en verano con flujo de entrada por la parte continental u oriental (Marinone y Lavín, 1997). Los vientos son de naturaleza monzónica con vientos del noroeste durante el invierno y del sureste en

verano, los cuales influyen en la generación de surgencias costeras en la costa continental durante el invierno y en la península de Baja California durante verano (Badán-Dangon, 1997; Álvarez-Borrego, 2010). Por su parte, las aguas enriquecidas de las surgencias quedan atrapadas en el centro del GC a diferencia de los sistemas de surgencias frente al océano abierto, donde las aguas de surgencia son transportadas lejos de la costa (Lavín et al. 1995). Además, se encuentra intervenido por varios sistemas de corrientes, la Corriente Costanera de Costa Rica (CCCR), Corriente de California (CC), Contracorriente de California (CCC), Corriente Norecuatorial (CN) (Páez-Osuna et al. 2017).

La distribución de salinidad y temperatura están determinados por flujos estacionales de calor y humedad, con presencia de fuertes mezclas convectivas y por marea (Soto-Mardones et al. 1999). Esta zona se encuentra dentro de una franja subtropical y presenta un clima árido con oscilaciones térmicas diurnas entre 7° y 14°C de temperatura, temperatura media anual de 23°C, mínima promedio de 9°C y temperatura máxima de 37.5°C (López-Martínez et al. 2007; Blanco-Parra, 2009). El GC presenta tres subdivisiones faunísticas: la zona norte del golfo que abarca de Bahía de San Francisquito hasta la parte sur de la Isla del tiburón; la zona central que abarca desde Bahía de Kino hasta Guaymas en la parte continental y en la peninsular desde Bahía de San Francisquito hasta La Paz, Baja California Sur; y la zona sur del golfo desde la parte sur de Guaymas hasta Mazatlán y de La Paz a Cabo San Lucas (González-Acosta et al. 2021). De las cuales la costa central de Sonora abarca la subdivisión norte y central del GC (Fig. 5).

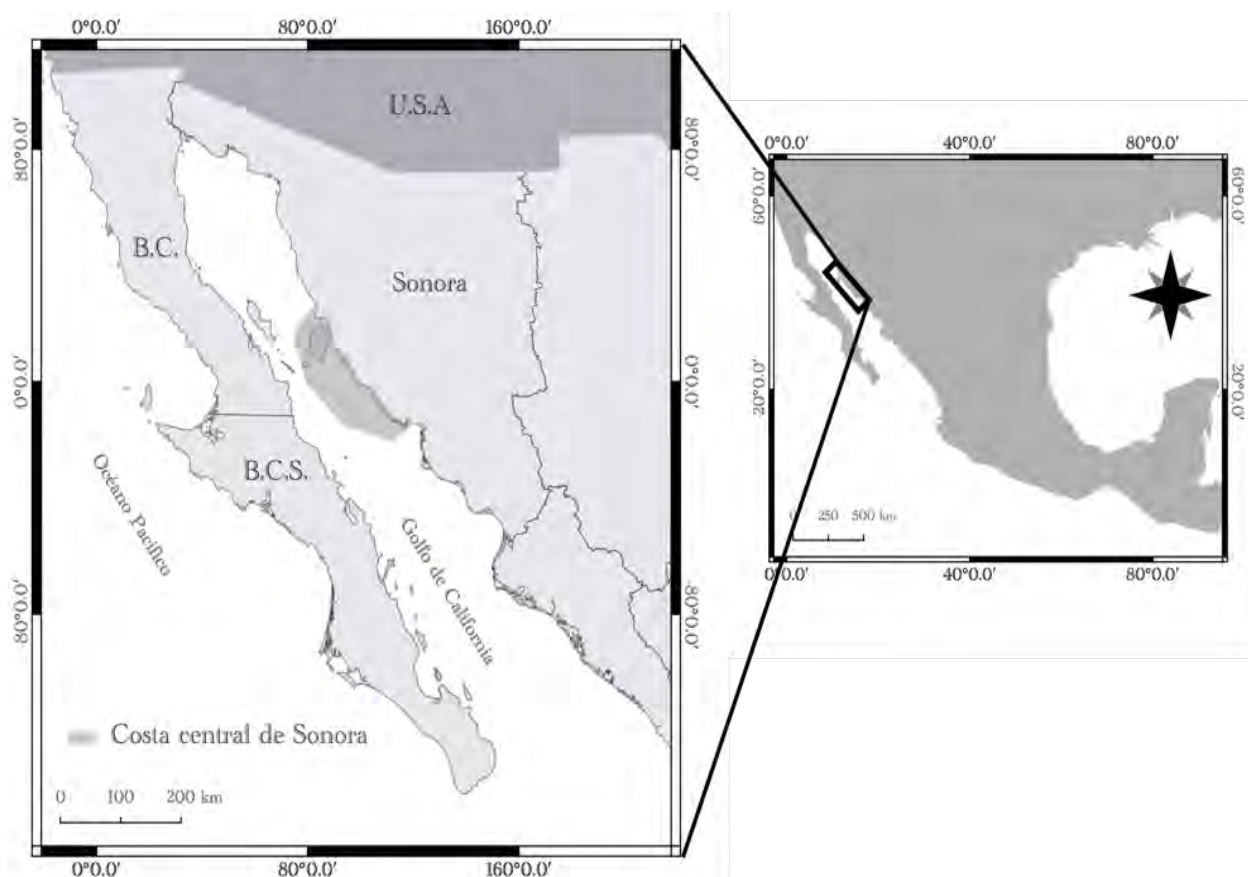


Fig. 5. Representación del área de estudio en el Golfo de California. La zona con un polígono color gris corresponde a la costa central de Sonora.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención y procesamiento de muestras

Las muestras se recolectaron de individuos capturados en la pesca artesanal en un período de un año (2005-2006) con ayuda de pescadores de la zona en la costa central de Sonora, en los campos pesqueros de: Bahía de Kino ($28^{\circ} 49' N$, $111^{\circ} 56' O$), El Sahuimaro ($28^{\circ} 31' 60'' N$, $111^{\circ} 43' 60'' O$), Playa del Sol ($27^{\circ} 53' N$, $110^{\circ} 41' O$), Estero el Soldado ($27^{\circ} 57' 03'' N$, $110^{\circ} 58' 38'' O$) y El Choyudo ($28^{\circ} 9' 10'' N$, $111^{\circ} 27' 10'' O$) (Fig. 6).

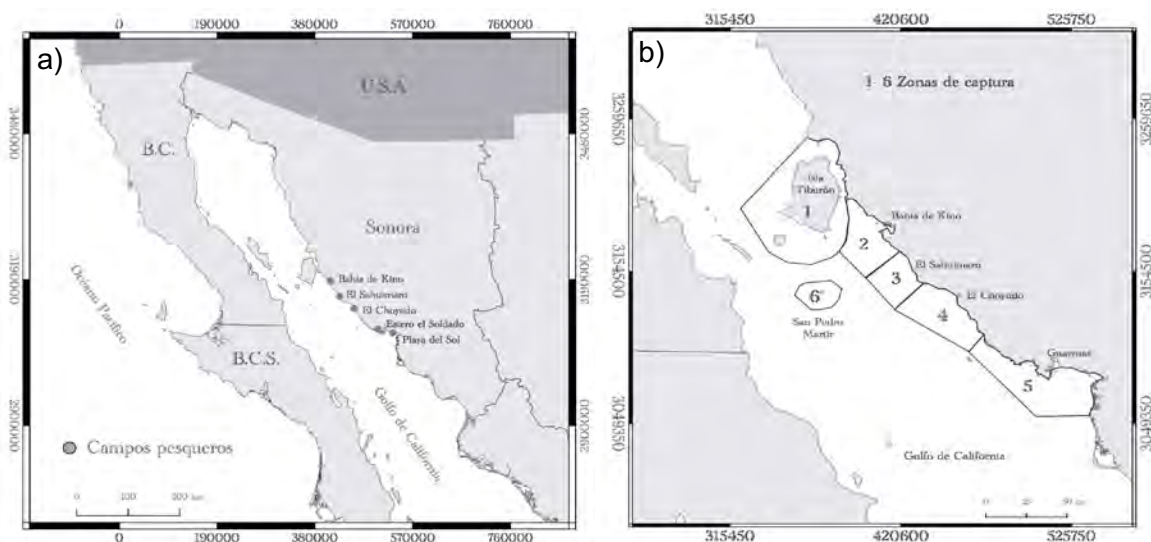


Fig. 6. Representación de: a) campos pesqueros (puntos) y b) zonas de captura en la costa central de Sonora en el Golfo de California; 1. Isla Tiburón, 2. Bahía de Kino, 3. El Sahuimaro, 4. El Choyudo, 5. Guaymas, 6. San Pedro Mártir. Modificado de: Blanco-Parra et al., 2009.

Los individuos se capturaron en embarcaciones menores con chinchorro. Este es un arte de pesca que consiste en una red de nylon con una longitud entre los 200 y 2400 m, mientras que la altura varía según el tamaño de la luz de malla del paño. El calibre oscila entre 0.4 - 0.55 mm y la luz de malla entre 9 y 33 cm. De cada individuo se registró el peso entero, longitud total (LT), longitud del disco (LD) y ancho del disco (AD) de cada uno de los individuos (Fig. 7). Para determinar si los individuos eran machos o hembras se tomó en cuenta la presencia o ausencia de gonopterigios (cláspers).

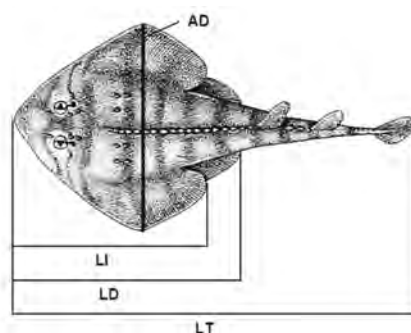


Fig. 7. Medidas morfométricas (longitud interdorsal (LI), longitud total (LT), longitud del disco (LD) y ancho del disco (AD)) de los individuos de *Zapteryx exasperata*. Tomado de: Blanco-Parra, 2009.

A cada uno de los individuos se le extrajo una sección de la columna vertebral de la zona precaudal, las cuales fueron rotuladas, transportadas al laboratorio y almacenadas a -20°C en un congelador para su uso posterior. Una vez en el laboratorio fueron descongeladas y se procedió a limpiar las secciones de vértebras extraídas removiendo el exceso de tejido y arcos neurales de cada una de las vértebras con ayuda de un bisturí. Se seleccionó la vértebra más grande de cada sección y se dejó secar para embeberlas en resina. Cada una de las vértebras se montó en un pedazo de madera con epoxi transparente para posteriormente realizar cortes longitudinales. Los cortes se realizaron con una cortadora Buehler de baja velocidad, modelo Isomet, con una cuchilla de borde de diamante con un grosor de 0.5 mm (Fig. 8). Una vez obtenido el corte fueron enjuagados con agua común y alcohol etílico al 70% para ser colocadas en una laminilla para su posterior observación.

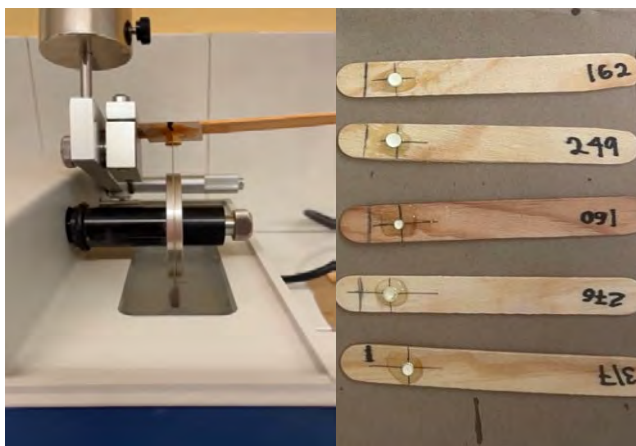


Fig. 8. Cortadora Buehler de baja velocidad, modelo Isomet, con una cuchilla de borde de diamante y ejemplo de cómo se montaron las vértebras en madera.

Se tomaron fotografías a 179 cortes longitudinales (sagitales) de vértebras de la *Zapteryx exasperata* bajo un microscopio estereoscópico. Para la toma de las fotografías se siguieron los criterios propuestos por Campana (2014) que consisten en: a) muestra siempre húmeda, en este caso se utilizó agua destilada, b) luz no muy alta del estereoscopio, c) utilizar el mismo aumento para tomar las fotografías, los aumentos utilizados fueron 12x, 20x y 30x, según el tamaño de la vértebra, además a cada una de las secciones se le tomó una fotografía con una escala de 1 mm. Las fotografías se tomaron con una cámara de 12 megapíxeles de iPhone 12, este se montó en una estructura que se adaptó para tomar las fotos desde el ocular (Fig. 9).



Fig. 9. Representación de cómo fueron tomadas las fotografías de las secciones de vértebras de *Zapteryx exasperata*.

Trabajo de gabinete

Lectura de vértebras

La edad se determinó en 172 individuos mediante cortes de vértebras; para lo que se contó cada anillo de crecimiento que se forma por una banda opaca y una translúcida. El conteo de las vértebras se realizó múltiples veces, tres veces por el lector principal y tres veces por tres lectores diferentes con las imágenes de las secciones digitalizadas, la identificación de las bandas fue con base en pares de bandas compuestas por una banda opaca y una translúcida, desconociendo talla y sexo de cada organismo. Las imágenes de las secciones fueron observadas y mejoradas con ayuda del programa GIMP-2.10. Sin embargo, de forma preliminar se realizaron conteos de todas las muestras en microscopio estereoscopio para ensayar las lecturas e identificar las bandas de crecimiento de la *Zapteryx exasperata* (fig. 10).

