



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

EDAD Y CRECIMIENTO DE LA RAYA GUITARRA
Pseudobatos glaucostigmus (JORDAN &
GILBERT, 1883) EN LA ZONA DE SANTA
ROSALÍA, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO.

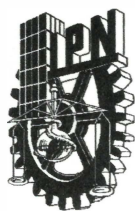
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN
CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

MAYRA LIZETH DILIEGROS VALENCIA

LA PAZ, B.C.S 2022



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-13
REP 2017

**ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS
Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS**

La Paz, B.C.S., a 15 de JULIO del 2021

El Colegio de Profesores de Posgrado de CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS en su Sesión
(Unidad Académica)

ORDINARIA No. 0-346-21 celebrada el día 09 del mes Julio de 2021 conoció la solicitud presentada por el (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	DILIEGROS	Apellido Materno:	VALENCIA	Nombre (s):	MAYRA LIZETH
-------------------	-----------	-------------------	----------	-------------	--------------

Número de registro: A 2 1 0 0 7 4

del Programa Académico de Posgrado: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Referente al registro de su tema de tesis; acordando lo siguiente:

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

“Edad y crecimiento de la raya guitarra *Pseudobatos glaucostigmus* (Jordan & Gilbert, 1883) en la zona de Santa Rosalía, Baja California Sur, México”

Objetivo general del trabajo de tesis:

Estimar la edad y crecimiento individual de *Pseudobatos glaucostigmus* en la zona de Santa Rosalía, Baja California Sur (BCS).

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Director: DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA

2° Director: DR. JAVIER TOVAR AVILA

No aplica: ☐

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

EL CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS - IPN

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

Director(a) de Tesis

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA

2° Director de Tesis (en su caso)

DR. JAVIER TOVAR AVILA

Aspirante

BM. MAYRA LIZETH DILIEGROS VALENCIA

Presidente del Colegio

DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN

NOMBRE DEL TRABAJO

EDAD Y CRECIMIENTO DE LA RAYA GUITARRA *Pseudobatos glaucostigmus* (JORDAN & GILBERT, 1883) EN LA ZONA

AUTOR

MAYRA LIZETH DILIEGROS VALENCIA

RECuento de palabras

18368 Words

Recuento de caracteres

99471 Characters

Recuento de páginas

68 Pages

Tamaño del archivo

1.4MB

Fecha de entrega

Nov 29, 2022 11:26 AM GMT-7

Fecha del informe

Nov 29, 2022 11:28 AM GMT-7

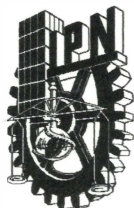
● 15% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 13% Base de datos de Internet
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14
REP 2017

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S. siendo las 12:00 horas del día 30 del mes de Noviembre del 2022 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS para examinar la tesis titulada: "Edad y crecimiento de la raya guitarra *Pseudobatos glaucostigmus* (Jordan & Gilbert, 1883) en la zona de Santa Rosalía, Baja California Sur, México" del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	DILIEGROS	Apellido Materno:	VALENCIA	Nombre (s):	MAYRA LIZETH
-------------------	-----------	-------------------	----------	-------------	--------------

Número de registro: A 2 1 0 0 7 4

Aspirante del Programa Académico de Posgrado: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 15% de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI NO ☒ SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN: *(Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)*

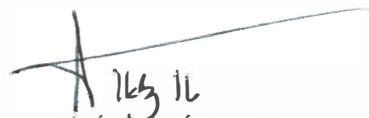
El documento mostró un 15% de similitud al extraerse la literatura citada y las coincidencias menores a 10 palabras. Por lo tanto, se concluye que el porcentaje de similitud fue adecuado.

****Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR ☒ SUSPENDER ☐ NO APROBAR ☐** la tesis por **UNANIMIDAD ☒ o MAYORÍA ☐** en virtud de los motivos siguientes:

"SATISFACE LOS REQUISITOS SEÑALADOS POR LAS DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS VIGENTES"

COMISIÓN REVISORA DE TESIS

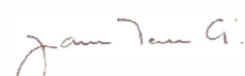

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA
Director de Tesis
Nombre completo y firma


DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA
Nombre completo y firma


DR. LEONARDO ANDRÉS ABITIA CÁRDENAS
Nombre completo y firma


DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO
Nombre completo y firma
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


I.P.N. CICIMAR DIRECCIÓN


DR. JAVIER TOVAR AVILA
Director de Tesis
Nombre completo y firma


DR. ULIANOV JAKES COTA
Nombre completo y firma



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA PARA DIFUSIÓN

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 05 del mes de Diciembre del año 2022

El (la) que suscribe BM. MAYRA LIZETH DILIEGROS VALENCIA Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A210074 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. AGUSTIN HERNÁNDEZ HERRERA y DR. JAVIER TOVAR AVILA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"EDAD Y CRECIMIENTO DE LA RAYA GUITARRA *Pseudobatos glaucostigmus*
(JORDAN & GILBERT, 1883) EN LA ZONA DE SANTA ROSALÍA, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expresado del autor y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes dirección(es) de correo: Mayradiliegros9@gmail.com - aherrera@ipn.mx -

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

BM. MAYRA LIZETH DILIEGORS VALENCIA

Nombre completo y firma autógrafa del (de la) estudiante

DEDICATORIA

Para ti, mi madre Silvia Valencia que siempre me motivaste y apoyaste a seguir mis sueños, gracias por nunca cortar mis alas, eres mi mayor inspiración para seguir adelante con mis proyectos y metas.

A Francisco J. Rivera Reséndiz, por apoyarme en este camino y siempre darme ánimos para seguir formándome profesionalmente.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la beca de Estimulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI) por el apoyo económico otorgado durante el tiempo de desarrollo de esta investigación.

A CICIMAR-IPN por permitirme seguir ampliando mi formación profesional.

A mi director de tesis, Dr. Agustín Hernández Herrera, gracias por su apoyo durante este trabajo.

A mi segundo director, Dr. Javier Tovar Ávila, gracias por confiar en mi nuevamente, por su tiempo invertido en mi tesis, su apoyo, sobre todo su paciencia hasta cuando ya no quería saber nada de mí. Gracias por compartir sus conocimientos y su amistad, siempre ha sido una gran experiencia trabajar a su lado.

Al Dr. Felipe Galván Magaña, gracias por aceptarme en su equipo de trabajo, proporcionar los datos para esta investigación y por ser parte de mi comité.

Al resto de mi comité tutorial: Dr. Leonardo Andrés Abitia Cárdenas y al Dr. Ulianov Jakes Cota, por sus comentarios y apoyo en el desarrollo de esta tesis.

Al M en C. Francisco Polanco, el roomie, gracias por tu amistad cuando llegué a la Paz, por esas pláticas nocturnas y chismesitos, tu apoyo y tus palabras de aliento cuando ya estaba muy estresada, gracias por tu amistad.

A mis amigas, M. en C. y futuras M. en C; Mariana, Einye, Ale, Amairani, Karla y Ossiris gracias por su amistad durante la maestría, fueron un gran apoyo, sin ustedes no hubiera sido lo mismo, conocerlas fue lo mejor que me paso durante la maestría, ¡las quiero mucho! Y gracias por su amistad.

Al Q.F.B. Francisco J. Rivera Reséndiz, gracias por tu apoyo incondicional, tu amor y paciencia, cuando ya no podía más, siempre estuviste para mí, gracias por creer en mí y ser mi compañero en esta vida.

Al C. a Doctor Luis Daniel Colin Carrillo, gracias por tu amistad y apoyo cuando tenía dudas.

INDICE

INDICE DE TABLAS	IV
INDICE DE FIGURAS	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	1
<i>Estimación de edad y crecimiento</i>	3
<i>Modelos de crecimiento y enfoque multimodelo</i>	4
ANTECEDENTES	5
<i>Estudios realizados en América Latina</i>	5
<i>Estudios realizados en el Pacífico Mexicano</i>	5
JUSTIFICACIÓN.....	8
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
MATERIAL Y MÉTODOS.....	10
Área de estudio	10
Obtención de muestras	12
Procesamiento de muestras.....	13
Análisis de datos	15
Precisión y sesgo.....	15
Verificación de la periodicidad en las bandas de crecimiento.....	16
Estimación de edad.....	16
Retrocálculo.....	17
Modelos de crecimiento con enfoque determinístico	17
RESULTADOS	20
Composición de captura.....	20
Estructura de tallas	21
Relación talla y tamaño de la vértebra	22
Precisión y sesgo.....	23
Verificación de la periodicidad en las bandas de crecimiento.....	25
Estimación de los parámetros de crecimiento	30
DISCUSIÓN	33