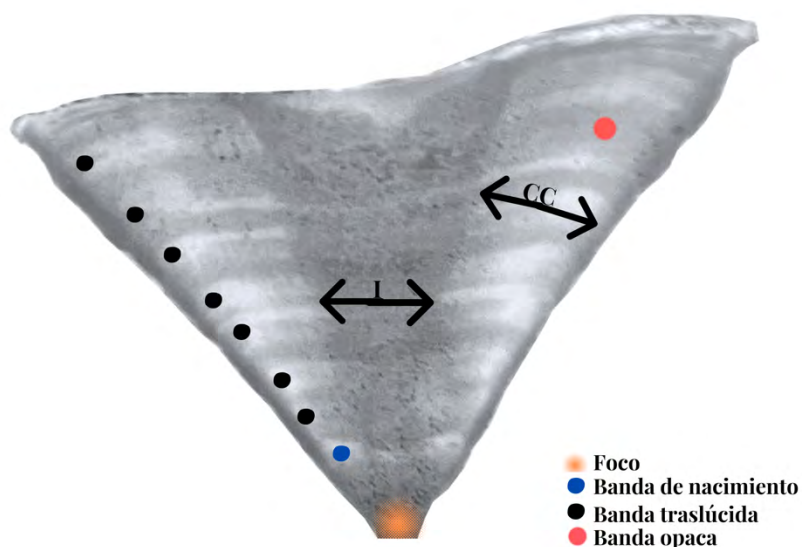


Fig. 10. Corte sagital de vértebra de *Zapteryx exasperata* de 7 años. Puntos negros: bandas (años), CC: *corpus calcareum*, I: *intermedialia*.

Una vez identificadas las bandas de crecimiento se utilizó el programa Image J para medir el radio vertebral, distancia del foco de la vértebra hasta la última banda de crecimiento completa y la distancia del foco de la vértebra hasta la penúltima banda de crecimiento.

Análisis de datos

Para describir la estructura de tallas se realizaron histogramas de frecuencias. Además, se determinó la existencia de diferencias significativas de las tallas entre sexos y el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad mediante la prueba de Kruskal-Wallis, Shapiro-Wilk, y como prueba de significancia U de Mann-Whitney.

Precisión en las lecturas de marcas de crecimiento

Una vez realizadas las lecturas de las bandas de crecimiento de los cortes longitudinales de las vértebras se estimó la precisión en las lecturas intra e inter-lectores mediante el porcentaje de error promedio (APE) (Beamish y Fournier 1981):

$$APE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|X_{ij} - X_j|}{X_j} \right] \times 100\%$$

N se refiere al número de muestras, **R** es el número de veces que se leyó la muestra, X_{ij} es la edad *i* para el organismo *j* y X_j es el promedio de las edades determinadas para el organismo *j*.

También se calculó el coeficiente de variación (CV) (Chang 1982):

$$CV = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^r (X_{ij} - X_j)^2}{r-1}}}{X_j} \right\} \times 100$$

N es el número total de individuos para los que se estimará la edad y el resto de las variables **r**, X_{ij} y X_j se refiere a lo mismo descrito anteriormente. Asimismo, una vez estimado el CV se realizó el índice de precisión (D) (Chang 1982):

$$D_j = \frac{CV_j}{\sqrt{R}}$$

Donde **CV** corresponde al coeficiente de variación y **R** al número de veces que se leyó la muestra.

Estimación de la edad

La edad se determinó mediante la identificación del número de bandas translúcidas formadas menos la banda translúcida formada al momento de nacer, es decir, la banda más cercana al foco de la vértebra conocida como la marca de nacimiento, más la proporción de años, la cual se refiere al número de días a partir de la fecha establecida arbitrariamente, para todos los organismos como fecha de nacimiento hasta la fecha de su captura mediante la siguiente ecuación:

$$Edad = B + \frac{[(M \times 30) + D]}{365}$$

De los cuales B es el número de bandas translúcidas, M es el número de meses completos y D es el número de días de los meses incompletos entre la fecha de nacimiento y la de captura (Tovar-Ávila et al. 2014).

La existencia de diferencias entre la edad de las hembras y machos, así como el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad fueron estimados mediante la prueba de Kruskal-Wallis, Shapiro-Wilk, y como prueba de significancia U de Mann-Whitney.

Validación de la periodicidad de formación de bandas

La estimación de la periodicidad de la formación de las bandas de crecimiento, es decir el tiempo en el que se formaron las bandas en las vértebras se realizó mediante la proporción del incremento marginal (I_{MR}).

Se calculó la I_{MR} multiplicando el ancho del margen por el ancho del par de bandas previo a la menos uno (Fig.11; Okamura et al. 2013). Para identificar la existencia de diferencias en el I_{MR} entre los meses, el cumplimiento de los supuestos de normalidad, y homocedasticidad, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis, test de normalidad de Shapiro-Wilk y test de Fligner-Killeen respectivamente.

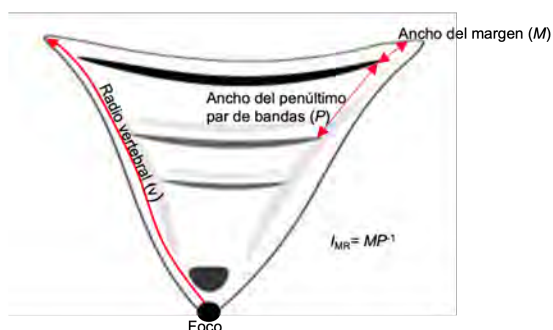


Fig. 11. Representación de un corte longitudinal de una vértebra con las medidas para obtener la proporción del incremento marginal (I_{MR}) según lo propuesto por Okamura y colaboradores (2013), M se refiere al ancho del margen = $V - R_n$; P al ancho del par de bandas previo al margen = $R_n - R_{n-1}$. V se refiere al radio vertebral; R_n al radio de la última banda completa y R_{n-1} al radio de la penúltima banda completa.

Para la proporción del incremento marginal (I_{MR}) se utilizó la prueba propuesta por Okamura y colaboradores (2013) para validar la periodicidad de la formación de las bandas de crecimiento durante los 12 meses del año. En este modelo se combina un modelo estadístico lineal (I_{MR}) con un modelo circular (meses) para comparar el ajuste de tres modelos: 1) modelo A, ajusta los datos a un ciclo de formación anual, 2) modelo B, ajustado a un ciclo bianual, 3) modelo N, sin ciclo. Esta prueba se realizó en el software libre Rstudio con un script diseñado por los autores. Para determinar el modelo que mejor se ajusta a los datos se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC).

Modelos de crecimiento

Para determinar el crecimiento individual se aplicaron cuatro modelos, el primero, el modelo de von Bertalanffy de tres parámetros (VBGM-3):

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-k(t-t_0)})$$

Donde L_t es la longitud total en la edad t años, L_∞ la longitud asintótica o la longitud máxima teórica, k el coeficiente de crecimiento, y t_0 la edad teórica a la longitud cero.

El segundo fue el modelo de von Bertalanffy de dos parámetros ((VBGM-3; k y L_∞):

$$L_t = L_\infty - (L_\infty - L_0)e^{-kt}$$

De los cuales a L_0 se le debe asignar un valor de la longitud total con relación a la talla de nacimiento que se encuentre, Meza-Castillo (2014) encontró que la talla máxima de embriones de *Zapteryx exasperata* fue de 19.5, sin embargo, para este estudio se utilizó lo encontrado por Blanco-Parra et al (2009) en donde la talla máxima de embriones fue de 18.7 cm; L^∞ , k y t_0 se refiere a lo mismo descrito anteriormente.

El tercer modelo de crecimiento individual fue el de Gompertz (Gompertz, 1825):

$$L_t = L^\infty (e^{-e^{-k(t-t_0)}})$$

El cuarto modelo de crecimiento individual fue el Logístico (Ricker, 1975):

$$L_t = L^\infty (1 + e^{-k(t-t_0)})^{-1}$$

De los cuales los parámetros para dicha fórmula ya se han descrito. Tanto el modelo de von Bertalanffy de dos parámetros y el modelo de Gompertz han sido utilizados comúnmente en tiburones (Guzman-Castellanos et al. 2014; Cervantes-Gutiérrez et al. 2017). Todos los parámetros de los modelos se estimaron por mínimos cuadrados en Excel versión 16.55 (Haddon M, 2011). Para determinar el modelo que presentó mejor ajuste se compararon con el criterio de información de Akaike (AIC) (Burnham y Anderson, 2002):

$$AIC = -2 \left(\ln \left(\frac{RSS}{n} \right) \right) + 2(k)$$

Donde n es el número de muestras y k el número de parámetros de cada modelo.

Se calculó la diferencia de Akaike (Δ_i) mediante la siguiente fórmula (Burnham y Anderson, 2002):

$$\Delta_i = AIC_i - AIC_{min}$$

Donde AIC_i refiere al valor de Akaike de cada modelo y AIC_{min} al valor de Akaike más pequeño de todos los modelos.

El peso de Akaike para cada uno de los modelos se calculó de la siguiente manera:

$$W_i = \frac{e^{-0.5 * \Delta_i}}{\sum_{k=1}^K e^{-0.5 * \Delta_k}}$$

Δ_i se refiere a la diferencia de AIC de cada modelo candidato y Δ_k es la suma de la diferencia de los valores de Akaike.

Una vez elegido el modelo que presente mejor ajuste se despejó la ecuación para determinar la edad de madurez utilizando la talla media de madurez propuesta por Blanco-Parra et al., (2009) para los organismos del GC.

RESULTADOS

Los organismos se capturaron en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio y diciembre, 90 hembras y 84 machos (n= 174). Los meses con mayor observación de individuos fue marzo (n= 45) y junio (n= 39) (Fig. 12). Es importante resaltar que en el mes de enero solo se obtuvo un individuo, una hembra de 46.5 cm LT. Además, no se obtuvieron muestras en los meses de julio a noviembre.

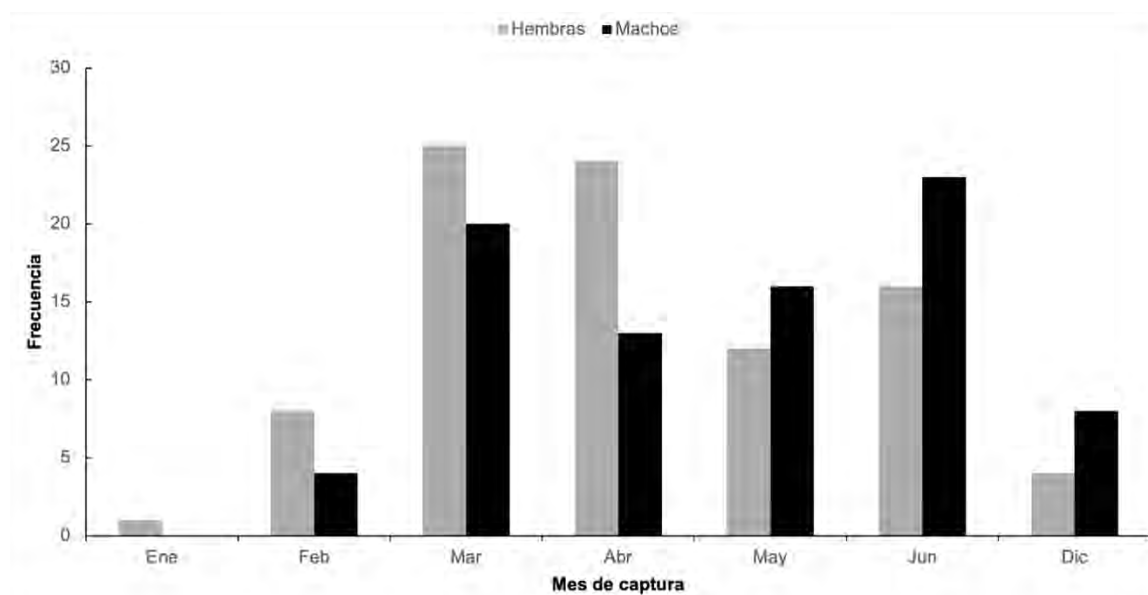


Fig. 12. Frecuencia de organismos machos y hembras (n= 174) de *Zapteryx exasperata* capturados con pesca artesanal en la costa central de Sonora, México.

El intervalo de longitud total de las hembras fue de 41.3 cm a 86.8 cm, las tallas con más individuos se encontraron (n= 32) en un intervalo entre 80 y 85 cm ($\bar{x} = 71.99 \pm 13.314$). En los meses de marzo y abril las hembras tuvieron una mayor LT (86.6 cm), mientras que el tamaño menor fue en mayo (41.3 cm LT) y marzo (42.1 cm LT). En el mes de junio se capturó una hembra preñada. Por su parte los machos presentaron un intervalo de LT de

71.9 a 75 cm ($\bar{x} = 62.76 \pm 10.01$), con un mayor número de individuos ($n = 30$) entre 70 y 75 cm (Fig. 12). Los tamaños menores se identificaron en los meses de marzo (41.9 cm LT) y abril (43 cm LT), y la mayor longitud total observada fue en el mes de mayo (75 cm). Las tallas promedio mayores observadas para las hembras fue en el mes de febrero con 74.4 cm LT y en los machos en el mes de junio con 68.90 cm LT (Fig. 13). Las tallas entre hembras y machos presentaron diferencias significativas ($W = 1851$, $p < 0.001$), mostrando que las hembras tienen mayor tamaño que los machos.

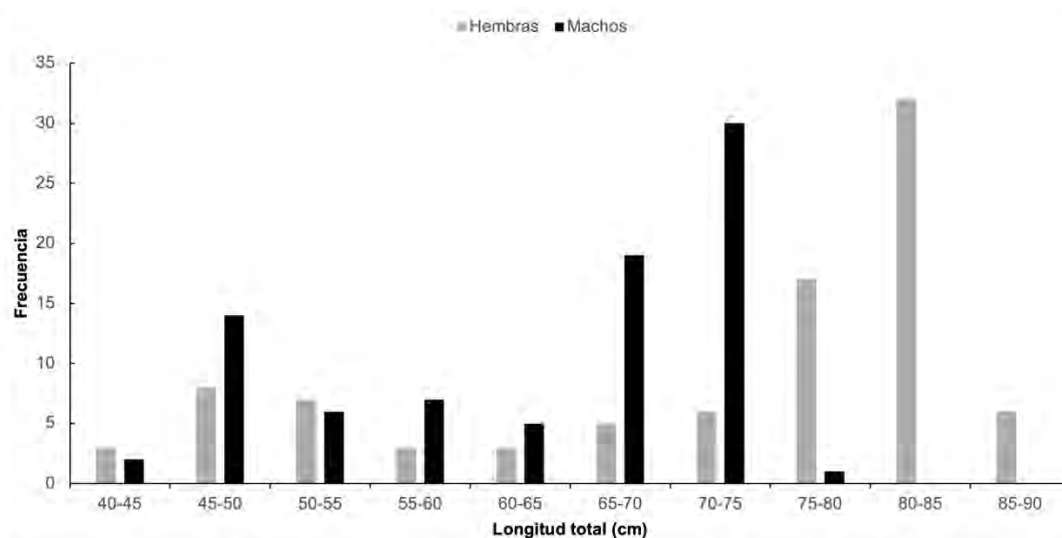


Fig. 13. Frecuencia de tallas de *Zapteryx exasperata* de hembras y machos capturados en pesca artesanal en la costa central de Sonora, México ($n = 174$).

Edad

Los conteos de las bandas de *Zapteryx exasperata* presentaron un índice porcentual de error promedio (APE) inter-lector de 2.36 % y coeficiente de variación (CV) de 8.27% con el lector 2a. El APE con el lector 2b fue de 2.34% y CV de 8.19%. El APE intra-lector fue de 2.37% y CV de 5.46% (Tabla 2).

Tabla 2. Valores del índice porcentual de error promedio (APE), coeficiente de variación (CV) y el índice de precisión (D).

	APE	CV	D
Inter-lector (Lector 1 y 2a)	2.36	8.27	4.77

Inter-lector (Lector 1 y 2b)	2.34	8.19	4.73
Intra-lector (Lectura 1 y 2)	2.37	5.46	3.15

Se obtuvieron muestras solo en siete meses del año y en las vértebras observadas los bordes traslúcidos mostraron un menor porcentaje comparado con los bordes opacos. Los bordes traslúcidos se observaron en los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio y diciembre. Por otro lado, los bordes opacos prevalecieron durante todos los meses muestreados, en los que presentaron un mayor porcentaje fue en marzo, abril y junio, descartando enero por el número de muestra (Fig. 14)

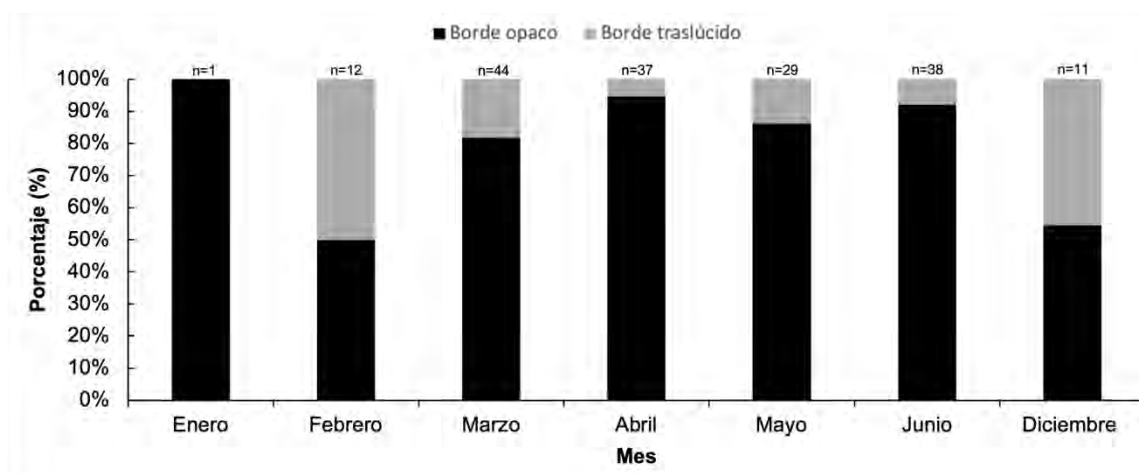


Fig. 14. Porcentaje de formación de bordes traslúcidos y opacos de *Zapteryx exasperata* en el Golfo de California durante los meses de muestreo (n=172).

La asociación entre el radio vertebral (RV) y la longitud total (LT) de *Z. exasperata*, mostró una relación positiva entre las dos variables (Fig. 15), evidenciando que las vértebras y la longitud total de los organismos crecen en la misma proporción ($r^2= 0.8582$).

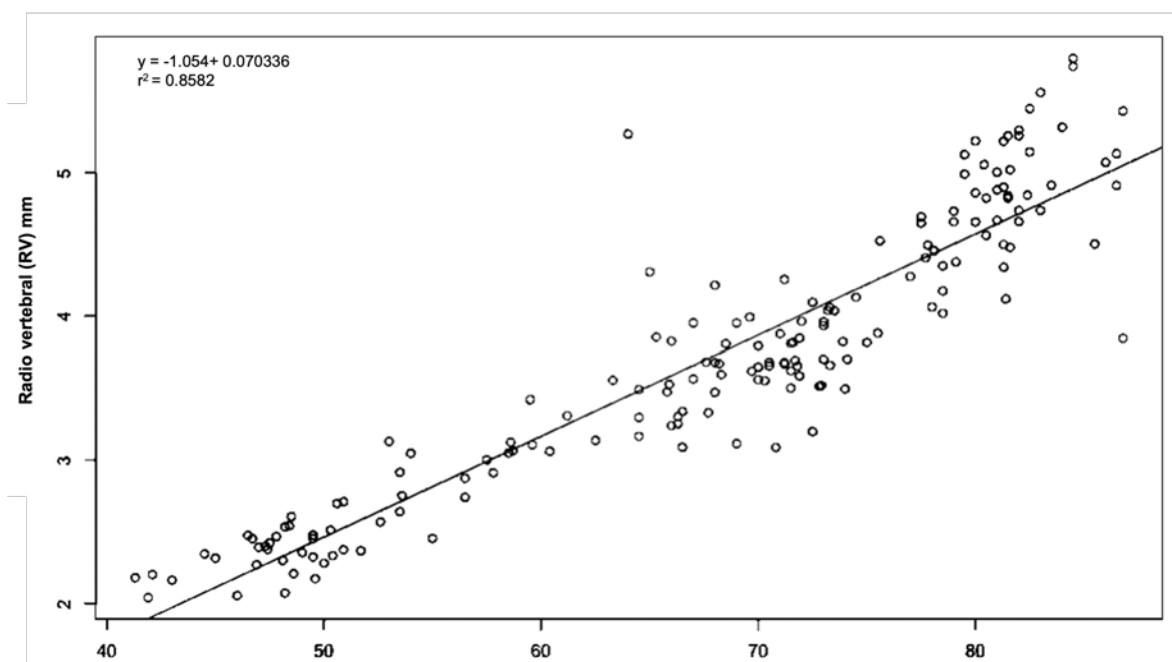


Fig. 15. Relación del Radio vertebral con la Longitud total (RV-LT) de *Zapteryx exasperata* de hembras y machos capturados en pesca artesanal en la costa central de Sonora, México (n= 172).

La proporción del incremento marginal (I_{MR}) mostró un comportamiento sinusoidal aparente. Sin embargo, no se identificaron diferencias significativas entre los meses ($\chi^2= 4.97$; $p>0.05$), probablemente debido a no contar con muestras de todos los meses y el bajo número de muestra en algunos (Fig. 16 y 17).

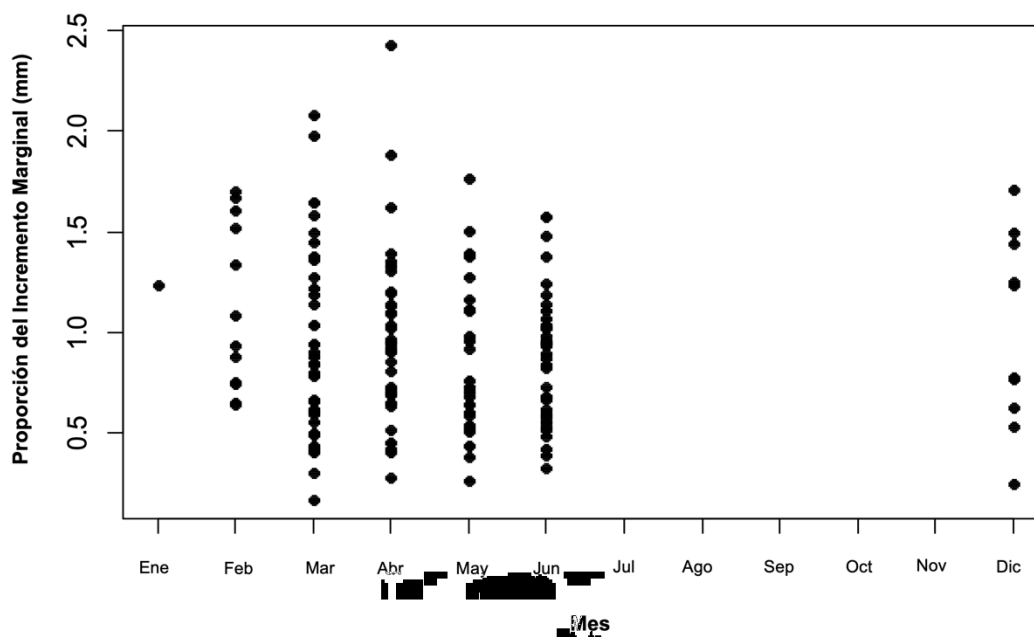


Fig 16. Análisis de la proporción del incremento marginal (I_{MR}) por mes de las vértebras de *Zapteryx exasperata* en el Golfo de California (n=172).

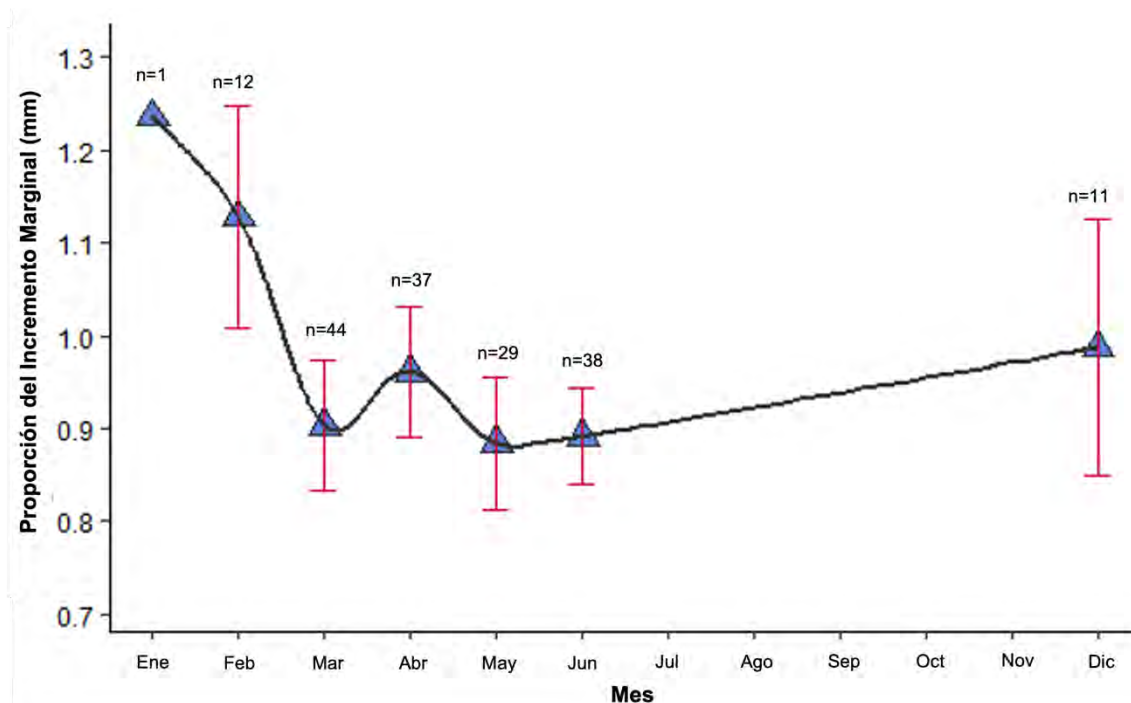


Fig. 17. Media y error estándar por mes de la I_{MR} de las vértebras de *Zapteryx exasperata* en el Golfo de California (n=172).

El método propuesto por Okamura y colaboradores (2013) indicó que el modelo que mejor se ajustó a la I_{MR} mensual según el valor de Akaike fue el modelo A (AIC: 231.14) (Tabla 3), sugiriendo que las bandas de crecimiento en las vértebras se forman anualmente en los individuos de *Z. exasperata* en la costa central de Sonora.

Tabla 3. Valores obtenidos del criterio de Akaike en la prueba de Okamura et al. (2013) (AIC; Δ_i , diferencia de Akaike y W , peso de Akaike).