<i>Composición de tallas y la distribución temporal de las hembras</i>	33
<i>Relación entre la talla-radio vertebral</i>	35
<i>Precisión y sesgo de los conteos</i>	36
<i>Periodicidad de la formación de bandas de crecimiento</i>	36
<i>Estructura de edades</i>	38
<i>Modelos de crecimiento e inferencia multimodelo</i>	39
<i>Retrocálculo</i>	44
CONCLUSIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de los coeficientes de variación (CV) de los conteos de las bandas de crecimiento de <i>P. glaucostigmus</i>	23
Tabla 2. Comparaciones múltiples del IM (Incremento Marginal) para cada mes mediante la prueba <i>post-hoc</i> de Games-Howell.....	27
Tabla 3. Criterio de información de Akaike (AIC) de la distribución circular a los valores de incremento marginal que se realizó para las vértebras de <i>P. glaucostigmus</i> . Donde los modelos N= no cíclico, A= un ciclo (anual) y B= dos ciclos (bianual).	27
Tabla 4. Intervalos de tallas (LT) en cm por grupo de edades estimadas observadas y retrocalculadas, $\bar{x}$ = promedio, DE= desviación estándar de <i>P. glaucostigmus</i>	29
Tabla 5. Parámetros de crecimiento de las hembras de <i>P. glaucostigmus</i> en Santa Rosalía, BCS, estimados mediante 3 modelos y sus variantes (dos y tres parámetros), donde, θ = número de parámetros, k y g = coeficiente de crecimiento (años ⁻¹), L_0 = longitud de nacimiento, L_∞ = longitud asintótica, AIC= Criterio de información de Akaike, Δi = diferencias de Akaike, ωi = peso de Akaike; los valores en negro representan los mejores pesos de AIC y los que tienen sombra gris los modelos con soporte estadístico.	30
Tabla 6. Valores promedio de los parámetros L_∞ y L_0 de los modelos que tuvieron soporte estadístico en los escenarios 1 y 2, obtenidos mediante la inferencia multimodelo.....	31
Tabla 7. Longitudes totales (LT) reportadas en estudios previos de <i>P. glaucostigmus</i> . ..	33
Tabla 8. Comparación de parámetros de crecimiento estimados para <i>P. glaucostigmus</i> y <i>P. productus</i> en diferentes regiones de México.....	43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Pseudobatos glaucostigmus</i> (Last et al., 2016).....	2
Figura 2. Esquema de corte T) transversal y L) longitudinal de una vértebra (tomado de Calliet et al.,1983).....	4
Figura 3. Zona de estudio, incluyendo puntos de muestreo.....	10
Figura 4. Medidas morfométricas obtenidas de cada organismo de <i>Pseudobatos glaucostigmus</i> y zona donde se extrajeron las vértebras.....	12
Figura 5. A) Vértebras de <i>Pseudobatos glaucostigmus</i> montadas en madera, B) Cortadora de baja velocidad Isomet (Buhler), C) Microscopio estereoscopio, Zeiss® Modelo Stereo Discovery V12.....	13
Figura 6. Sección longitudinal de una vértebra de <i>Pseudobatos glaucostigmus</i> , tomada con luz reflejada y aumento de 18 X (Hembra de 76 cm de LT), indicando las medidas que fueron registradas para el análisis de edad e IM. F: foco; MN: Marca de nacimiento; R: radio de la vértebra; R _n : radio de la última banda translúcida completamente formada; R _{n-1} : radio de la penúltima banda translúcida.	14
Figura 7. Frecuencia de organismos de <i>Pseudobatos glaucostigmus</i> capturados por mes de 2017—2020.....	20
Figura 8. Distribución de tallas por sexos de los individuos de <i>Pseudobatos glaucostigmus</i> capturados por la pesquería artesanal en la zona de Santa Rosalía, B.C.S, México. Hembras=364 y Machos=6.....	21
Figura 9. Distribución de tallas por sexo de los individuos de <i>Pseudobatos glaucostigmus</i> utilizados para la estimación de edad y descripción de crecimiento (Hembras=206 y Machos=4).....	22
Figura 10. Relación entre el radio de vértebra (RV) y la longitud total de las hembras de <i>Pseudobatos glaucostigmus</i>	23
Figura 11. Gráfico de sesgo entre los conteos de las bandas de crecimiento en las vértebras de <i>Pseudobatos glaucostigmus</i> intra-lector del lector 1.....	24
Figura 12. Gráfico de sesgo entre los conteos de las bandas de crecimiento en las vértebras de <i>Pseudobatos glaucostigmus</i> intra-lector del lector 2.....	24
Figura 13. Gráfico de sesgo entre los conteos de las bandas de crecimiento en las vértebras de <i>Pseudobatos glaucostigmus</i> inter-lector (Lector 1 y Lector 2) (2da lectura).....	25
Figura 14. Frecuencia de bordes translúcidos (B.T) y opacos observados (B.O) en las vértebras de <i>Pseudobatos glaucostigmus</i> con respecto al mes de captura. Los números sobre las barras indican el número de muestras analizadas por mes.....	26
Figura 15. Incremento marginal promedio por mes en las vértebras de <i>Pseudobatos glaucostigmus</i> . Las barras representan el error estándar y los valores el número de muestras analizadas por mes, la línea punteada representa la temperatura superficial del mar (TSM) promedio.....	26

Figura 16. Estructura de edades para hembras (n=206) y machos (n=4) de *Pseudobatos glaucostigmus* capturados en la pesquería artesanal de la zona de Santa Rosalía, B.C.S. México.....28

Figura 17. Modelos de crecimiento ajustados a los datos de longitud a la edad obtenidos de los conteos de las bandas de crecimiento de los cortes vertebrales de las hembras de *Pseudobatos glaucostigmus*: A) Escenario 1: edades observadas, B) Escenario 2: edades observadas con ajuste de edad, C) Escenario 3 (retrocalcula y edades observadas con ajuste de edad).....32

GLOSARIO

Bandas de crecimiento: Banda concéntrica presente en la vértebra conformada por una banda opaca y una translúcida, utilizada para asignar grupos de edad a los organismos.

Banda opaca: Región o zona de la vértebra con mayor densidad (mayor concentración de carbonatos) que impide el paso de la luz, se encuentra asociada a periodos de crecimiento rápido y se tiende a depositar en meses cálidos (Cailliet y Goldman, 2004).

Banda translúcida: Región o zona de la vértebra con menor densidad que permite el paso de la luz, se encuentra asociada a periodos de crecimiento lento y se tiende a depositar en meses fríos (Cailliet y Goldman, 2004).

Coefficiente de Variación: Error estándar de una estadística, dividido por su estimación, da una idea de la precisión de una estimación, con independencia de su magnitud.

Corpus calcareum: Zona de la vértebra en la vertebra de los elasmobranquios que se encuentra más calcificada y en un corte longitudinal es la parte más externa (Ashley y Chiasson, 1988).

Crecimiento: Incremento en el tamaño de un organismo, ya sea en talla o en peso.

Edad: Tiempo que un organismo ha vivido, desde el nacimiento hasta el momento en que se determina su edad.

Foco: Parte central de la vértebra (Wilson *et al.*, 1983).

Grupo de edad: Grupo de individuos con una edad determinada.

Incremento Marginal: Método que se encarga evaluar la temporalidad de formación de las marcas de crecimiento en estructuras duras como vértebras, espinas, escamas, etc.

Intermedialia: Zona de la vértebra con menor calcificación y en un corte longitudinal es la parte interna (Ashley y Chiasson, 1988).

Marca de nacimiento: Primer banda o marca que se forma en la vértebra generalmente luego del nacimiento del individuo se encuentra más próxima al foco y se puede observar un cambio en el eje del crecimiento de la vértebra.

Precisión: Es la repetición de las mediciones en una misma estructura (Panfili *et al.*, 2002)

Retrocálculo: Estimación de longitudes que tuvieron los individuos en épocas pasadas, mediante el uso de relaciones morfométricas existentes entre el tamaño del cuerpo y las estructuras duras usadas para la determinación de la edad (Ej. Vértebra).

Tasa de crecimiento: Medida del cambio en el tamaño de un organismo en función del tiempo.

RESUMEN

La raya guitarra (*Pseudobatos glaucostigmus*) es capturada frecuentemente en la pesquería artesanal de Santa Rosalía, B.C.S., catalogada como vulnerable por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). En el presente estudio se estimó la edad y se describió el crecimiento individual de la especie en la región. Se analizaron 370 organismos capturados durante el periodo de 2017–2020 (364 hembras y 6 machos). El segundo semestre de cada año hubo una mayor representación de muestras, no se obtuvieron muestras en la temporada de veda (mayo-julio), ni el mes de enero. El intervalo de longitud total (LT) fue de 52–80 cm para hembras (Promedio= 66.61 $\pm$ 4.45 cm) y de 54–59 cm para machos (Promedio= 58.3 $\pm$ 5.88 cm). La edad se estimó mediante el conteo de bandas de crecimiento en vértebras de 206 hembras y 4 machos capturados por la pesquería artesanal. Los cortes de las vértebras tuvieron un grosor de $\sim$ 300 μ y las imágenes fueron observadas con luz reflejada y con un aumento de 18x–20x. Se encontró una relación lineal significativa ($R^2=0.82$, $p<0.05$, $n=206$) entre la LT y el radio de la vértebra de los organismos. Los conteos de las bandas de crecimiento efectuadas intralector e interlector mostraron alta precisión (Coeficiente de Variación= 2.25% y 5.20% respectivamente), no encontrándose sesgo sistemático entre los conteos de acuerdo con la prueba de simetría de McNemar ($p<0.05$). El menor incremento marginal y mayor frecuencia de bordes opacos se observó en verano y otoño, así como la mayor frecuencia de bordes translúcidos y mayor incremento fue durante invierno y primavera. El modelo de periodicidad anual se ajustó mejor a los datos, lo cual sugiere la formación anual de las bandas. El intervalo de edades para las hembras fue de 5–12 años (Promedio= 8.10 $\pm$ 1.61 años) y para los machos 5–7 años (Promedio=5.25 $\pm$ 0.5 años). Los modelos sigmoideos (Logístico y Gompertz de tres parámetros) (Escenario tres) describieron de manera más adecuada el crecimiento de las hembras de la especie, siendo los parámetros de crecimiento para las hembras ($L_{\infty} = 78.34, 83.04$ cm, $k=0.34, 0.23$ año⁻¹, $L_0 = 22.2, 20.54$ cm) respectivamente. *Pseudobatos glaucostigmus* presenta un crecimiento moderado entre los elasmobranchios, mayor a lo reportado previamente para la especie en otra zona. Estas diferencias podrían deberse a las distintas tallas y zonas de muestreo, métodos de captura o a diferencias poblacionales reales relacionadas con la presión por la pesca a la que ha sido sometida la población, así como a factores ambientales.

Palabras clave: Bandas de crecimiento, pesquería artesanal, crecimiento individual

ABSTRACT

The guitar ray (*Pseudobatos glaucostigmus*) is frequently captured in the artisanal fishery of Santa Rosalía, B.C.S., listed as vulnerable by the International Union for Conservation of Nature (IUCN). In the present study, the age was estimated and the individual growth of the species in the region was described. 370 organisms captured during the period 2017–2020 (364 females and 6 males) were analyzed. The second semester there was a greater representation of samples, no samples were obtained in the ban season (May–July), nor in the month of January. The total length (TL) range was 52–80 cm TL for females (Mean= 66.61 and ± 4.45 cm) and 54–59 cm TL for males (Mean= 58.3 and ± 5.88 cm). Age was determined by counting growth bands in vertebrae of organisms captured by the artisanal fishery of 206 females and four males. Vertebrae slices were $\sim 300\mu$ thick and images observed with reflected light at 18x–20x magnification. A significant linear relationship ($R^2=0.82$, $p<0.05$, $n=206$) was found between the TL and the radius of the vertebra of the organisms. The highest marginal increase and highest frequency of opaque edges was observed in summer and autumn, as well as the highest frequency of translucent edges and lowest increase was observed during winter and spring. The annual periodicity model was a better fit to the data, which suggests the annual formation of the bands. The age range for females was 5–12 years (Mean= 8.10 ± 1.61 years) and for males 5–7 years (Mean= 5.25 ± 0.5 years). The sigmoid models (Logistic and Gompertz of three parameters) (Scenario three) more adequately described the growth of the females of the species, being the growth parameters for the females ($L_{\infty} = 78.34, 83.04$ cm, $k=0.34, 0.23 \text{ year}^{-1}$, $L_0 = 22.2, 20.54$ cm). *Pseudobatos glaucostigmus* shows moderate growth among elasmobranchs, higher than previously reported for the species in another area. These differences could be due to the different sizes and sampling areas, capture methods or to real population differences related to the fishing pressure that the population has been subjected to, as well as to environmental factors.

Keywords: growth bands, artisanal fishery, individual growth

INTRODUCCIÓN

Los tiburones y rayas (elasmobranquios) son capturados en México por diversas pesquerías de manera dirigida, incluyendo embarcaciones ribereñas artesanales, mediana altura y de altura, siendo uno de los recursos pesqueros más importantes a nivel nacional. Otras pesquerías capturan también incidentalmente cantidades significativas de elasmobranquios, como son las pesquerías de camarón, atún y pez espada (CONAPESCA, 2018).