Modelo	AIC	Δ_i	W
N (Sin ciclo)	235.06	3.92	12
A (Anual)	231.14	0	88
B (Bianual)	269.72	38.59	0

Se estimó la edad de 172 individuos de *Z. exasperata* de los cuales 90 corresponden a hembras (41.3-86.8 cm de LT) y 82 a machos (46.7-75 cm de LT). La edad mínima estimada para las hembras fue de 3 años, mientras que la edad máxima fue de 23 años (LT= 86.8 cm). En el caso de los machos la edad mínima fue de 3 años y la edad máxima fue de 11 años (LT= 72.8 cm y 73.3 cm). Las edades estimadas con más frecuencia para las hembras fueron de 5 (n= 11) y 8 (n= 16) años representando el 6% y 9% del total de los individuos, mientras que para los machos fueron 7 (n= 20, 12% del total de los individuos) y 8 (n=17, 10% del total de los individuos) años (Fig. 18). Según las pruebas estadísticas aplicadas se identificó que existen diferencias significativas ($W= 2221.5$, $p<0.001$) entre las edades de los machos y las hembras, presentando más longevidad las hembras que los machos.

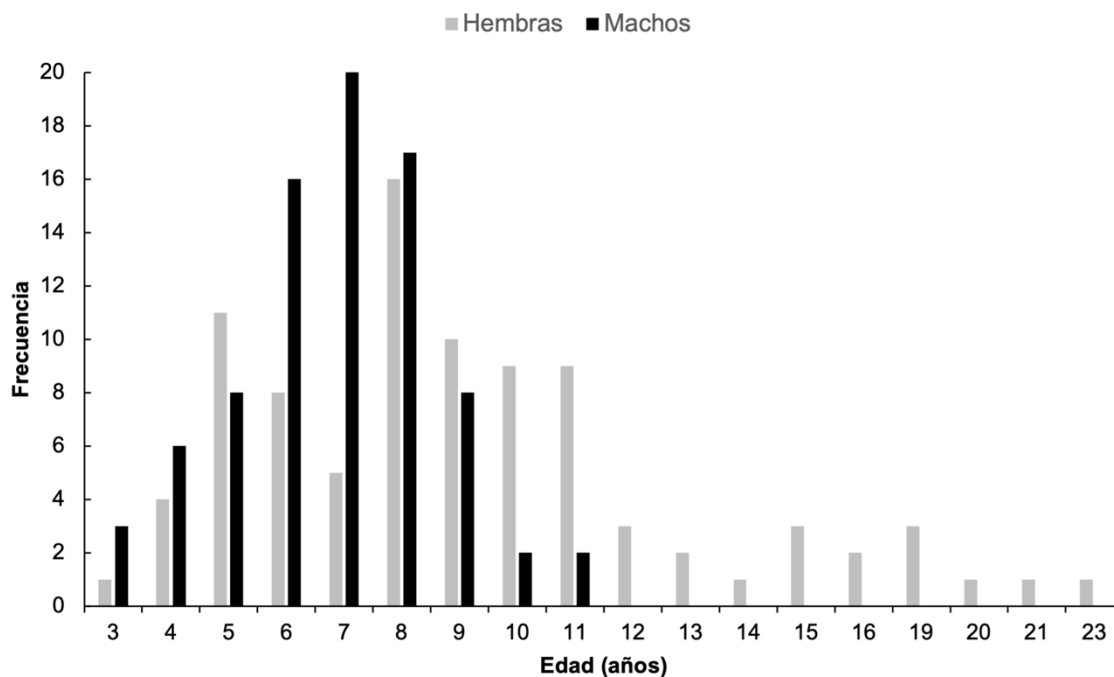


Fig. 18. Frecuencia de edades estimadas para *Zapteryx exasperata* en el Golfo de California (n=172).

Modelos de crecimiento

Los parámetros de crecimiento individual (k , L_{∞} , t_0) calculados a partir de cuatro modelos determinísticos: von Bertalanffy de dos parámetros (vBGM, Fig. 20-21), von Bertalanffy (vBGM, Fig. 22-23) Gompertz (Fig. 24-25) y Logístico (Fig. 26-27) mostraron distintos valores (Tabla 4).

Tabla 4. Valores de los parámetros (k , coeficiente de crecimiento; t_0 , edad teórica a la edad $L=0$; L_{∞} , longitud máxima teórica) obtenidos en los modelos de crecimiento determinísticos estimados por medio de mínimos cuadrados y valores de Akaike (AIC; Δ_i , diferencia de Akaike y W , peso de Akaike) para cada modelo.

Modelo		n	k (años ⁻¹)	L_{∞} (cm)	t_0 (años)	L_0 (cm)	AIC	Δ_i	W
vBGM-2p	Hembras	90	0.175	88.99		18.7	-5.17	0	0.02
	Machos	82	0.295	71.03		18.7	-4.75	0	0.02
vBGM	Hembras	90	0.22	86.63	-0.12		-3.15	2.02	0.005

Edad y crecimiento de la Guitarra Bandeada, *Zapteryx exasperata* (Jordan & Gilbert 1880) (Rhinopristiformes: Trygonorrhinidae), en la costa central de Sonora, México.

	Machos	82	0.474	68.09	0.62	-2.74	2.04	0.005
Gompertz	Hembras	90	0.261	86	1.41	-3.07	2.04	0.008
	Machos	82	0.527	67.85	1.57	-2.72	2.03	0.008
Logístico	Hembras	90	0.31	85.37	2.607	-3.13	1.98	0.006
	Machos	82	0.579	67.65	1.59	-2.53	2.22	0.004

Los parámetros obtenidos para hembras por el modelo de von Bertalanffy de dos parámetros fueron k : 0.17 años^{-1} , L_{∞} : 88.99 cm para hembras y k : 0.29 años^{-1} , L_{∞} : 71.03 cm para machos (Tabla 4); es importante resaltar que L_0 fue fijada para la estimación y creación de esta curva a el tamaño máximo de embriones LT: 18.7 cm encontrado por Blanco-Parra y colaboradores (2009) (Fig. 19-20).

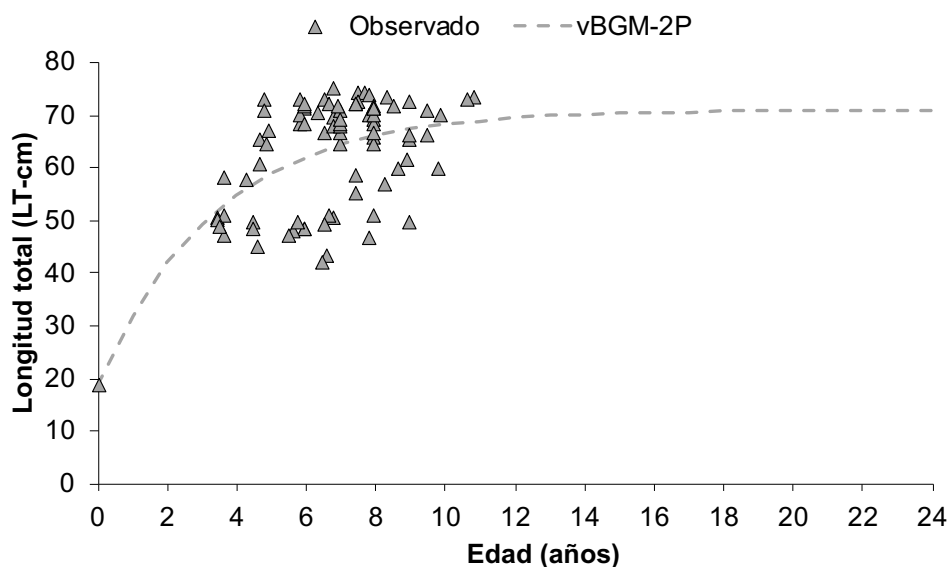


Fig. 19. Curva de crecimiento obtenida del modelo de von Bertalanffy de dos parámetros (vBGM-2p) de las edades observadas de *Zapteryx exasperata* en machos (n=82).

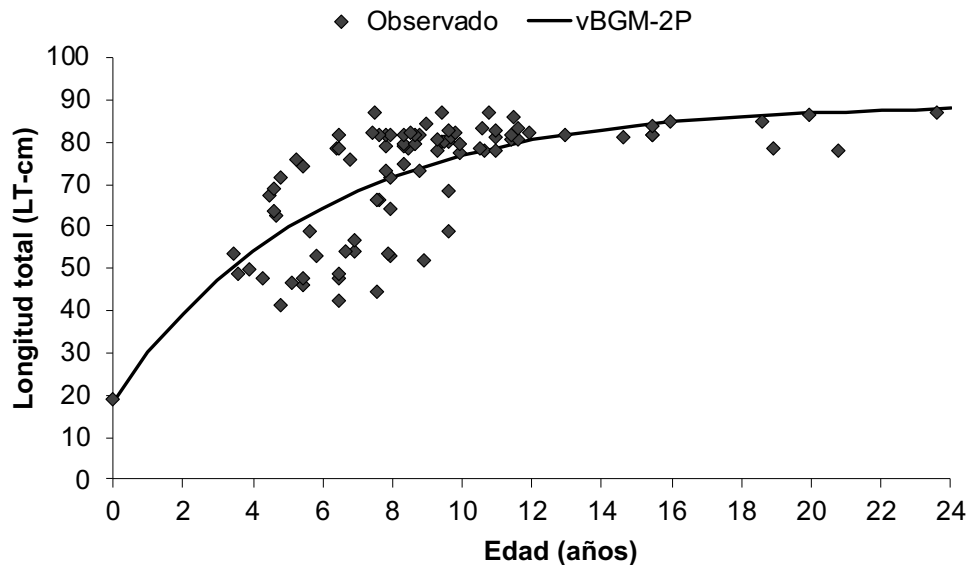


Fig. 20. Curva de crecimiento obtenida del modelo de von Bertalanffy de dos parámetros (vBGM-2p) de las edades observadas de *Zapteryx exasperata* en hembras (n=90).

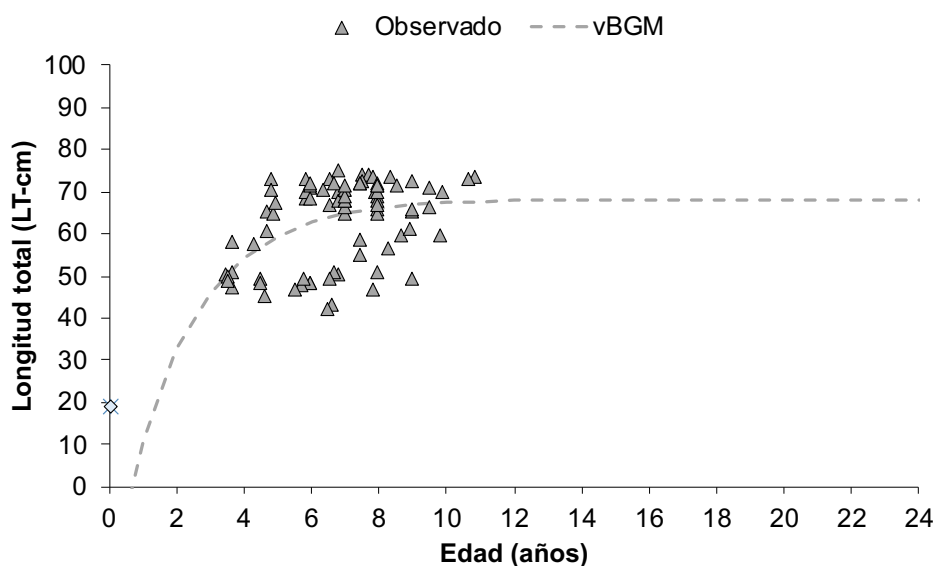


Fig. 21. Curva de crecimiento obtenida del modelo de von Bertalanffy (vBGM) de las edades observadas de *Zapteryx exasperata* en machos (n=82).

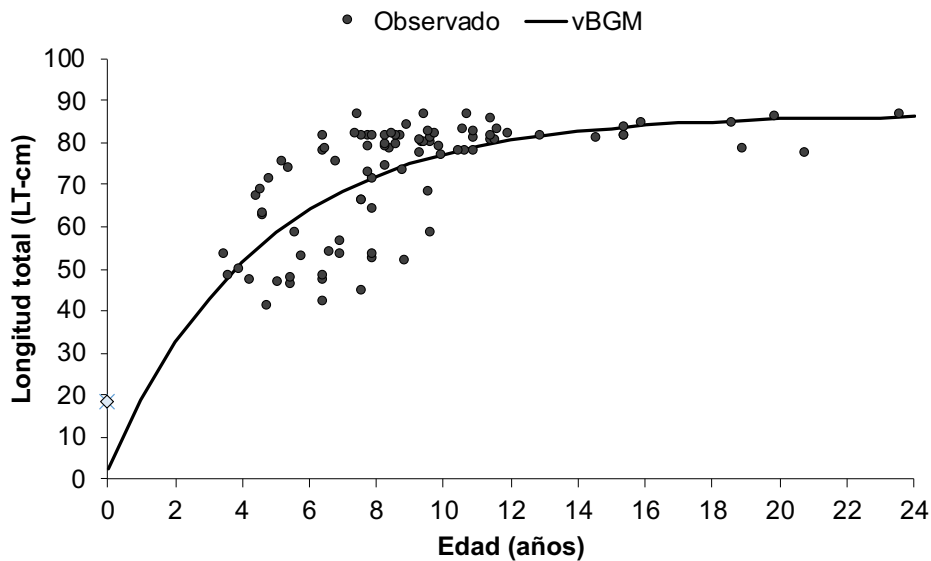


Fig. 22. Curva de crecimiento obtenidas del modelo de von Bertalanffy (vBGM) de las edades observadas de *Zapteryx exasperata* en hembras (n=90).

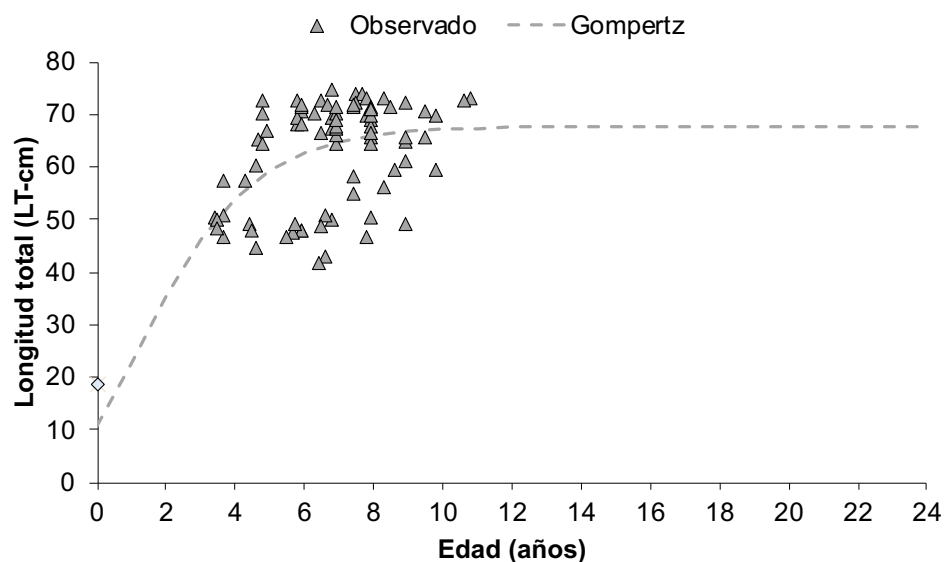


Fig. 23. Curva de crecimiento obtenida del modelo de Gompertz de las edades observadas de *Zapteryx exasperata* en machos (n=82).

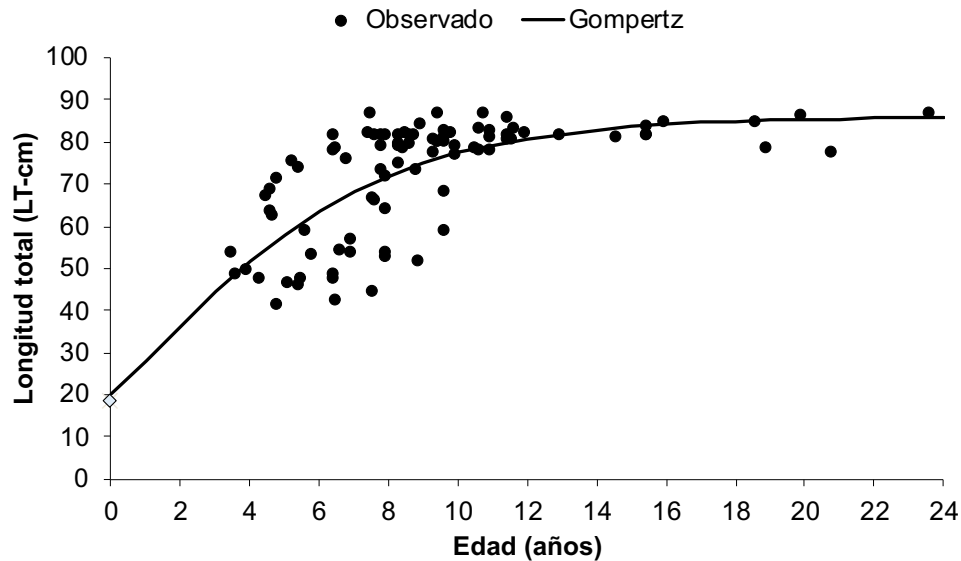


Fig. 24. Curva de crecimiento obtenida del modelo de Gompertz de las edades observadas de *Zapteryx exasperata* en hembras (n=90).

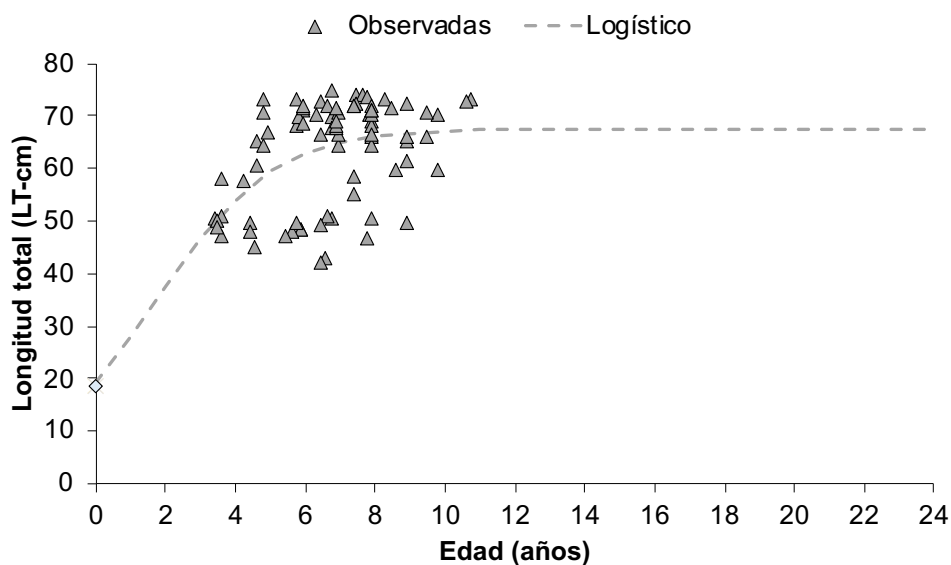


Fig. 25. Curva de crecimiento obtenida del modelo de Logístico de las edades observadas de *Zapteryx exasperata* en machos (n=82).

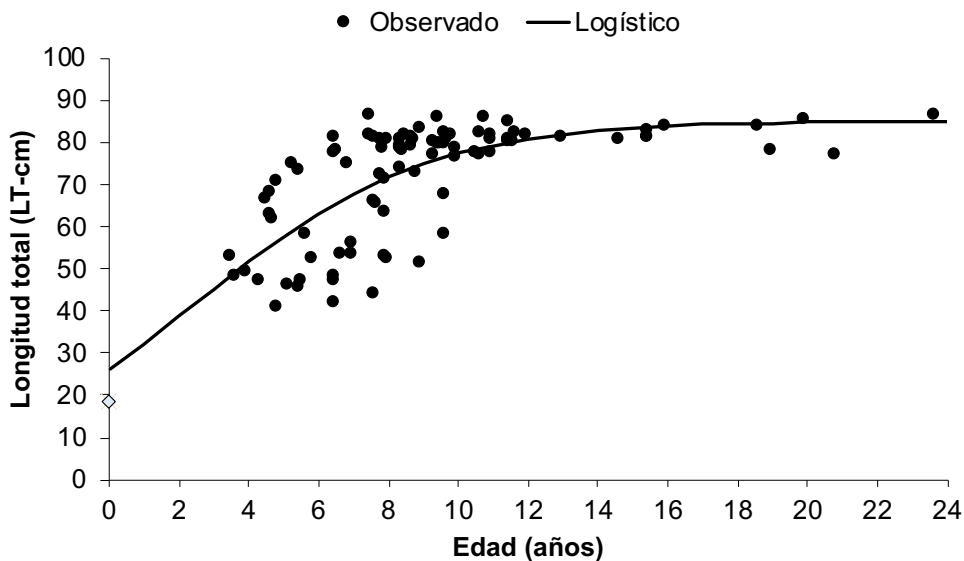


Fig. 26. Curva de crecimiento obtenida del modelo de Logístico de las edades ajustadas de *Zapteryx exasperata* en hembras (n=90).

Según el criterio de Akaike, el modelo que se ajustó mejor a los datos tanto para hembras (AIC = -5.17, Δ_i = 0.0000, W = 0.002) como para los machos (AIC = -4.75, Δ_i = 0.0000, W = 0.02) fue el de von Bertalanffy de dos parámetros (Tabla 4). En las hembras se identificó una diferencia mínima entre el modelo de vBGM (AIC= -3.15) y Logístico (AIC= -3.13) siendo el último el que presentó valores más altos tanto en la diferencia, pero no peso de Akaike, el cual fue igual (Tabla 4).

La edad de madurez, calculada con base en el modelo que mejor se ajustó a los datos (vBMG de dos parámetros) y la talla media de madurez estimada por Blanco-Parra et al., (2009) fue de 7.1 años para las hembras y 6.8 años para los machos.

DISCUSIÓN

Los Rhinoprístiformes, también conocidos como el orden de los peces guitarra y sierra, es uno de los grupos de elasmobranquios más amenazados, 69% de sus especies en encuentran en una de las categorías de amenaza por la Lista roja de especies amenazadas de la IUCN, además, es uno de los menos diversos y compone el 10% de la diversidad global de rayas (Last et al. 2016; Kyne y Jabado, 2021). Su vulnerabilidad se remonta a la

degradación del hábitat y distribución, que de manera más frecuente es en la zona costera, la cual es un área bajo presión pesquera, y dada su recurrencia en desembarcos y demanda de ciertos países para su consumo se les ha categorizado como organismos de alto valor económico (Moore, 2017; Kyne y Jabado, 2021). Los estudios como la historia de vida y ecología espacial son limitados a lo largo del orden de los Rhinoprístiformes y la falta de información ha llevado a la extinción y sobreexplotación de algunas especies pertenecientes a este taxón (Moore, 2017).

Anteriormente Cervantes y colaboradores (2017) estimaron la edad y crecimiento de *Zapteryx exasperata* en la población de la costa noroccidental de Baja California Sur, la cual presenta condiciones oceanográficas diferentes al GC y se ha sugerido que las poblaciones de esta guitarra deberían tener un manejo diferente dado un posible evento de deriva génica efectuado por la barrera que representa la Península de Baja California. Castillo-Páez y colaboradores (2013), encontraron que existe una posible diferenciación regional genética, es decir, que las poblaciones del GC y el Pacífico de *Z. exasperata* no tienen un flujo genético consistente entre ellas. En la guitarra blanca, *Pseudobatos productus*, las diferentes condiciones oceanográficas en las cuatro regiones del GC y las costas Occidentales de Baja California conllevo al desarrollo de especializaciones metabólicas según la concentración de oxígeno, batimetría y dieta, presentando un posible aislamiento reproductivo de los linajes de *Pseudobatos* en el Pacífico Norte Mexicano (PNM) (Sandoval-Castillo y Beheregaray, 2019). El evento biogeográfico sucedido en el PNM ha jugado un papel importante en la radiación evolutiva de algunos elasmobranquios, ya que generó una heterogeneidad oceanográfica entre el GC y la costa occidental de Baja California, volviéndole en una posible barrera ecológica oceanográfica evidenciada por el aislamiento reproductivo de las poblaciones de más de una especie en esta zona (Bizarro, 2009; Castillo-Páez et al. 2013; Salomón-Aguilar, 2015; Sandoval-Castillo y Beheregaray, 2019).

En el GC en sentido pesquero, Sonora es de los estados en México con gran productividad y en la pesca artesanal la captura de rayas y es de las más prósperas (Bizarro, 2009; Salomón-Aguilar, 2015). En el GC la mayor parte de los organismos, de las 318 especies que se capturan en la pesca de arrastre, presentan tallas pequeñas, entre ellas neonatos y juveniles, y se ha estimado que los efectos de esta actividad han ocasionado un deterioro en el ecosistema (López-Martínez et al. 2012; Salomón-Aguilar,

2015). También se ha mencionado que la veda de camarón en las costas de Sonora es favorable para algunas especies, ya que es en la temporada de primavera-verano (López-Martínez et al. 2012). Sin embargo, históricamente se ha observado que la captura de *Zapteryx exasperata* es más abundante en primavera (Bizarro, 2009; Blanco-Parra et al. 2009), por lo que la suposición que la veda de camarón podría ser favorable para esta especie podría ser refutada. El esfuerzo implementado para la captura de otros recursos como el lenguado coincide con la temporada de veda de elasmobranquios (1 de mayo a 30 de junio), lo cual podría explicar el comportamiento de sus capturas, ya que, en la temporada de camarón, otoño e invierno, las capturas de la *Z. exasperata* son escasas y se ha documentado que podría existir una posible migración a aguas profundas durante esas estaciones (Blanco-Parra et al. 2009; Salomón-Aguilar, 2015).

Zapteryx exasperata es capturada como fauna de acompañamiento tanto en la pesquería de camarón como en la artesanal, es decir, no es una pesquería dirigida. Según Kyne y Jabado (2022), tanto la pesca incidental y dirigida son consideradas como la primera razón de sobreexplotación de los Rhinoprístiformes, por lo que no debería tomarse a la ligera el hecho de que no es una especie objetivo, ya que en México se ha documentado que la sobrepesca de algunos elasmobranquios ha sido lo suficientemente intensa y ha causado que especies como *Sphyrna corona* se encuentre posiblemente extinta en la zona costera del Pacífico incluyendo el Golfo de California (Duvly et al. 2021).

Para este estudio se utilizaron un total de 172 individuos para determinar la edad y crecimiento por primera vez de *Zapteryx exasperata* en el GC. Algunos autores mencionan que la muestra mínima recomendada de especímenes para realizar este análisis es de 200, ya que un número de muestra inferior a este puede contribuir a que los parámetros de crecimiento obtenidos sean imprecisos (Smart et al. 2013). No obstante, en la mayoría de los estudios de elasmobranquios de esta índole el número de muestra tiende a presentar números inferiores a 200 individuos, dado a que su obtención por lo general es por medio de la pesquería comercial o artesanal (Smart et al. 2013).