Los desembarques de elasmobranquios de los estados con costa en el golfo de California (Sonora, Baja California, Baja California Sur y Sinaloa) están representados por 27 especies de tiburón y 23 de rayas de importancia pesquera, donde las familias más representativas de la producción total de rayas son: Rhinobatidae, Dasyatidae, Gymnuridae y Rhinopteridae (Márquez-Farías y Blanco-Parra, 2006). La pesquería artesanal de rayas (batoideos) en el Golfo de California comenzó a desarrollarse hace varias décadas (Márquez-Farías y Blanco-Parra, 2006), y su captura sigue en incremento hasta la fecha (CONAPESCA, 2018). La pesquería ribereña artesanal de batoideos del estado de Baja California Sur (B.C.S.), se ubica en el tercer lugar a nivel nacional, con 16.8% de las 9,483 toneladas registradas para México (CONAPESCA, 2018).

Debido a que sus historias de vida los proveen con baja productividad biológica y la alta susceptibilidad de algunas especies a ser capturadas, es posible que algunas poblaciones de elasmobranquios estén siendo fuertemente impactadas por la pesca. El impacto antropogénico ha llevado a varias especies a ser consideradas como amenazadas por organismos internacionales (IUCN 2009). No obstante, el potencial de algunos tiburones a ser explotados de manera sustentable ha sido reconocido, requiriéndose para ello reunir información biológica y pesquera suficiente para establecer medidas de manejo adecuadas (Walker, 1998a).

Las rayas del orden Rhinopristiformes, conocidas por su linaje ancestral debido a sus características biológicas (Blanco-Parra *et al.*, 2009) se conforman por al menos cinco familias actuales Trygonorrhinidae, Rhinidae, Glaucostegidae, Pristidae y Rhinobatidae (Last *et al.*, 2016), en esta última se ubican a las rayas guitarra con al menos dos géneros presentes en el Pacífico Mexicano. Los rhinobatidos se caracterizan por una cabeza con

forma triangular fusionada con las aletas pectorales el resto del cuerpo alargado, con dos aletas dorsales, cola ancha y musculosa y punta heterocercada, son de tamaño medio a grande. Todo su desarrollo embrionario se lleva a cabo dentro del útero, sin tener conexión directa con la madre, el embrión se alimenta sólo de su saco vitelino hasta consumirlo en su totalidad y llegado el momento son expulsados por la madre, siendo por tanto vivíparos aplacentados (Hamlett, 2005). Viven normalmente enterrados en los fondos arenosos y pueden encontrarse en profundidades desde 1 a 112 m (Bizzarro, 2016).

La familia Rhinobatidae comprende tres géneros y 31 especies a nivel mundial (Last *et al.*, 2016). Las cuatro especies más abundantes de la familia Rhinobatidae, dentro de la pesca dirigida o incidental son: *Zapteryx xyster* (Jordan y Evermann, 1896), *Z. exasperata* (Jordan y Gilbert, 1880), *Pseudobatos productus* (Ayres, 1854) y *P. glaucostigmus* (Jordan y Gilbert, 1883), las cuales se encuentran presentes en el Golfo de California (Bizzarro *et al.*, 2009).

La raya guitarra pinta o moteada, *Pseudobatos glaucostigmus*, es una especie que habita en aguas someras, se les puede encontrar hasta los 80 m de profundidad y tiene preferencia por fondos blandos. Se alimenta principalmente de invertebrados bentónicos como camarones, estomatópodos, cangrejos y en menor medida de peces (Valadez-González, 2007; Navarro-González *et al.*, 2012; Rosa-Meza *et al.*, 2013). Las zonas productivas donde habita son justamente donde se desarrollan importantes pesquerías artesanales en la región, las cuales operan con diversos sistemas de captura en donde se captura directa e indirectamente *P. glaucostigmus* y otras especies de batoideos (Lara-Mendoza, 2016) (Fig.1).

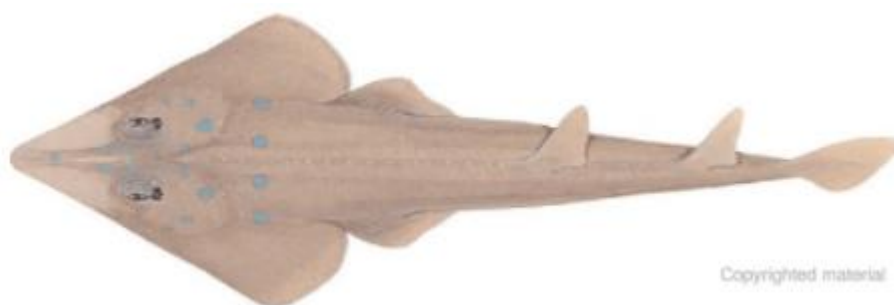


Figura 1. *Pseudobatos glaucostigmus* (Last *et al.*, 2016).

La mayoría de los estudios de biología de las rayas pertenecientes al orden Rhinopristiformes para México se han llevado a cabo en la especie *P. productus* (Villavicencio–Garayzar, 1993; Downton–Hoffmann, 1996; Sandoval-Castillo *et al.*, 2004, Márquez-Farías, 2007, Medina-Trujillo, 2021). *Pseudobatos glaucostigmus* es una de las especies de batoideos más comunes de la pesca artesanal en Santa Rosalía, B.C.S. En la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) *P. glaucostigmus* se encuentra en la categoría de vulnerable (VU) (Pollom *et al.*, 2020), a pesar de su importancia pesquera, actualmente no existe suficiente información biológico-pesquera que permita determinar el estado actual de sus poblaciones en México y la información detallada sobre la historia de vida de esta especie y las estimaciones de edad son escasas.

Estimación de edad y crecimiento

Los estudios de edad y crecimiento son un componente fundamental de la historia de vida de una especie y nos permite estimar otros parámetros demográficos esenciales como son: tasa de crecimiento poblacional, tasa de mortalidad, productividad biológica, edad de madurez, longevidad, reclutamiento, entre otros, para un efectivo manejo de pesquerías (Cailliet *et al.*, 2001, Goldman, 2004). Dichos parámetros permiten incorporarlos a modelos cuantitativos de evaluación pesquera, así como en evaluaciones de riesgo ecológico que permiten determinar de manera cualitativa el grado de afectación que representa capturar estas especies de manera incidental por otras pesquerías (Walker, 2004).

La edad se puede estimar mediante diversos métodos, como el análisis de tallas o a partir de diferentes estructuras duras, incluyendo las vértebras o espinas dorsales, generalmente mediante el conteo de pares de bandas de crecimiento, la cual es una de las técnicas más comunes para la estimación de edad en elasmobranquios ya que una de sus ventajas es su bajo costo (Cailliet y Goldman, 2004; Goldman *et al.*, 2012). Para la observación de las bandas de crecimiento se realizan comúnmente cortes transversales o longitudinales en las vértebras que faciliten el conteo de bandas a través de un microscopio (Cailliet y Goldman, 2004) (Fig. 2).

Las bandas de crecimiento pueden ser correlacionadas con fluctuaciones ambientales que afectan el crecimiento del pez. La banda opaca se ha asociado con un crecimiento rápido

del organismo formándose en primavera y verano, mientras que la banda translúcida representa un crecimiento lento formado en otoño e invierno (Goldman, 2004, Campana, 2014).

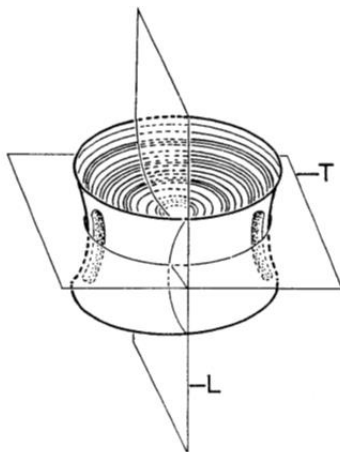


Figura 2. Esquema de corte T) transversal y L) longitudinal de una vértebra (tomado de Cailliet *et al.*, 1983).

Modelos de crecimiento y enfoque multimodelo

Existen diversos modelos para describir el crecimiento, hace algunos años era común adoptar *a priori* uno de esos modelos, generalmente el modelo tradicional de crecimiento de von Bertalanffy de tres parámetros (Katsanevakis y Maravelias, 2008), ya que está basado en dos procesos biológicos importantes (anabolismo y catabolismo) (Cailliet y Goldman, 2004). Sin embargo, dicho modelo no siempre refleja de la mejor manera el crecimiento de los elasmobranquios. Por tanto, es necesario explorar modelos alternativos (Smart *et al.*, 2016), como el modelo de Gompertz, el Logístico (Ricker, 1975) entre otros, los cuales pueden proporcionar resultados diferentes para los mismos datos (Chen *et al.*, 1991). El enfoque e inferencia multimodelo son actualmente herramientas comúnmente utilizadas para la comparación y selección del modelo más conveniente para describir el crecimiento de una especie, de manera que el valor obtenido de los parámetros tenga un mayor sentido biológico (Burnham y Anderson, 2002).

En este contexto en el presente trabajo se planteó el objetivo de estimar y describir el crecimiento de *P. glaucostigmus* en la zona de Santa Rosalía, B.C.S, mediante la comparación de un conjunto de modelos de crecimiento (enfoque multimodelo), seleccionar el modelo que mejor describa adecuadamente el comportamiento de los datos.

ANTECEDENTES

Estudios realizados en América Latina

La edad y crecimiento de tres especies endémicas *Pseudobatos horkelii*, *P. percellens* y *Zapteryx brevirostris* del sureste de Brasil fueron estimados mediante el conteo de marcas de crecimiento en vértebras. Se aplicó el análisis de bordes y análisis de incremento marginal para evaluar la periodicidad de la formación de pares de bandas, la cual sugirió la formación de un par de bandas por año, desde finales del invierno hasta finales de la primavera. Se utilizó el modelo de crecimiento de von Bertalanffy para describir el crecimiento de estas especies con los siguientes parámetros estimados para sexos combinados: $L_{\infty} = 126.93$, $k = 0.19$ y $t_0 = -1.51$ para *P. horkelii*; ($n=118$, 45.5–100 cm de LT); $L_{\infty} = 109.31$, $k = 0.16$ y $t_0 = -1.78$ para *P. percellens*; ($n=318$, 50–70 cm de LT); $L_{\infty} = 60.37$, $k = 0.24$ y $t_0 = -1.42$ para *Z. brevirostris*; ($n=388$, 40–70 cm de LT) (Caltabellotta, 2019).