Zapteryx exasperata es una de las especies más capturadas en las pesquerías artesanales del GC y sus capturas varían por estaciones, zona de pesca y arte de pesca en el GC (Blanco-Parra et al. 2009). Las capturas de *Z. exasperata* en los campos pesqueros de Bahía de Kino, El Sahuimaro, Playa del Sol, Estero el Soldado y El Choyudo (n=180) presentaron una estacionalidad, siendo más abundantes en los meses cálidos,

Blanco-Parra et al. (2009) mencionan que en la costa central de Sonora las temporadas con más abundancia en las capturas de *Z. exasperata* son en primavera.

Las hembras fueron más abundantes durante los meses de marzo y abril (n=91), mientras que los machos en junio y marzo (n=85), la ausencia de estos organismos en las otras temporadas se podría deber a la disminución en el esfuerzo o a una posible migración a aguas más profundas, sugiriendo que la costa central en Sonora, específicamente las zonas más someras podrían ser un área reproductiva importante. Es importante mencionar también que el hecho de que se encuentren hembras y machos casi en la misma proporción muestra que en esta zona no existe una segregación sexual (Blanco-Parra et al. 2009), diferente a lo reportado en la costa noroccidental de Baja California Sur, en donde se observó que, si hay segregación por sexos, y los estudios indican que los machos son más abundantes que las hembras (Cervantes-Gutierrez, 2017). Otras de las razones de los cambios estacionales en la abundancia de los individuos de esta especie podrían ser el cambio en el gradiente de temperatura, la profundidad en donde se capturaron, arte de pesca, preferencia al hábitat, etc., (Blanco-Parra et al. 2009; Cervantes-Gutierrez, 2017).

El intervalo de tallas que se encontró entre machos y hembras de *Zapteryx exasperata* en este estudio, fue significativamente diferente coincidiendo con el estudio de Blanco-Parra y colaboradores (2009), los cuales reportan este dimorfismo sexual y una diferencia en el comportamiento del crecimiento entre los machos y las hembras, la relación peso-longitud en los machos es más rápido el crecimiento en talla que en peso (alométrico positivo) y en las hembras el peso aumenta más rápido que la talla (alométrico negativo). Por su parte el crecimiento de la población de *Z. exasperata* en la costa noroccidental de Baja California Sur es alométrico negativo, mostrando que existe una diferencia en el crecimiento entre las poblaciones de la especie, siendo más pesadas y pequeñas en el GC (Cervantes-Gutiérrez, 2017).

Las costas de Sonora han sido mencionadas como un área fundamental para el desarrollo de algunas guitarras como *P. productus* y *Z. exasperata*, ya que existe una temporalidad en sus capturas, en donde los meses de invierno y otoño su aparición es escasa, mientras que en primavera y verano es abundante, estas dos últimas temporadas se les caracterizan por favorecer la reproducción, por lo que el patrón de abundancia de *Z. exasperata* en dichas temporadas podría estar relacionado a esta condición (Bizarro, 2009; Blanco-Parra et al. 2009; Salomón-Aguilar, 2015). En el GC según un estudio donde se

analizaron las zonas prioritarias de conservación de los batoides de la región noroeste del Pacífico mexicano, se determinó que la región central de Sonora, en específico Bahía de Kino, es una zona de reproducción y crianza que es utilizada por *Z. exasperata* (Salomón-Aguilar, 2015). Sin embargo, la determinación de su comportamiento sigue sin ser caracterizada debido a la falta de estudios de ecología espacial.

Las bandas de crecimiento se identificaron con luz transmitida, en donde las bandas opacas se observan de un color oscuro y las translúcidas claras. En el caso del estudio de Cervantes-Gutierrez y colaboradores (2017) en Baja California Sur, las lecturas se realizaron con luz reflejada y un fondo negro, evidenciando que la efectividad de las técnicas de observación de las bandas de crecimiento en las vértebras dependerá del estudio (Medina-Trujillo, 2020). En este caso el patrón de las marcas de crecimiento en las vértebras de *Z. exasperata* demuestra que ambas técnicas de iluminación son efectivas para su identificación sin la necesidad de utilizar tratamientos de tinción. Campana (2014) menciona que en los últimos años el avance en la tecnología ha conllevado a que la metodología de la observación de las bandas de crecimiento sea más sencilla, sin utilizar ninguna tinción y utilizando fotografías para observar los patrones de las bandas de crecimiento. En *Z. exasperata* el patrón de bandas observadas en las vértebras permitió que con el solo uso de fotografías se pudiera realizar el conteo e identificación de cada banda de crecimiento.

La asociación de las variables RV-LT en el radio vertebral de *Z. exasperata* (Fig. 15) mostró que existe una relación entre las variables, es decir, que la longitud total y el radio vertebral crecen en la misma proporción ($r^2= 0.8582$). Los valores del coeficiente coinciden con la tendencia lineal y rango encontrado por Cervantes y colaboradores (2017), para la misma especie. Se ha observado que la relación lineal positiva entre las variables del RV-LT en algunos rinobatidos como *Z. exasperata*, *P. productus* o *Z. yxster*, ha permitido determinar la edad con estructuras como vértebras y su utilidad ha sido ampliamente aceptada en el estudios de la edad y crecimiento de elasmobranquios por su bajo costo y fácil ejecución (Cervantes-Gutiérrez et al. 2017; Medina-Trujillo, 2020).

En este estudio tres lectores determinaron la edad de los individuos mediante los conteos de las bandas en las vértebras, esta técnica depende en gran medida de la percepción, interpretación, experiencia y conocimiento del lector, por lo que es necesario evaluar la precisión de las lecturas para disminuir el error que existe entre la percepción de

los lectores (Goldman, 2004; Campana, 2014; Natanson et al. 2018). Los conteos de las bandas en las vértebras de *Z. exasperata* presentaron valores de precisión (Tabla 2) que se encuentran dentro de un rango de precisión aceptable (<10%), se mostraron un poco por encima del porcentaje que mencionan Coiraton et al. (2019) (4-6%) y en el caso del estudio realizado por Cervantes y colaboradores (2017) los valores tanto de APE (6.71%) y CV (9.65%) entre los lectores e intra-lector (APE = 3.77%, CV = 5.34%) fueron mayores a los obtenidos en este análisis.

La proporción del incremento marginal mostró un comportamiento aparentemente sinusoidal (Fig. 16), lo cual coincide con lo reportado por Cervantes-Gutiérrez y colaboradores (2017) para *Zapteryx exasperata* en la costa noroccidental de Baja California Sur, en donde mencionan que dado el patrón mostrado por el análisis de incremento marginal (MIA) el tipo de banda dependerá según el mes que se capturó, bandas opacas para temperaturas calientes y translúcidas para temperaturas frías, estableciendo que la formación de bandas de crecimiento es anual ($p < 0.05$, $r^2 = 0.8123$). Okamura y colaboradores (2013) mencionan que este tipo de análisis estadísticos convencionales, como lo es el MIA, carecen de poder estadístico para establecer el tiempo en que se generan las bandas de crecimiento, por lo que recomiendan utilizar otros métodos para esta verificación.

Para realizar una aproximación más precisa de la evaluación del comportamiento de la formación de bandas se utilizó el modelo propuesto por Okamura y colaboradores (2013), el cual prueba el comportamiento de la proporción del incremento marginal (I_{MR}) con tres modelos de ciclicidad (sin ciclo, ciclo anual y bianual). La evaluación de la periodicidad de formación de las vértebras según el modelo de Okamura y colaboradores (2013) mostró que las bandas de crecimiento en las vértebras se forman anualmente en los individuos de *Z. exasperata* en la costa central de Sonora (Fig. 17), similar a lo encontrado para la subpoblación del Pacífico; sin embargo, esta estimación se realizó mediante el MIA, en el cual se utilizan técnicas como ANOVA o Kruskal-Wallis para determinar la periodicidad de formación de las bandas e ignora la ciclicidad que presenta de forma natural (Okamura et al. 2013; Cervantes-Gutiérrez et al. 2017). En el caso de este estudio al someter los datos de la proporción del incremento marginal a la misma prueba aplicada por Cervantes-Gutiérrez et al., (2017) (Kruskal-Wallis), el valor ($\chi^2 = 4.97$; $p > 0.05$), señaló que la periodicidad de formación de las bandas no presenta formación anual. Esto corrobora que

ignorar la ciclicidad para verificar la formación de las bandas no es preciso y utilizar métodos, como el propuesto por Okamura et al. (2013), que integran la ciclicidad reduce la incertidumbre generada por métodos como el MIA.

Cervantes-Gutiérrez y colaboradores (2017) observaron un intervalo de edades para las hembras de 5 a 22 años, con predominancia en los 18 años, mientras que en los machos el intervalo fue de 4 a 19 años y la edad predominante fue de 14 años, para la población de Baja California, mientras que en la costa central de Sonora el intervalo de las hembras tiene cierta coincidencia, pero el de los machos difirió. Sin embargo, en ambas subpoblaciones las hembras tendieron a ser más longevas y con mayor talla que los machos lo cual puede estar influenciado por la adaptación evolutiva de los batoides, lo cuales han mostrado que cuando se presenta la reproducción vivípara las hembras son más longevas y grandes en LT que los machos (Sánchez-Cota, 2016).

Los modelos de crecimiento de VBGM de dos y tres parámetros mostraron valores de L^∞ diferentes, en donde ambos se asimilan a la talla máxima que se encontró en las hembras (86.8 cm LT) y machos (75 cm LT), diferente a lo encontrado por Cervantes-Gutiérrez y colaboradores (2017), en donde el modelo de VBGM de tres parámetros (hembras $L^\infty = 100.71$ cm, machos $L^\infty = 89.78$ cm) fue el que estuvo más cercano a la talla máxima observada (hembras = 103 cm, machos = 92 cm). Liu y colaboradores (2021), encontraron que el modelo de VBGM de dos parámetros tiende a presentar mejor ajuste con especies de crecimiento lento y larga longevidad como algunos tiburones pelágicos, y según los resultados observados en este estudio los parámetros obtenidos con el modelo de VBGM de dos parámetros y edad coinciden con estas condiciones.

El parámetro de crecimiento k en hembras ($k = 0.175$) y machos ($k = 0.295$) indicó que los machos crecen más rápido que las hembras, aunado a esto los valores fueron mayores a los reportados para la población de Baja California Sur, en donde los valores obtenidos por el modelo de VBGM de dos parámetros fue de $k = 0.12$ para las hembras y para machos $k = 0.15$ (Cervantes et al. 2017), mostrando que la población del Golfo de California crece más rápido que las que se encuentran en el Pacífico. Los valores obtenidos en ambas poblaciones se encuentran dentro del valor reportado para las especies de guitarras el cual es entre 0.02 y 0.26 (Cailliet y Goldman, 2004; Reis y Figueira, 2020), no obstante, solo los machos de la población del GC mostraron un valor por encima de 0.26, lo cual podría haber sido influenciado por el número de muestra ($n = 81$), intervalo de tallas,

criterios de ajuste, la metodología aplicada o la validación (Cailliet y Goldman, 2004). Los valores estipulados coinciden con lo encontrado dentro de las especies de la familia Trygonorrhinidae, en donde el intervalo va de 0.05 a 0.26 (Tabla 1) y podría colocar a *Zapteryx exasperata* de la costa central de Sonora como una de las especies que presentan crecimiento más rápido dentro de este grupo.

Según lo obtenido en este estudio con la talla media de madurez calculada por Blanco-Parra et al., (2009), los individuos de *Zapteryx exasperata* en el GC alcanzan la talla media de madurez de 69 cm LT a los 7.1 años las hembras y los machos la talla media de madurez de 64 cm LT a los 6.8 años. En la costa noroccidental de Baja California Sur la talla media de madurez establecida fue de 70 cm LT para las hembras y machos 70.4cm LT, mientras que la edad de madurez se estimó como 9 años y 7 años respectivamente (Cervantes-Gutiérrez, 2017). La diferencia en el tipo de crecimiento y edad de madurez en las poblaciones de la *Z. exasperata* en el Pacífico Norte Mexicano puede ser debido a que los hábitos alimenticios y las condiciones en las que se encuentran inmersas difieren, las aguas del GC son más cálidas que las encontradas en la costa noroccidental de Baja California Sur, y dicha condición estaría induciendo a que el metabolismo de la subpoblación del GC sea más acelerado y por ende los procesos de crecimiento, reproducción, madurez sexual y mortalidad (Frisk et al. 2001; Salomón-Aguilar, 2015).

La edad de madurez ha sido un parámetro utilizado para medir la productividad de las poblaciones y es uno de los más importantes al momento de estimar la resiliencia (Musick, 1999). En el caso de la población del GC según Musick (1999) las edades de madurez presentadas por los machos y las hembras de 6.8 y 7.1 años, la productividad biológica es baja (5-10 años). Por el contrario, según el coeficiente *k* de von Bertalanfy los valores presentados por las hembras (*k*= 0.175) y machos (*k*= 0.295) los coloca dentro de la categoría con productividad media (0.16-0.30). Mientras que la edad máxima presentada, la cual fue 23 años, los categoriza como una unidad evolutiva significativa con productividad biológica baja (11-30 años). En el caso de la población del Pacífico se menciona que esta especie podría soportar el efecto de la pesquería, dado que la productividad según el coeficiente *k* obtenido se le categorizó con una productividad moderada (Cervantes-Gutiérrez, 2017).