Estudios realizados en el Pacífico Mexicano

Se estimaron los parámetros poblacionales, biología reproductiva y descripción de pesquería de *P. productus*, en la parte central del Golfo de California, por medio del análisis de las capturas de la pesquería artesanal en las principales localidades de Sonora de 1998 a 2005 y de la captura incidental de cruceros de investigación de arrastre de camarón conducidos por el INAPESCA. La estructura de edades fue estimada a partir de las vértebras de 65 hembras y 68 machos, con un intervalo de LT de 26.0–62.0 cm (0–8 años) y 21.0–89.5 cm de LT (0–10 años) para machos y hembras respectivamente, los modelos que tuvieron el mejor ajuste fueron, para los machos el de von Bertalanffy bayesiano de tres parámetros ($L_{\infty}=62.9$ cm LT, $k= 0.44\text{año}^{-1}$) y para las hembras el de Gompertz bayesiano de tres parámetros ($L_{\infty}=90.4$ cm LT, $k= 0.18 \text{ año}^{-1}$), donde se aprecia que estas crecen más grandes y son más longevas que los machos (Márquez-Farías, 2007).

La biología de *P. productus* también ha sido descrita en la costa occidental de B.C.S. (Laguna de San Ignacio, Bahía Almejas y Bahía Magdalena), donde se observó que las hembras fueron más grandes que los machos. La composición de tallas fue de 35–142 cm LT para las hembras y de 70–90 cm de LT para los machos, con una talla de nacimiento estimada entre 20 a 24 cm LT. La edad fue estimada a partir del conteo de bandas de crecimiento en las vértebras. Las hembras tuvieron una estructura de edades de 0–16 años y

los machos de 0–11 años. Los parámetros estimados del modelo de crecimiento de von Bertalanffy obtenido a partir del análisis de los datos edad-longitud total fueron los siguientes: $L_{\infty}=100.5$, $k=0.24$, $t_0=-0.83$ para machos y $L_{\infty}=136.69$, $k=0.16$, $t_0=-0.83$ para hembras (Downton-Hoffmann, 2007).

En la Bahía Sebastián Vizcaíno, México, se describió el crecimiento de *P. productus*, siendo una de las zonas a nivel nacional en donde se pesca esta especie de manera importante en la pesquería artesanal de elasmobranquios. Asumiendo que la formación de bandas de crecimiento ocurre anualmente, las edades estimadas en esta zona fueron de 0–15 y 0–24 años para machos y hembras, respectivamente. Los valores de los parámetros de crecimiento estimados fueron $L_{\infty}=138.1$ cm y $k=0.16$ cm año⁻¹ para las hembras y $L_{\infty}=99.9$ cm y $k=0.29$ cm año⁻¹ para los machos, siendo el modelo de von Bertalanffy de dos parámetros el que mejor se ajustó a los datos (Medina-Trujillo, 2021).

Por medio del descarte de la pesquería de camarón a lo largo del litoral de los estados de Sonora y Sinaloa se determinó la biología, ecología y demografía de *P. glaucostigmus*. En total se muestrearon 2068 organismos, de los cuales 1073 fueron hembras (16–89.8 cm LT) y 995 machos (17–77 cm LT). Entre los resultados más relevantes se reportó que esta especie presenta un ciclo reproductivo anual con una proporción sexual de 1:1 (H:M), con diferencias en la talla media de madurez entre sexos ($L_{50\%}=52.58$ cm LT para hembras y $L_{50\%}=50.72$ cm LT para machos). En cuanto a la edad y crecimiento se determinó que, a partir del conteo de las bandas de crecimiento presentes en cortes vertebrales, las hembras tuvieron entre 0–21 años y los machos de 0–14 años. El crecimiento fue estimado mediante el enfoque determinístico y bayesiano usando el modelo de von Bertalanffy y Gompertz con tres variaciones para su ajuste. De acuerdo con el Criterio de Información de Akaike (AIC por las siglas en inglés), el mejor modelo ajustado de acuerdo con los datos fue el de Gompertz con L_0 estimada y enfoque bayesiano, los cuales fueron $L_{\infty}=108.9$ cm, $L_0=20.94$ cm, $k=0.10$ año⁻¹ para las hembras, $L_{\infty}=67.8$ cm, $L_0=20.31$ cm, $k=0.19$ año⁻¹ para los machos (Lara-Mendoza, 2016).

Para la zona de la entrada del Golfo de California (Sur de Sinaloa y norte de Nayarit), *P. glaucostigmus* fue una de las especies con mayor frecuencia de aparición en la captura incidental durante prospecciones de camarón. Se determinó la estructura de edades y tallas

de individuos de la especie capturados en el periodo de (2011-2016), utilizando 202 hembras (15–85.5 cm de LT) y 248 machos (14–75 cm de LT). La proporción de machos en las capturas fue significativamente mayor que la de las hembras (1H:1.22M, $p<0.05$), las edades estimadas fueron de 0–15 años para las hembras y de 0–12 años para los machos (López-López, 2018).

Se analizaron y describieron los parámetros reproductivos de *P. glaucostigmus* capturado en la pesquería artesanal en la zona de Santa Rosalía, Baja California Sur (B.C.S.), el periodo de muestreo fue de octubre 2017 a febrero 2020, obteniendo una composición de tallas entre los 52 y 80 cm LT de 287 organismos adultos de ambos sexos. La proporción sexual de adultos fue de 58.25H:1M, mientras que el análisis de los embriones, se observó una proporción de 1H:1M. La fecundidad estimada fue baja, siendo de cuatro a ocho embriones por camada. De agosto a octubre se encontraron embriones en diferentes fases de desarrollo, las hembras tuvieron huevos fecundados todo el año, señal de una posible diapausa embrionaria (Martínez-Riveaux, 2021).

Por medio de las capturas de la pesquería artesanal en el archipiélago Espíritu Santo, B.C.S, México, se estimó la riqueza y abundancia relativa (expresada en CPUE), de 15 especies de batoideos desde octubre del 2013 a diciembre de 2015. *Pseudobatos glaucostigmus* fue una de las especies adicionada a los listados ictiofaunísticos existentes para la Isla Espíritu Santo, convirtiendo a la isla de mayor riqueza específica de batoideos en el Golfo de California. La especie presentó un intervalo de tallas de 59.5–75 cm de LT (González-González *et al.*, 2020).

La distribución de tallas de *P. glaucostigmus* capturados incidentalmente durante prospecciones de camarón en la entrada del Golfo de California, del 2011–2017, fue de 14–82 cm de LT y proporción sexual (1H:1M). La captura estuvo principalmente representada por machos y hembras juveniles. La talla de primera madurez reportada para las hembras fue de 62.88 cm y 55.65 cm LT para los machos. La mayor abundancia de individuos de ambos sexos se encontró a partir de los 12 metros de profundidad (Garcés-García *et al.*, 2020).

JUSTIFICACIÓN

Los elasmobranquios en general se caracterizan por un potencial de reproducción bajo, tasa de crecimiento individual lenta, tasas de fecundidad bajas, largos periodos de gestación y madurez sexual tardía (Holden, 1977; Stevens *et al.*, 2000).

Las pesquerías mexicanas en su mayoría carecen de información detallada sobre el ciclo de vida de los elasmobranquios y la composición específica de las capturas (Smith *et al.*, 2009). Debido a esto y a sus características de vida los elasmobranquios (tiburones y rayas) son susceptibles a la presión por la pesca (Ramírez-Amaro *et al.*, 2013). Por lo cual, en situaciones de sobreexplotación se podría llegar a ocasionar problemas como: disminución de población, alteraciones de la red trófica etc., problemas socioeconómicos, ya que, la pesquería de rayas en las costas de Baja California, incluyendo el Golfo de California la pesca artesanal es una de las pesquerías que capturan mayor diversidad de especies de elasmobranquios siendo una actividad de gran importancia en la región y fuente valiosa de generación de empleos (INAPESCA, 2016)

Pseudobatos glaucostigmus es una especie que frecuentemente se encuentra cercana a la costa de Baja California Sur y es una de las principales especies capturada en la pesquería artesanal de elasmobranquios en la zona de Santa Rosalía.

Por lo que el presente trabajo tiene como principal objetivo estimar la edad y describir el crecimiento de *P. glaucostigmus*, con el fin de contribuir información que ayude a comprender la dinámica poblacional de la especie en la zona y generar herramientas que puedan ser útiles para el manejo sustentable de los recursos marinos. Existen pocos estudios que estiman la edad de *P. glaucostigmus* (Lara-Mendoza, 2016; López-López, 2018) y describen el crecimiento de la especie en México (Lara-Mendoza, 2016). Sin embargo, la amplia distribución de la especie en el Golfo de California y Pacífico Mexicano indica la necesidad de estimar y comparar los parámetros de crecimiento de diversas zonas de su distribución. Asimismo, es necesaria la aplicación del enfoque multimodelo en esta especie de raya con el fin de obtener estimaciones de mayor confiabilidad a partir de la comparación de diversos modelos, que permita seleccionar el que describa de mejor manera el crecimiento de la especie.

OBJETIVOS

Objetivo general

Estimar la edad y crecimiento individual de *Pseudobatos glaucostigmus* en la zona de Santa Rosalía, Baja California Sur (B.C.S.).

Objetivos específicos

1. Describir la estructura de tallas y proporción de sexos de *P. glaucostigmus* capturado por la pesquería artesanal de Santa Rosalía, B.C.S.
2. Determinar la relación entre el tamaño de la vértebra y la talla de *P. glaucostigmus* capturado por la pesquería artesanal de Santa Rosalía, B.C.S.
3. Verificar la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento de *P. glaucostigmus* capturado por la pesquería artesanal de Santa Rosalía, B.C.S.
4. Describir la estructura de edades de *P. glaucostigmus* capturado por la pesquería artesanal de Santa Rosalía, B.C.S.
5. Estimar los parámetros de crecimiento individual de *P. glaucostigmus* capturado por la pesquería artesanal de Santa Rosalía, B.C.S mediante un enfoque multimodelo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El Golfo de California (GC) es una cuenca oceánica semi-cerrada ubicada entre la Península de Baja California (BC) y la región continental de México en el Pacífico Oriental Tropical. Su extensión es de aproximadamente 150 km de ancho y 1100 km de largo, con profundidades que varían desde un promedio de 200 m en la parte superior a 3600 m en la boca (Jiménez *et al.*, 2005). El área de estudio se encuentra ubicada enfrente de las localidades de San Bruno, Santa Rosalía y Punta Chivato, en la parte central de la costa oriental de Baja California Sur (BCS) ($27^{\circ} 20' N$, $112^{\circ} 16' O$) (Rodríguez-Figueroa, 2004) (Fig. 3).