En un estudio reciente se observó que ciertas condiciones como profundidad, oxígeno disuelto, temperatura y los caracteres evolutivos conservados moldean la capacidad metabólica de los condriictios y con ello la tasa máxima de crecimiento de la población (Pardo y Dulvy, 2022), por lo que las diferencias en el crecimiento de *Zapteryx exasperata* a lo largo del Pacífico Norte Mexicano podrían estar relacionadas a dichas condiciones, ya que los hábitats de las poblaciones distribuidas a lo largo de esta área presentan diferencias marcadas en temperatura, en donde el GC puede llegar hasta 37.5°C, mientras que en la costa occidental de B.C.S la temperatura es menor debido a las corrientes de California.

En la familia Trygonorrhinidae el 38% de las especies se encuentra amenazado (Kyne y Jabado, 2022) y los estudios de historia de vida como la edad y crecimiento se han realizado solo en cuatro especies de las ocho descritas, las cuales son *Z. brevirostris*, *Z. xystris*, *Z. exasperata*, *Trygonorrhina fasciata* y *Aptychotrema rostrata* (Tabla 1). Las especies que comparten el género *Zapteryx* que han podido ser evaluadas dentro de la lista roja de la IUCN, solamente ha sido *Z. brevirostris*, categorizada como vulnerable, las restantes presentan datos deficientes para ser evaluadas, condición que podría comprometer su estatus. Los parámetros de crecimiento de *Z. brevirostris* (hembras ($k=0.22$) y machos ($k=0.25$)) y *Z. exasperata*, (hembras ($k=0.175$) y machos ($k=0.295$)) presentan similitud, a pesar de que estos valores no colocan a dichas especies en una categoría que los considere en riesgo el hecho de que pertenezcan a esta familia que se caracteriza por una tasa baja de incremento poblacional cuestiona la fiabilidad para caracterizar su vulnerabilidad con base en este parámetro (Caltabellota et al. 2019). Sin embargo, dado su crecimiento podría ser que esta especie no sea tan vulnerable como el resto de las guitarras.

Las especies de la familia Trygonorrhinidae presentan una distribución restringida con algunos endemismos, siendo las especies del género *Zapteryx* endémicas en Norteamérica, Centroamérica y Sudamérica y por su parte *Zapteryx exasperata* endémica de Norteamérica (Kyne y Jabado, 2022), la cual se distribuye dentro de las aguas de la zona subtropical atribuidas como una de las áreas en que los condriictios se enfrentan a un patrón de vulnerabilidad por la sobrepesca (Dulvy et al. 2021). El manejo de las poblaciones de *Z. exasperata* no ha sido especificado debido a la falta de información para la caracterización de su dinámica poblacional por lo que la respuesta que podría tener la

especie ante presiones antropogénicas y con ello al cambio climático es incierta. *Z. exasperata* se encuentra dentro de la categoría de datos insuficientes de la IUCN, esta no es una categoría que las clasifique como amenazadas. Sin embargo, se ha mencionado que algunas especies de elasmobranquios que se han clasificado con datos insuficientes en los que no se ha evaluado su riesgo de extinción podrían cumplir con los criterios de las categorías amenazadas con base en dos factores, que su rango de distribución se superponga con áreas con alta presión pesquera sin planes de manejo, y que coexista con otras rayas del mismo orden en alguna categoría de riesgo (Kyne y Jabado, 2022). Así mismo, Musik (1999) menciona que especies endémicas con rangos de distribución limitados en donde existe algún tipo de degradación al ecosistema debería ser clasificada como vulnerable.

En México el manejo de las pesquerías de elasmobranquios en el Pacífico mexicano ha sido complicada y la inclusión de ciertas características del stock en el panel normativo permanece inconclusa debido a la falta de información; la NOM-029-PESC-2006, con el paso de los años ha presentado ciertas actualizaciones, como la inclusión de la temporada de veda, y algunas zonas de refugio (Bizarro, 2009; Salomón-Aguilar, 2015). Sin embargo, las medidas son muy generales complicando la gestión de los stocks de elasmobranquios en esta área (Bizarro, 2009). En algunos casos donde la captura de guitarras se realiza en países en desarrollo y sin planes de manejo sus poblaciones se han comprometido como lo es el caso de *Z. brevirostris*, *P. horkelii* y *P. productus* (Caltabellota et al. 2019). Por su parte *Z. exasperata* presenta una distribución que la coloca como endémica en el GC, pudiéndose aseverar que dada esta característica su estado podría ser vulnerable (Musick, 1999). No obstante, según el valor del coeficiente *k* obtenido para la especie no se podría catalogar como vulnerable (Musick, 1999).

CONCLUSIONES

La edad de los individuos de *Z. exasperata* extraídos de la costa central de Sonora, México presentó un intervalo de 3 a 23 años en hembras y en los machos de 3 a 11 años, siendo las hembras más longevas y con mayor tamaño que los machos ($W=1851$, $P<0.001$), comportamiento similar a lo encontrado para la población del Pacífico.

Los valores de los parámetros del modelo que mejor se ajustaron a los datos fue el de VBGM de dos parámetros (Tabla 4; hembras k : 0.17 años⁻¹; L_{∞} = 89.31 cm, machos L_{∞} = 70.44 k : 0.29 años⁻¹), siendo los machos los que presentan un crecimiento más rápido en comparación a las hembras.

Las poblaciones de *Z. exasperata* en el Pacífico Norte mexicano presentaron parámetros de crecimiento diferentes, en donde la subpoblación del GC (hembras k : 0.17 año⁻¹; machos k : 0.29 año⁻¹) crece más rápido que la del Pacífico (hembras k : 0.14 año⁻¹; machos k : 0.18 año⁻¹), mientras que el valor de L asintótico (L_{∞}) fue más pequeño para la subpoblación del GC que la del Pacífico.

La periodicidad de formación de las bandas de crecimiento en las vértebras de *Z. exasperata* extraídos de la costa central de Sonora, México, fue identificada como anual.

La edad de madurez de los organismos resultó en 7.1 años en las hembras y 6.8 años los machos según el modelo de VBGM de dos parámetros.

Según el coeficiente k obtenido en este estudio (hembras k : 0.17 año⁻¹; machos k : 0.29 año⁻¹) *Z. exasperata*, no se cataloga vulnerable y su productividad podría ser de media a baja.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Borrego, S. 2010. Physical, chemical, and biological oceanography of the Gulf of California. 24-48 p. End Brusca GC (Ed) The Gulf of California: Biodiversity and Conservation. University of Arizona Press, Tucson.
- Badan-Dangon, A. 1997. Contribución a la Oceanografía Física en México. Monografía, 3, 99-113.
- Blanco-Parra, M.P. 2003. Edad y crecimiento del tiburón azul, *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758), en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. México. 54 p.
- Blanco-Parra, M.P. 2009. Biología pesquera de la Guitarra Pinta *Zapteryx exasperata* (Jordan & Gilbert, 1880) en la costa central de Sonora, México. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. México. 103 p.

-
- Blanco-Parra, M.P., F. Márquez-Farías y F. Galván-Magaña. 2009. Fishery and morphometric relationships of the banded guitarfish, *Zapteryx exasperata* (Elasmobranchii, Rhinobatidae), from the Gulf of California, Mexico. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 456-465.
- Blanco-Parra, M.P., F. Márquez-Farías, F. Galván-Magaña, C. A. Niño-Torres. 2012. Feeding ecology and trophic level of the banded guitarfish, *Apteryx exasperata*, inferred from stable isotopes and stomach contents analysis. *Environmental Biology of Fishes*, 95(1), 65-77.
- Blanco-Parra, M.P., F. Márquez-Farías y F. Galván-Magaña. 2009. Reproductive biology of the banded guitarfish, *Zapteryx exasperata*, from the Gulf of California, Mexico. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* doi:10.1017/S0025315409990348
- Beamish, R.J. y D.A. Fournier. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*. 38: 982–983 p.
- Bizzarro, J. J., , W. D. Smith, J. F. Márquez-Farías, J. Tyminski, y R. E. Hueter. 2009. Temporal variation in the artisanal elasmobranch fishery of Sonora, Mexico. *Fisheries research*, 97(1-2), 103-117.
- Bizzarro, J. J., W. D. Smith, R. E. Hueter, J. Tyminski, J. F. Márquez–Farías, J. L. Castillo–Géniz, G. M. Cailliet y C. J. Villavicencio–Garayzar. 2009. The status of shark and ray fishery resources in the Gulf of California: applied research to improve management and conservation. Moss Landing Marine Laboratories. Moss Landing Marine Laboratories Technical Publication. <http://hdl.handle.net/1834/20225>
- Bizzarro, J.J. y P. M. Kyne. 2015. *Zapteryx exasperata*. The IUCN Red List of Threatened Species

2015:e.T60177A80673370.<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20154.RLTS.T60177A80673370.en>

Burgos-Vázquez, María I., Lorem del V. González-González, Paola A. Mejía-Falla & Víctor H. Cruz-Escalona. 2019. First record of monoclasper in the Banded guitarfish, *Zapteryx exasperata* in the Gulf of California, Mexico. *CICIMAR Oceanides*, 34(1): 41-44.

Burnham, K. P., y D. R. Anderson. 2002. 'Model Selection and Multi-model Inference: A Practical Information-Theoretic Approach', 2nd ed. (Springer-Verlag: New York, NY, USA.)

Cailliet, G. M. 2015. Perspectives on elasmobranch life-history studies: a focus on age validation and relevance to fishery management. *Journal of Fish Biology*, 87(6), 1271-1292.

Cailliet, G. M., and Goldman, K. J. 2004. Age determination and validation in chondrichthyan fishes. In 'Biology of Sharks and Their Relatives'. (Eds J. C. Carrier, J. A. Musick, and M. R. Heithaus.) pp. 399-446. (CRC Press: Boca Raton, FL, USA.)

Caltabellotta, F. P., Z. A. Siders, D. J. Murie, F. S. Motta, G. M. Cailliet y O. B. Gadig. 2019. Age and growth of three endemic threatened guitarfishes *Pseudobatos horkelii*, *P. percellens* and *Zapteryx brevirostris* in the western South Atlantic Ocean. *Journal of Fish Biology*, 95(5), 1236-1248.

Campana, S. E. 2001. Accuracy, precision, and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* 59(2): 197-242 pp.

Campana, S. E. 2014. Age determination of elasmobranchs, with special reference to Mediterranean species: a technical manual. General Fisheries Commission for the Mediterranean. Studies and Reviews, (94), I.

-
- Campbell, M. J., M. F. McLennan, A. J. Courtney y C. A. Simpfendorfer. 2021. Life-history characteristics of the eastern shovelnose ray, *Aptychotrema rostrata* (Shaw, 1794), from southern Queensland, Australia. *Marine and Freshwater Research*, 72(9), 1280-1289.
- Carrier, J.C., J.A. Musick y M.R. Heithaus (Eds). 2012. *Biology of sharks and their relatives*. CRC press. 2, 291-311.
- Carrillo-Briceño, J. D., J.D. Carrillo, O. A. Aguilera y M. R. Sanchez-Villagra. (2018). Shark and ray diversity in the Tropical America (Neotropics)—an examination of environmental and historical factors affecting diversity. *PeerJ*, 6, e5313.
- Castillo-Páez, A., M. A. del Río-Portilla, E. Oñate-González y A. Rocha-Olivares. 2014. The mitochondrial genome of the banded guitarfish, *Zapteryx exasperata* (Jordan and Gilbert, 1880), possesses a non-coding duplication remnant region. *Mitochondrial DNA Part A*, 27(3), 1668-1670.
- Castillo-Páez, A., J. Sandoval-Castillo, D. Corro-Espinosa, J. Tovar-Ávila, M. D. P. Blanco-Parra, N. C. Saavedra-Sotelo, O. Sosa-Nishizaki, F. Galván-Magaña y A. Rocha-Olivares. 2017. Cutting through the Gordian knot: unravelling morphological, molecular, and biogeographical patterns in the genus *Zapteryx* (guitarfish) from the Mexican Pacific. *ICES Journal of Marine Science*, 74(6), 1630-1638.
- Castillo-Páez, A., O. Sosa-Nishizaki, J. Sandoval-Castillo, F. Galván-Magaña, M. D. P. Blanco-Parra y A. Rocha-Olivares. 2013. Strong population structure and shallow mitochondrial phylogeny in the banded guitarfish, *Zapteryx exasperata* (Jordan y Gilbert, 1880), from the northern Mexican Pacific. *Journal of Heredity*, 105(1), 91-100.
- Cervantes-Gutiérrez, F., J. 2017. Demografía de la Raya Guitarra Pinta *Zapteryx exasperata* (Jordan & Gilbert, 1880) en la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de Doctorado. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Páz, B.C.S. 121 p.