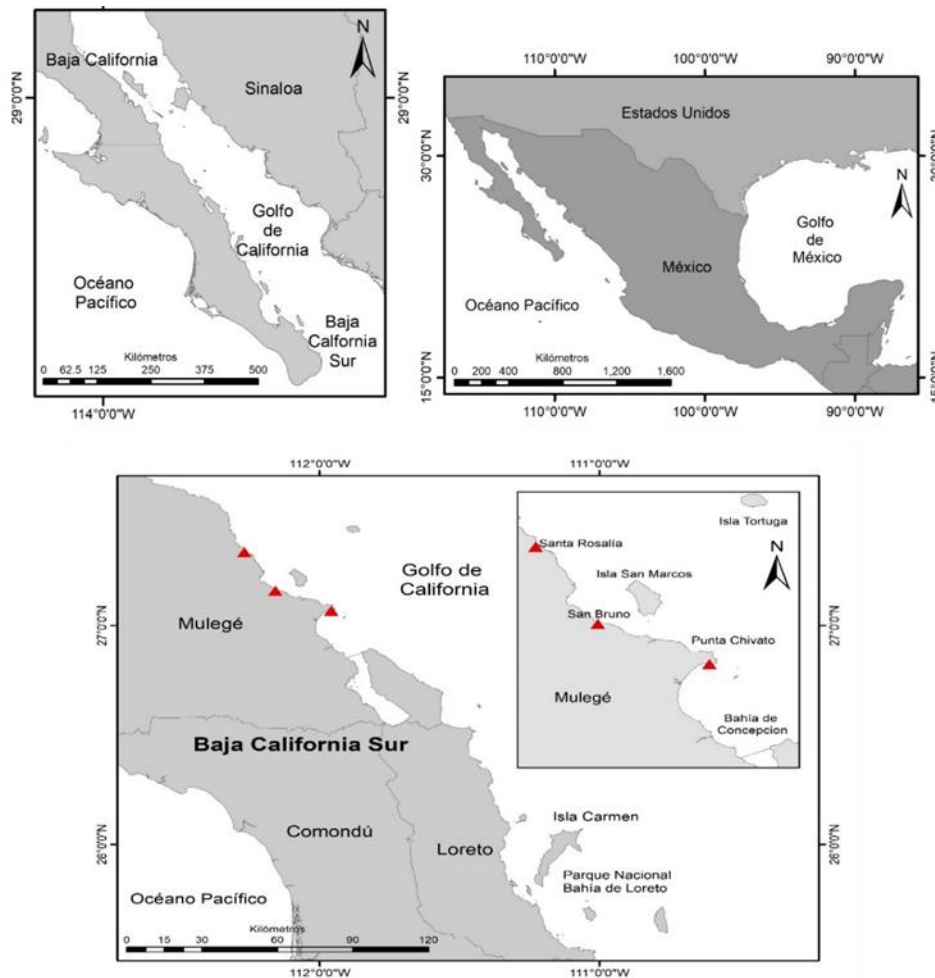


Figura 3. Zona de estudio, Los triángulos rojos señalan los puntos de muestreo.

La zona de estudio se encuentra en la región central del GC, la cual se caracteriza por tener cuencas profundas, amplitud de mareas pequeñas y corrientes superficiales con dirección noroeste en invierno y sureste en verano, ocasionadas por el patrón estacional del viento, aunque se han desarrollado modelos que revelan que la termodinámica y la circulación estacional en el GC no solo está dominada por procesos locales tales como: vientos y flujos de calor por la superficie, sino principalmente por el forzamiento del Océano Pacífico (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991). En consecuencia, en el verano se ha detectado un flujo hacia el norte a lo largo de la costa y en invierno se invierte el flujo y se dirige hacia el sur (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991). Esta región se caracteriza por zonas de surgencias estacionales en ambas costas, y debido a ello se presenta una fuerte estacionalidad en la temperatura superficial (Escalante *et al.*, 2013).

Las corrientes tienen un comportamiento netamente diurno para las aguas abiertas y la alineación de las corrientes es de forma casi perpendicular a la línea de la costa con un ángulo de 90° aproximadamente (Roden y Emilson, 1980). En el área de estudio las corrientes llegan a presentar mayores velocidades en la época fría, durante la época cálida los eventos máximos pueden llegar a coincidir en los meses de agosto y septiembre, cuando ocurren fenómenos naturales como huracanes (Roden y Emilson, 1980; Torrejon-Arellano, 2017).

El rango de marea anual es de 1.63 m, en la zona el tipo de marea es diurna y un ciclo marcado estacional con elevaciones máximas en los meses de verano (agosto) y mínimas en invierno (febrero), aunque en general el oleaje en Santa Rosalía durante la época invernal está influenciado por eventos de oleaje local, debido a que el oleaje distante no alcanza a penetrar desde la boca del GC hasta esa zona (MIA Proyecto 09027, 2009; Torrejon-Arellano, 2017).

La zona costera de la región minera de Santa Rosalía está limitada al sur por Punta Chivato y al norte por Punta Baja. Su cuenca hidrográfica está limitada al norte por el sistema volcánico Las Tres Vírgenes-La Caldera-La Reforma y al sur, por la Sierra de Santa Lucía. El tipo clima por el cual se caracteriza es muy árido, la temperatura del agua presenta una marcada variación con valores de 16°C de febrero a marzo y de 31°C en agosto, con un promedio de 23.34°C y una máxima de 44 °C, con lluvias escasas y variables que ocurren en

su mayoría en el verano, mientras que la salinidad presenta variaciones mínimas (Salinas-Zavala *et al.*,1992, Rodríguez-Figueroa, 2004).

Obtención de muestras

Los organismos para el presente estudio se obtuvieron a partir de las capturas de la pesquería artesanal de la zona de Santa Rosalía, B.C.S., durante un periodo mensual iniciando en el mes de octubre de 2017 y terminando en febrero de 2020, excepto en la temporada de veda establecida de mayo a julio. Se utilizaron embarcaciones menores y se capturaron los organismos con redes de luz de malla con medidas aproximadas de 10 a 15 cm, colocadas cerca de la costa a una profundidad de 10 a 20 metros. Las redes permanecían durante la noche y en la mañana siguiente se recogían.

Cuando los ejemplares llegaron al desembarque en el campo pesquero se tomaron datos biométricos, tales como: la longitud total (LT), el largo de disco (LD) y el ancho de disco (AD) expresado en cm (Fig. 4). Se registró la localidad de la colecta. Se determinó el sexo a partir de la presencia de gonopterigios en los machos y ausencia en las hembras. Se colectaron las vértebras para la estimación de edad, extrayendo de cada individuo aproximadamente 10 vértebras de la región dorsal (Fig. 4), las cuales fueron congeladas hasta su procesamiento en el laboratorio.

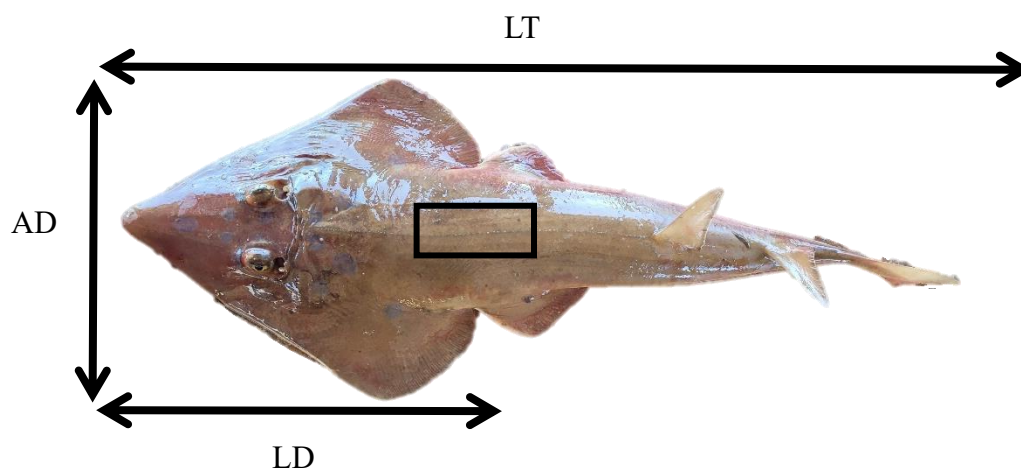


Figura 4. Medidas morfométricas obtenidas de cada organismo de *Pseudobatos glaucostigmus* y zona donde se extrajeron las vértebras. LT = Longitud Total (cm); AD = Ancho de disco (cm); LD = Longitud de Disco.

Procesamiento de muestras

El procesamiento de las vértebras consistió en la separación de los centros vertebrales, a los cuales se les removió el arco neural y el tejido circundante con un bisturí. Para retirar por completo los restos del tejido, cada centro vertebral se colocó en una solución de hipoclorito de sodio (Cailliet y Goldman, 2004) al 2.5% durante un tiempo proporcional al tamaño de la muestra. Posteriormente se enjuagaron en agua corriente para eliminar el exceso de solución, se dejaron secar al aire libre y se guardaron con sus respectivos datos de colecta.

Se realizaron cortes longitudinales (sagitales) de cada vértebra con una cortadora de baja velocidad Isomet (Buehler) con disco de borde de diamante. Para realizar los cortes, las vértebras fueron montadas en trozos de madera con resina acrílica y se probaron diferentes grosores para identificar con cuál de ellos se observan mejor las marcas de crecimiento (Fig. 5).

Los cortes de las vértebras fueron observados en un microscopio estereoscopio, Zeiss® Modelo Stereo Discovery V12 y digitalizados con la ayuda de una cámara Zeiss® AxioCam ICc1® de 1.4 megapíxeles de resolución (Fig. 5). Las imágenes fueron digitalizadas con el programa ZEN 2012® de Zeiss®. Las imágenes fueron observadas con luz reflejada y con un aumento de 18x–20x (Fig. 6).



Figura 5. A) Vértebras de *Pseudobatos glaucostigmus* montadas en madera, B) Cortadora de baja velocidad Isomet (Buehler), C) Microscopio estereoscopio, Zeiss® Modelo Stereo Discovery V12.

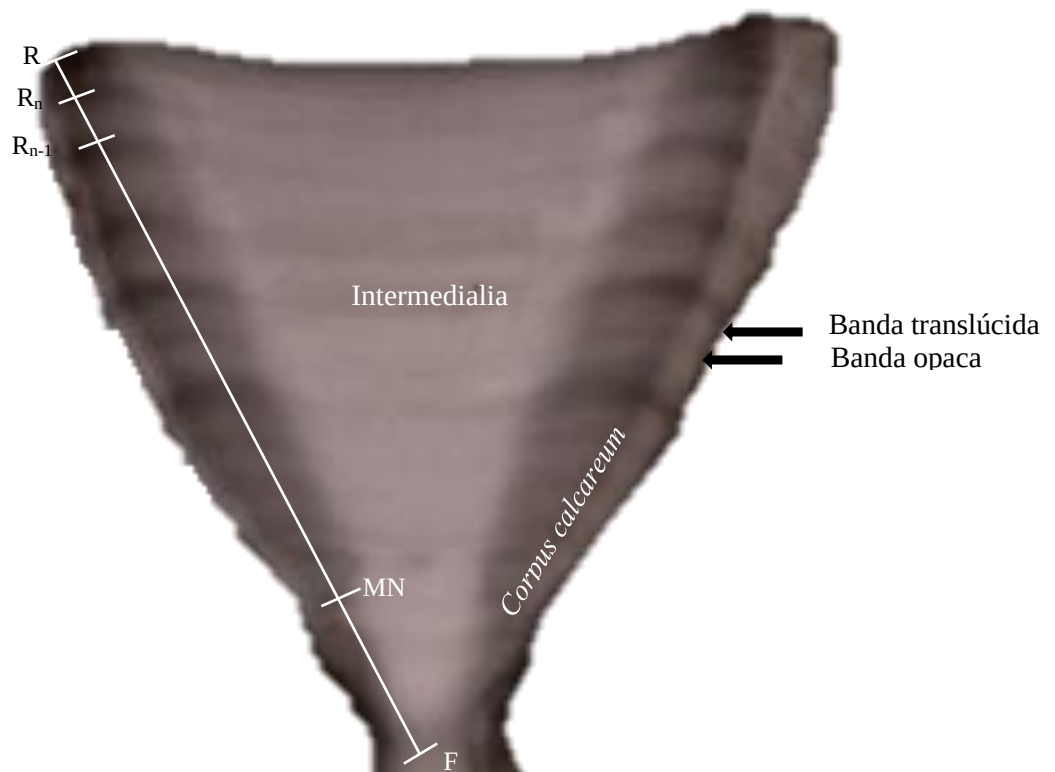


Figura 6. Sección longitudinal de una vértebra de *Pseudobatos glaucostigmus*, tomada con luz reflejada y aumento de 18 X (Hembra de 76 cm de LT), indicando las medidas que fueron registradas para el análisis de edad e IM. F: foco; MN: Marca de nacimiento; R: radio de la vértebra; R_n : radio de la última banda translúcida completamente formada; R_{n-1} : radio de la penúltima banda translúcida.

Análisis de datos

La estructura de tallas se analizó mediante histogramas de frecuencias con intervalos de tres cm (Sturges, 1926) por sexos separados.

El radio vertebral (RV) se correlacionó con el tamaño del organismo (LT) utilizando un análisis de regresión lineal simple:

$$LT=a+bRV$$

donde: b es la pendiente de la recta y a es la ordenada al origen (intercepto).

Precisión y sesgo

Se realizaron tres conteos de bandas de crecimiento en las vértebras por el primer lector (el primer conteo se tomó en cuenta como práctica) y dos conteos por el segundo lector ($n=54$) de manera independiente, desconociendo talla y sexo de los organismos. Se contaron pares de bandas (una banda opaca y una banda translúcida). La primera banda translúcida se consideró como la marca de nacimiento y si el borde translúcido estaba completamente formado se tomaba en cuenta para los conteos.

La precisión de los conteos (intra-lector e inter-lector) de las bandas de crecimiento se estimó mediante el coeficiente de variación (CV) (Chang, 1982), con la siguiente fórmula:

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

donde: N es el 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 .

El sesgo de los conteos intra-lector e inter-lectores, se determinó de manera gráfica utilizando la propuesta de Campana *et al.* (1995). La simetría y la existencia de posibles sesgos sistemáticos entre los conteos de las bandas de crecimiento intra e inter-lectores se determinó también por medio la prueba estadística de McNemar (Evans y Hoenig 1998).

Verificación de la periodicidad en las bandas de crecimiento

Se verificó la periodicidad de la formación de las bandas de crecimiento en las vértebras mediante el análisis del tipo de borde (CEA, centrum edge analysis por sus siglas en inglés), el cual implica caracterizar cualitativamente el borde vertebral (opaco o translúcido). Asimismo, se realizó el análisis de incremento marginal (MIA, marginal increment analysis por sus siglas en inglés), que consiste en medir el ancho de la parte más externa de las vértebras y graficarlo contra el mes de captura, a fin de inferir si se forman bandas de crecimiento anualmente (Goldman, 2004). El MIA se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$MIA = \frac{(RV - R_n)}{R_n - R_{n-1}}$$

donde: RV radio de la vértebra, R_n distancia del foco de la vértebra hasta la última banda de crecimiento, R_{n-1} distancia del foco de la vértebra hasta la penúltima banda de crecimiento.

Para determinar estadísticamente si los incrementos marginales fueron diferentes entre meses se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y además se evaluaron las diferencias significativas entre cada uno de los meses con una prueba *post-hoc* de Games Howell para observar que meses aportaban dichas diferencias.

Se realizó también el análisis propuesto por Okamura *et al.* (2013) para verificar la ciclicidad en la formación de las bandas de crecimiento, ajustando a tres modelos de periodicidad: sin periodicidad (modelo N), periodicidad anual (modelo A) y periodicidad bianual (modelo B). El modelo que mejor ajusto fue seleccionado mediante el criterio de información de Akaike (AIC por sus siglas en inglés) (Akaike, 1973).

Estimación de edad

La estimación de edad fue a partir del conteo de pares de bandas de crecimiento en las vértebras, los conteos se realizaron del foco hasta el borde de la vértebra. Se contaron todas las bandas translúcidas completamente formadas, excepto la más cercana al foco (la marca asumida como de nacimiento).

La proporción de años se ajustó con base en el número de días a partir de la fecha establecida de nacimiento para *P. glaucostigmus* (septiembre) por (Lara-Mendoza, 2016) y la fecha de captura, mediante la siguiente ecuación:

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

dónde: 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).

Retrocálculo

Se obtuvieron tallas retrocalculadas a partir del RV y los radios de los pares de bandas de crecimiento, donde se determinó las LT que presentaban los organismos al momento de nacer (primera banda translúcida o marca de nacimiento) y durante la formación de las demás bandas de crecimiento. Se utilizó el modelo de Fraser-Lee (Francis, 1990):

$$L_i = \frac{S_i}{S_C} (L_C - a) + a$$

donde: L_i es la talla a cada grupo de edad, S_i es el radio a cada marca de crecimiento, S_C es el radio total vertebral (RV), L_C es la longitud de captura, a es el parámetro de la regresión lineal de RV y LT.

El análisis de retrocálculo se realizó utilizando el paquete FSA que incluye las funciones del retrocálculo (Ogle, 2013), mediante la plataforma de R versión 4.0.4 (R core team 2021).

Modelos de crecimiento con enfoque determinístico

Para estimar los parámetros de crecimiento individual se ajustaron tres modelos de crecimiento a los datos de longitud a la edad obtenidos, debido a que se realizó un ajuste de edad y también se empleó el análisis de retrocálculo, se propusieron tres escenarios, los cuales se clasifican: Escenario 1 (Datos observados sin ajuste de edad), Escenario 2 (Datos observados con el ajuste de edad) y el Escenario 3 (Datos observados con ajuste de edad y datos retrocalculados). En cada escenario se utilizaron los modelos que enseguida se enlistan y son comúnmente utilizados en estudios de edad y crecimiento en condriictios (Calliet *et al.*, 2006).

Incluyendo inicialmente el modelo tradicional de von Bertalanffy de tres parámetros (1938) (Ec. 1) y su versión de dos parámetros modificada por Fabens (1965) (Ec. 2):

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-k(t-L_0)}) \text{ (Ecuación 1)}$$

$$L_t = L_\infty(1 - b^{(-kt)}), b = (L_\infty - L_0/L_\infty) \text{ (Ecuación 2)}$$

El siguiente modelo utilizado fue el modelo de Gompertz, también en sus versiones de tres (Ec. 3) (Ricker, 1975) y dos parámetros (Ec. 4) (Ricker, 1975; Mollet *et al.*, 2002):

$$L_t = L_\infty e^{-e^{-k(t-L_0)}} \text{ (Ecuación 3)}$$

$$L_t = L_\infty e^{G(1-e^{-kt})}, G = \ln(L_\infty/L_0) \text{ (Ecuación 4)}$$

Por último, el modelo logístico en sus versiones de tres (Ricker, 1979): (Ec. 5) y dos parámetros (Ec. 6) (Ricker, 1979; Smart *et al.*, 2016):

$$L_t = \frac{L_\infty}{1} + e^{-k(t-L_0)} \text{ (Ecuación 5)}$$

$$L_t = \frac{L_\infty L_0 (e^{(kt)})}{L_\infty + L_0 (e^{(kt)} - 1)} \text{ (Ecuación 6)}$$

En todos los modelos L_t es la longitud a la edad t , L_∞ es la longitud asintótica (cm), k es el coeficiente de crecimiento, es decir, es la velocidad a la cual se alcanza la L_∞ . En el caso de los modelos de dos parámetros L_0 es la longitud de nacimiento de 18 cm de LT (Lara-Mendoza, 2016), en los modelos de tres parámetros la L_0 fue calculada por el modelo.

Comparación y selección del mejor modelo

La comparación y selección del mejor modelo se basó en un enfoque multimodelo y se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC) para determinar el modelo con el mejor ajuste a los datos de longitud a la edad (Akaike 1973). Los parámetros de los modelos fueron estimados por máxima verosimilitud.

$$AIC = -2LN(L) + 2p$$

donde: L es la verosimilitud estimada, y p es el número de parámetros.

El modelo con el menor valor de AIC fue seleccionado como el de mejor ajuste a los datos. De igual manera, las diferencias de AIC (Δ) se calculó como:

$$\Delta AIC = AIC_i - \min AIC$$

donde: AIC_i es igual al valor AIC del modelo i , y $\min AIC$ es igual al valor mínimo obtenido con el modelo que tuvo el mejor ajuste.

Si $\Delta AIC \leq 2$, se consideran como modelos con un soporte empírico sustancial, es decir, que el modelo se ajusta bien a los datos; cuando $4 < \Delta AIC < 7$ se consideran con un soporte empírico bajo e indica que el modelo se ajusta parcialmente a los datos, mientras $\Delta AIC > 10$ se consideran sin soporte empírico, entonces el modelo no se ajusta a los datos y puede ser excluido del análisis (Burnham y Anderson, 2002).

Se calculó también el peso de Akaike (ω_i), que representa la probabilidad de seleccionar el mejor modelo de un conjunto de modelos candidatos y se calculó como:

$$\omega_i = \frac{\exp(-\Delta AIC/2)}{\sum_{r=1}^R \exp(-\Delta AIC/2)}$$

dónde: R es el número de modelos candidatos.