-
- Cervantes-Gutiérrez, F., J. Tovar-Ávila y F. Galván-Magaña. 2017. Age and growth of the banded guitarfish *Zapteryx exasperata* (Chondrichthyes: Trygonorrhinidae). *Marine and Freshwater Research*, 69(1), 66-73.
- Chang WYB. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 39(8): 1208–1210 pp.
- Coiraton, C., J. Tovar-Ávila, K. C. Garcés-García, J. A. Rodríguez-Madrigal, R. Gallegos-Camacho, D. A. Chávez-Arrenquín y F. Amezcua. 2019. Periodicity of the growth-band formation in vertebrae of juvenile scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* from the Mexican Pacific Ocean. *Journal of fish biology*, 95(4), 1072-1085.
- Compagno, L. J. 2001. *Sharks of the World: Bullhead, mackerel, and carpet sharks (Heterodontiformes, Lamniformes, and Orectolobiformes) (Vol. 2)*. Food & Agriculture Org.
- Del Moral-Flores, L. F., J. J. Morrone, J. A. Durand, H. Espinosa-Pérez y G. P. P. De León. 2015. Lista patrón de los tiburones, rayas y quimeras (Chondrichthyes, Elasmobranchii, Holocephali) de México. *Arxius de Miscel·lània Zoològica*, 47-163.
- Dudgeon, C. L., L. Coulton, R. Bone, J. R. Ovenden y S. Thomas. 2017. Switch from sexual to parthenogenetic reproduction in a zebra shark. *Scientific reports*, 7, 40537.
- Dulvy, N. K., N. Pacoureau, C. L. Rigby, R. A. Pollom, R. W. Jabado, D. A. Ebert, B. Finucci, C. M. Pollock, J. Cheok, D. H. Derrick, K. B. Herman, C. S. Sherman, W. J. VanderWright, J. M. Lawson, R. H.L. Walls, J. K. Carlson, P. Charvet, K. K. Bineesh, D. Fernando, G. M. Ralph, J. H. Matsushiba, C. Hilton-Taylor, S. V. Fordham y C. A. Simpfendorfer. 2021. Overfishing drives over one-third of all sharks and rays toward a global extinction crisis. *Current Biology*, 31(21), 4773-4787.

-
- Frisk, M. G., Miller, Thomas J. M. y Fogarty, M. J. (2001). Estimation and analysis of biological parameters in elasmobranch fishes: a comparative life history study. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(5), 969-981.
- González-Acosta, A. F., Monsalvo-Flores, A. E., Tovar-Ávila, J., Jiménez-Castañeda, M. F., Alejo-Plata, M. D. C., & De La Cruz-Agüero, G. (2021). Diversity and conservation of Chondrichthyes in the Gulf of California. *Marine Biodiversity*, 51(3), 46.
- Goldman KJ. 2004. Age and growth of elasmobranch fishes. 97–132. En: Musick, J.A. y R. Bonfil (Eds.). *Management techniques for elasmobranch fisheries*. FAO Fisheries technical paper USA. 474 p.
- Gompertz B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 115: 513-583 pp.
- Gustafsson, L., & Sternad, M. (2013). When can a deterministic model of a population system reveal what will happen on average? *Mathematical Biosciences*, 243(1), 28–45.
- Guzmán-Castellanos AB, E. Morales-Bojórquez y E. F. Balart. 2014. Estimación del crecimiento individual en elasmobranquios: la inferencia con modelos múltiples. *Hidrobiológica*. 24 (2): 137–150 pp.
- Harmon, T. S., T. Y.Kammerman, A. L.Corwin, y A. B. Sellas. 2016. Consecutive parthenogenetic births in a spotted eagle ray *Aetobatus narinari*. *Journal of Fish Biology*, 88(2), 741-745.
- Instituto Nacional de Pesca. 2012. Plan de Manejo de la Pesquería de Tiburones y Rayas del Pacífico Mexicano. México. 120p.
- IUCN. 2022. The IUCN Red List of Threatened Species. <http://www.iucnredlist.org>.
- IUCN. 2023. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-2. <https://www.iucnredlist.org>

-
- Katsanevakis S y CD Maravelias. 2008. Modelling fish growth: Multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish and Fisheries* 9(2): 178-187pp.
- Kyne, P. M., y R. W. Jabado. 2022. Most rhino rays (sawfishes, wedgefishes, giant guitarfishes, guitarfishes, banjo rays) are threatened with extinction. In *Imperiled: The Encyclopedia of Conservation*, Vol. 2. (pp. 763-772). Elsevier.
- Kyne, P. M., R. W. Jabado, C. L. Rigby, M. A. Gore, C. M. Pollock, K. B. Herman, J. Cheek, D. A. Ebert, C. A. Simpfendorfer y Dulvy, N. K. 2020. The thin edge of the wedge: Extremely high extinction risk in wedgefishes and giant guitarfishes. *Aquatic Conservation: marine and freshwater ecosystems*, 30(7), 1337-1361.
- Last y B. Séret. 2016. Familia Trygonorrhinidae. En: Last, P., Naylor, G., Séret, B., White, W., de Carvalho, M., & Stehmann, M. (Eds.). 2016. *Rays of the World*. CSIRO publishing.
- Lavín, M. F., E. Beier y A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. *Contribuciones a la oceanografía física en México*. Monografía, 3, 141-171.
- Lessa, R., F. M. Santana y P. Duarte-Neto. 2006. A critical appraisal of marginal increment analysis for assessing temporal periodicity in band formation among tropical sharks. *Environmental Biology of Fishes*, 77(3), 309-315.
- López Martínez J., R. Morales-Azpeitia, G. Padilla-Arredondo, E. Herrera-Valdivia, C. Rodríguez, y E. Alcántara-Razo. 2007. Estimaciones de abundancia de la medusa "Bola de Cañón" (*Stomolophus meleagris*) al sur de Sonora, para el establecimiento de una pesquería sustentable. 40-98 p. Informe Final de Actividades. Guaymas, Sonora, México.
- López-Martínez, J., E. Herrera-Valdivia, N. Hernández-Saavedra, E. Serviere-Zaragoza, J. Rodríguez-Romero, C. H. Rábago-Quiroz, G. Padilla-Arredondo, S. Burrola-Sánchez, R. Morales-Azpeitia, S. Pedrín-Aviles, L. F. Enríquez-Ocaña, M. O. Nevárez-Martínez, A.

-
- Acevedo-Cervantes, J. Padilla-Serrato, E. Morales-Bojórquez y M. López-Tapia. 2012. Efectos de la pesca de arrastre del camarón en el Golfo de California. Síntesis de las investigaciones desarrolladas por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC. Efectos de la pesca de arrastre en el Golfo de California, 15-26.
- Liu, K. M., C. B. Wu, S. J. Joung, W. P Tsai y K. Y Su. 2021. Multi-model approach on growth estimation and association with life history trait for elasmobranchs. *Frontiers in Marine Science*, 8, 591692.
- Marinone, S. G., y M. F. Lavín. 1997. Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California. *Contribuciones a la oceanografía física en México. Monografía*, 3: 113-139.
- Márquez-Farías, J. F. 2007. Demografía del pez guitarra, *Rhinobatos productus* (Ayres, 1854), del Golfo de California. Tesis de Doctorado. CIBNOR, S. C. La Páz, B.C.S. 147 p.
- Matta, M. E., C. A. Tribuzio, D. A. Ebert, K. J. Goldman y C. M. Gburski. 2017. Age and growth of elasmobranchs and applications to fisheries management and conservation in the Northeast Pacific Ocean. *Advances in marine biology*, 77, 179-220.
- Medina-Trujillo, E. C. 2020. Pesquería y demografía de la guitarra blanca, *Pseudobatos productus*, en Bahía Sebastián Vizcaíno, México. Tesis de Doctorado. CICESE. Ensenada, B.C. 111 p.
- Meza-Castillo, J. 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, Oaxaca, México. 92p.
- Minte-Vera CV, MN Maunder, JM Casselman y SE Campana. 2016. Growth functions that incorporate the cost of reproduction. *Fisheries Research*, 180: 31–44 pp.
- Moore, A. B. 2017. Are guitarfishes the next sawfishes? Extinction risk and an urgent call for conservation action. *Endangered Species Research*, 34, 75-88.

-
- Murillo-Cisneros, D. A., T. M. O'Hara, J. M. Castellini, A. Sánchez-González, F. R. Elorriaga-Verplancken, A. J. Marmolejo-Rodríguez, E. Marín-Enríquez y F. Galván-Magaña. 2018. Mercury concentrations in three ray species from the Pacific coast of Baja California Sur, Mexico: variations by tissue type, sex and length. *Marine pollution bulletin*, 126, 77-85.
- Musick, J. A. (1999). Criteria to define extinction risk in marine fishes: the American Fisheries Society initiative. *Fisheries*, 24(12), 6-14.
- Natanson, L. J., G. B. Skomal, S. L. Hoffmann, M. E. Porter, K. J. Goldman y D. Serra. 2018. Age and growth of sharks: do vertebral band pairs record age? *Marine and Freshwater Research*.doi:10.1071/mf17279
- Okamura H., A. E. Punt, Y. Semba, y M. Ichinokawa. 2013. Marginal increment analysis: a new statistical approach of testing for temporal periodicity in fish age verification. *Journal of Fish Biology* 82: 1239–49.
- Paez-Osuna, F., S. Alvarez-Borrego, A. C. Ruiz-Fernández, J. Garcia-Hernandez, M. E. Jara-Marini, M. E. Bergés-Tiznado y J. R. Ruelas-Inzunza. 2017. Environmental status of the Gulf of California: a pollution review. *Earth-Science Reviews*, 166: 181-205.
- Pardo, S. A., y N. K. Dulvy. 2022. Body mass, temperature, and depth shape the maximum intrinsic rate of population increase in sharks and rays. *Ecology and Evolution*, 12(11), e9441.
- Ramírez-Amaro, S., y Galván-Magaña, F. 2019. Effect of gillnet selectivity on elasmobranchs off the northwestern coast of Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 172, 105-116.
- Reis, M. y Figueira, W. F. 2021. Age, growth and reproductive biology of two endemic demersal bycatch elasmobranchs: *Trygonorrhina fasciata* and *Dentiraja australis*

-
- (Chondrichthyes: Rhinopristiformes, Rajiformes) from Eastern Australia. *Zoologia (Curitiba)*, 37.
- Ricker, W.E., 1979. Growth rates and models. In: Hoar, W.S., Randall, D.J., Brett, J.R. (Eds.), *Fish Physiology*. Academic Press, New York, NY, pp. 677–743.
- Richards, F.J., 1959. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.* 10, 290–300.
- Salomón-Aguilar, C. A. 2015. Zonas prioritarias de conservación de rayas y mantarrayas en el noroeste del Pacífico mexicano. *Ciencia pesquera*, 23(2), 77-99.
- Sánchez-Cota, J., B. 2016. Edad y crecimiento de la raya mariposa, *Gymnura marmorata* (Cooper, 1864) en la porción sur de la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S. 121 p.
- Sandoval-Castillo, J., y L.B. Beheregaray. 2020. Oceanographic heterogeneity influences an ecological radiation in elasmobranchs. *Journal of Biogeography*, 47(7), 1599-1611.
- Santana-Morales, O., D. Cartamil, O. Sosa-Nishizaki, R. Zertuche-Chanes, E. Hernández-Gutiérrez y J. Graham. (2020). Artisanal elasmobranch fisheries of northwestern Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 46(1).
- Schnute, J., 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38, 1128–1140.
- Smart J. J., A. V. Harry, A. J. Tobin, y C. A. Simpfendorfer. 2013. Overcoming the constraints of low sample sizes to produce age and growth data for rare or threatened sharks. *aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems* 23: 124–34.

-
- Smart, J. J., A. Chin, A. J. Tobin y C. A. Simpfendorfer. 2016. Multimodel approaches in shark and ray growth studies: strengths, weaknesses and the future. *Fish and Fisheries*, 17(4), 955-971.
- Soto-Mardones, L., S. Marioni, y A. Pares-Sierra. 1999. Variabilidad espaciotemporal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 25(1): 1-30.
- Stevens, J. D., R. Bonfil, N. K. Dulvy, y P. A. Walker. 2000. The effects of fishing on sharks, rays, and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3), 476-494.
- Torres-Huerta, A. M., E. Cruz-Acevedo, P. E. Carrasco-Bautista, J. F. Meraz-Hernando, E. J. Ramírez-Chávez, M. Tapia-García y A. Gracia. 2019. Reproductive ecology of the witch guitarfish *Zapteryx xyster* Jordan & Evermann, 1896 (Chondrichthyes: Trygonorrhinidae) in the Gulf of Tehuantepec, Mexican Pacific. *Marine and Freshwater Research*, 71(7), 844-854.
- Tovar-Ávila J, K. C. Garcés-García y E. A. Zarza-Meza. 2014. Estimación del crecimiento del tiburón puntas negras, *Carcharhinus limbatus* del Golfo de México con un enfoque estocástico. *Ciencia pesquera*, 22(2): 19- 28 pp.
- Tovar-Ávila J, V. S. Troynikov, T. I. Walker y R. W. Day. 2009. Use of stochastic models to estimate the growth of the Port Jackson shark, *Heterodontus portusjacksoni*, off eastern Victoria, Australia. *Fisheries Research*, 95(2-3): 230-235.
- Troynikov, V. 1999. Use of Bayes theorem to Correct Size-specific Sampling Bias in Growth Data. *Bulletin of Mathematical Biology*, 61(2), 355-363. doi:10.1006/bulm.1998.0088
- Vázquez-Moreno, R.A. 2015. Hábitos alimentarios de la raya *Zapteryx exasperata* (Jordan & Gilbert, 1880) (Chondrichthyes: Rhinobatidae) de la zona de Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel. México. 74 p.

-
- Villavicencio-Garayzar, C.J. 1995. Biología Reproductiva de la guitarra pinta, *Zapteryx exasperata* (Pisces: Rhinobatidae), en Bahía Almejas, Baja California Sur, México. Ciencias Marinas. México. 21(2):141–153 p.
- von Bertalanffy, L., 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws II). Human Biol. 10, 181–213.
- Waltrick, D., C. Awruch, C y C. Simpfendorfer. 2012. Embryonic diapause in the elasmobranchs Reviews in Fish Biology and Fisheries 22, 849–859. doi:10.1007/S11160-012-9267-5
- Wourms, J. P., y L. S. Demski. 1993. The reproduction and development of sharks, skates, rays and ratfishes: introduction, history, overview, and future prospects. Environmental Biology of Fishes, 38(1-3), 7–21. doi:10.1007/bf00842899