Modelo promedio

Del escenario 1 y 2 hubo cuatro modelos que se ajustaron a los datos observados de las hembras, donde von Bertalanffy de 2 parámetros no fue incluido para la inferencia multimodelo según lo recomendado por Burnham y Anderson (2002) y Katsanevakis (2006) debido a que sería un modelo redundante. Por consiguiente, solo se realizó la inferencia multimodelo para von Bertalanffy, Gompertz y Logístico en su versión de tres parámetros, para estimar L_∞ y L_0 del modelo promedio ($\overline{L_\infty}, \overline{L_0}$) es un estimado ponderado usando los estimados de los modelos multiplicados por $w_i^* = w_i / (w_1 + w_2 + w_3) - 1$ (Katsanevakis, 2006, Katsanevakis y Maravelias, 2008:

$$\overline{L_{\infty}} = \sum_{i=1}^n L_{\infty,i} * w_i$$

donde: $L_{\infty,i}$ es el L_{∞} estimado para cada modelo i , n es el número de modelos y w_i es el peso de Akaike de cada modelo i .

En el caso de $\overline{L_0}$ se utilizó la misma fórmula.

RESULTADOS

Composición de captura

Se analizaron 370 datos biológicos de *P. glaucostigmus* (364 hembras y seis machos) capturados en el periodo 2017–2020. Los meses de agosto a diciembre fueron los que presentaron mayor frecuencia de organismos colectados, mientras que durante enero, mayo, junio y julio no se obtuvieron muestras (Fig. 7).

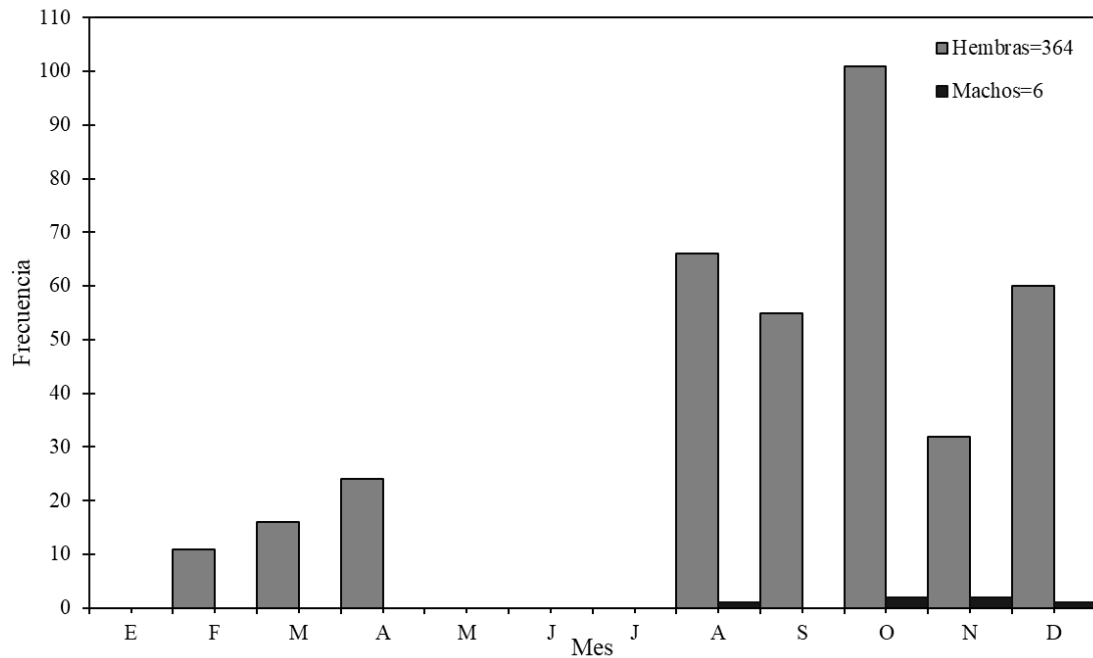


Figura 7. Frecuencia de organismos de *Pseudobatos glaucostigmus* capturados por mes de 2017—2020.

Estructura de tallas

Las tallas de los organismos capturados por la pesquería artesanal de *P. glaucostigmus* fueron de 52–80 cm LT (Promedio= 66.61 cm y DE= 4.45 cm) para las hembras, mientras que para los machos fueron de 54–59 cm LT (Promedio= 58.3 cm y DE= 5.88 cm) (Fig. 8).

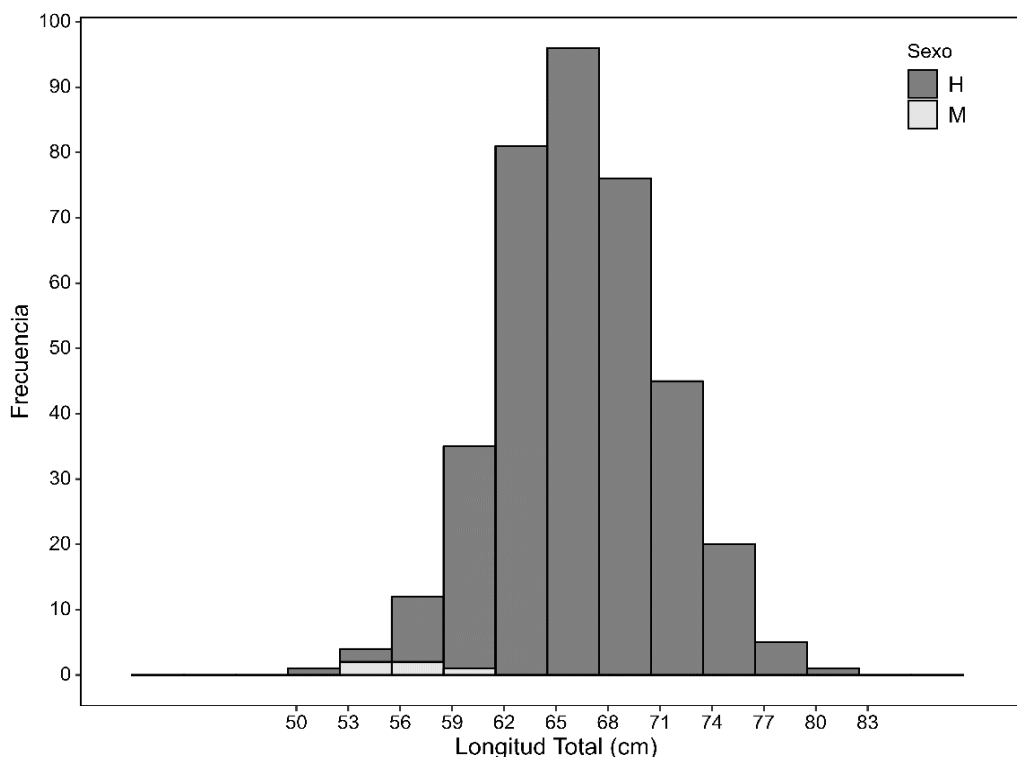


Figura 8. Distribución de Longitud Total por sexos de los individuos de *Pseudobatos glaucostigmus* capturados por la pesquería artesanal en la zona de Santa Rosalía, B.C.S, México. Hembras=364 y Machos=6.

De total de los organismos se utilizaron 210 organismos para la estimación de edad y descripción de crecimiento, de los cuales, 206 fueron hembras presentando intervalos de tallas entre 52–80 cm de LT (Promedio= 66.47 cm DE= 4.58cm); y cuatro machos con intervalos de tallas de 54–59 cm LT (Promedio= 56.25 cm y DE= 1.70 cm) (Fig.9).

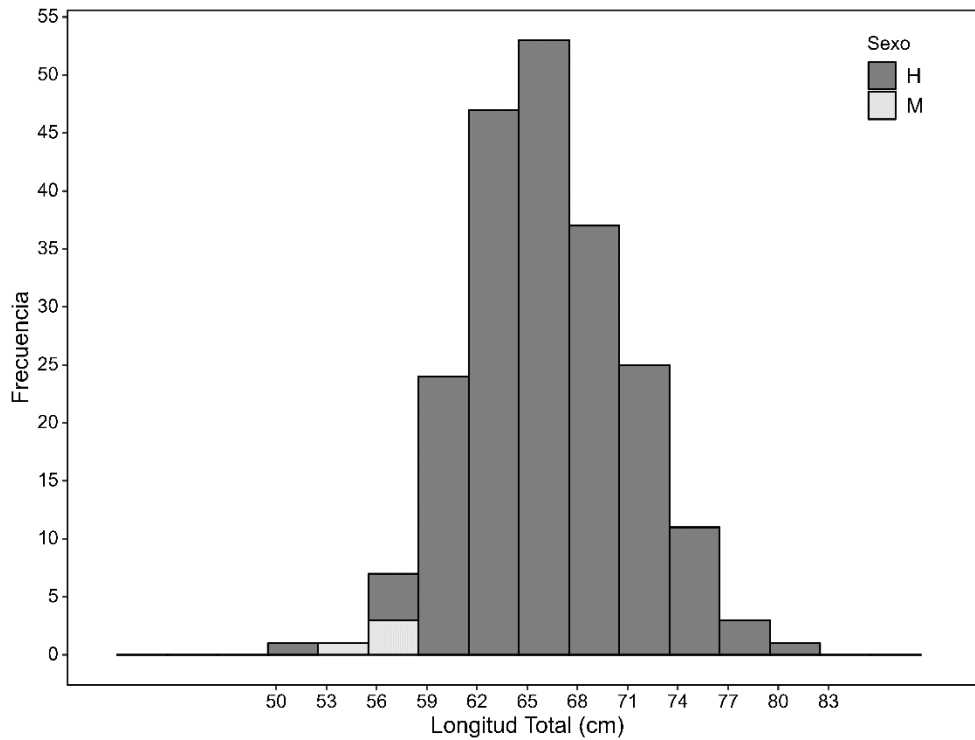


Figura 9. Distribución de Longitud Total por sexo de los individuos de *Pseudobatos glaucostigmus* utilizados para la estimación de edad y descripción de crecimiento (Hembras=206 y Machos=4).

Relación talla y tamaño de la vértebra

La relación entre la Longitud Total de las hembras y el tamaño de la vértebra fue lineal y significativa ($R^2 = 0.82$, $n=206$, $p < 0.05$), lo que sugiere el tamaño de la vértebra aumenta proporcionalmente con la LT, considerándose adecuadas para la estimación del crecimiento (Fig. 10).

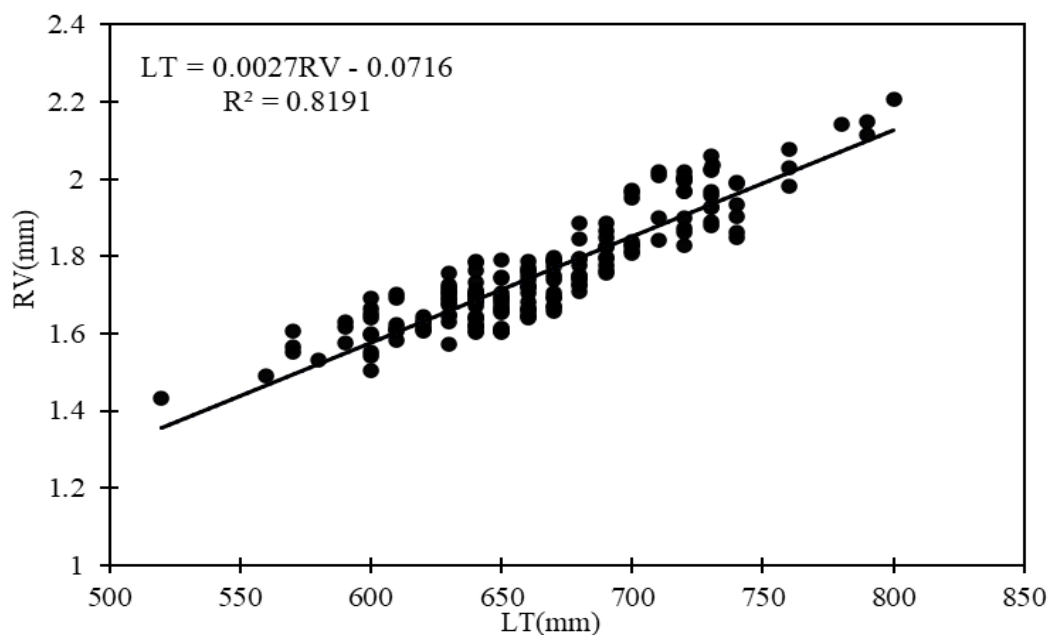


Figura 10. Relación entre el radio de vértebra (RV) y la longitud total de las hembras de *Pseudobatos glaucostigmus*.

Precisión y sesgo

La precisión de los conteos de las bandas para *P. glaucostigmus* estuvo dentro del valor común para estudios en elasmobranquios según Campana (2001), el valor de CV intra-lector fue menor (2.25%) en comparación con el inter-lector (5.20%) (Tabla 1). No se observó sesgo sistemático entre los conteos intra-lector e inter-lector de acuerdo con la prueba simetría de McNemar ($p < 0.05$) (Figs.11-13).

Tabla 1. Valores de los coeficientes de variación (CV) de los conteos de las bandas de crecimiento de *P. glaucostigmus*.

Lectores	CV	n
intra-lector (Lector 1)	2.25%	210
intra-lector (Lector 2)	3.68%	54
inter-lector (Lector 1 y Lector 2)	5.20%	54

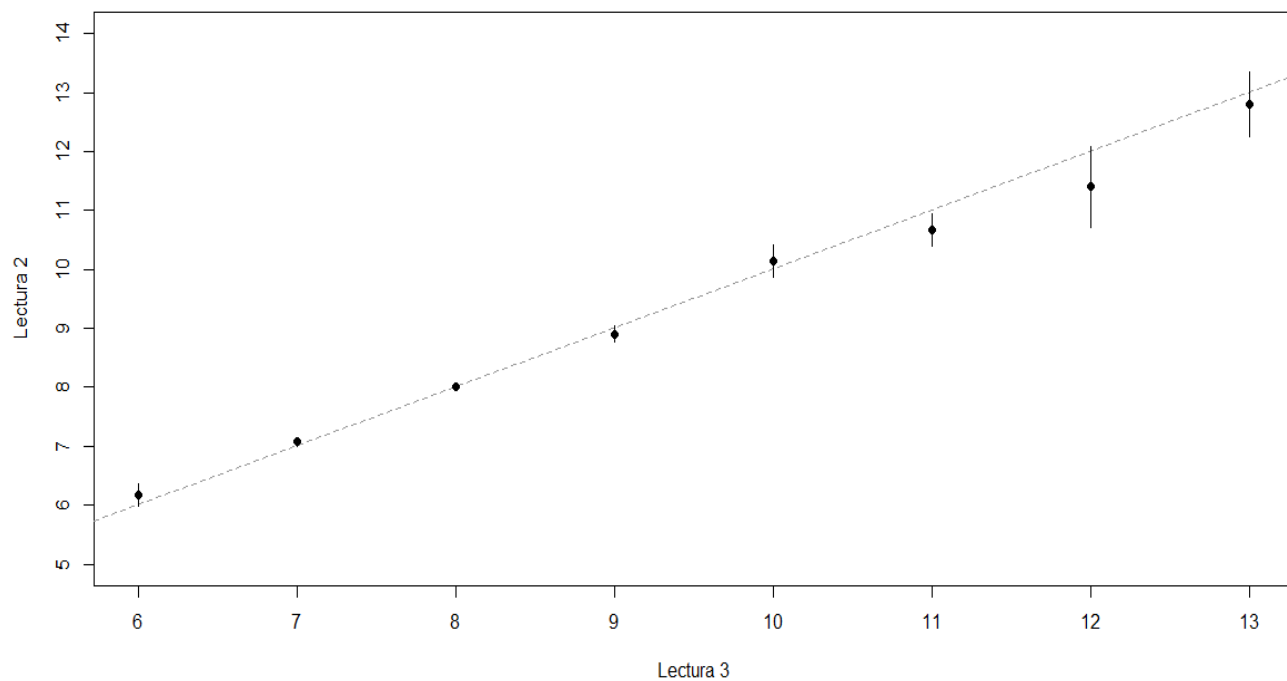


Figura 11. Gráfico de sesgo entre los conteos de las bandas de crecimiento en las vértebras de *Pseudobatos glaucostigmus* intra-lector del lector 1.

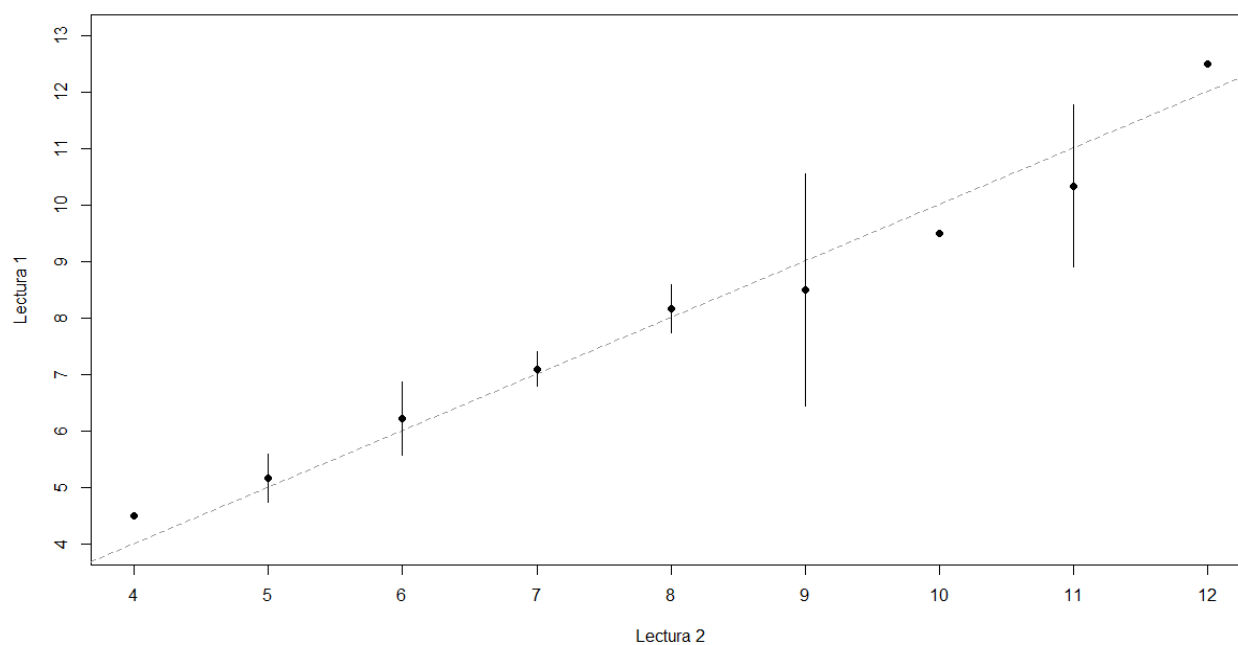


Figura 12. Gráfico de sesgo entre los conteos de las bandas de crecimiento en las vértebras de *Pseudobatos glaucostigmus* intra-lector del lector 2.

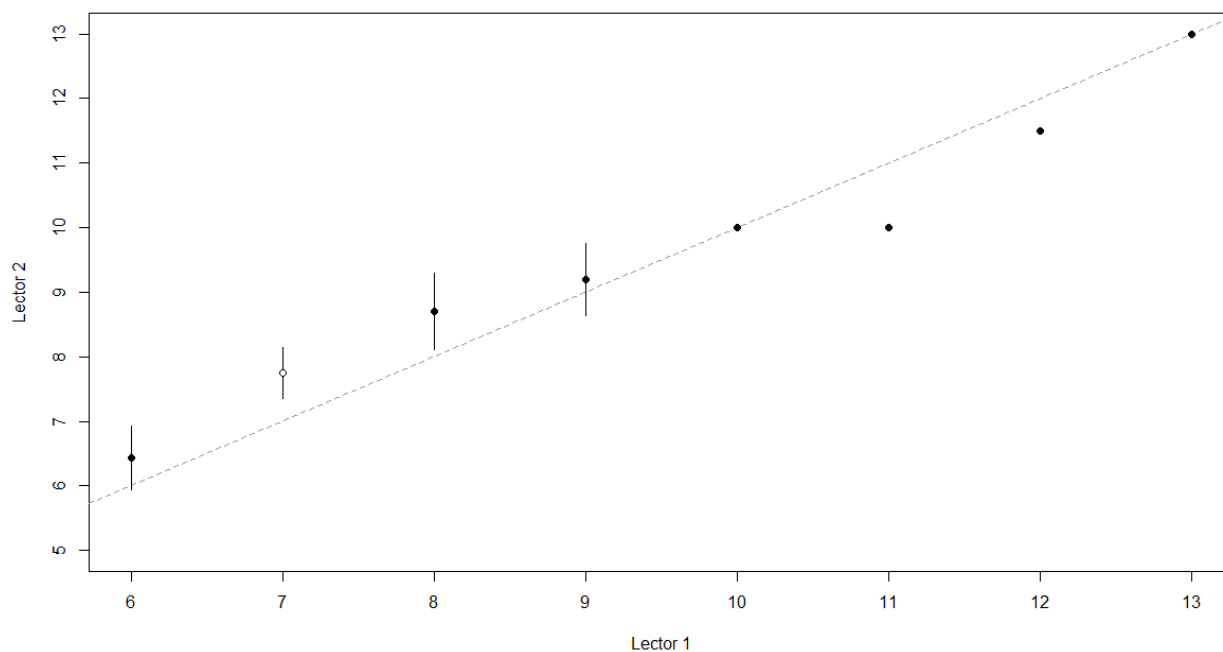


Figura 13. Gráfico de sesgo entre los conteos de las bandas de crecimiento en las vértebras de *Pseudobatos glaucostigmus* inter-lector (Lector 1 y Lector 2) (2da lectura).

Verificación de la periodicidad en las bandas de crecimiento

Se observó un solo periodo de formación de bandas translucidas en el año y otro periodo para las opacas. La mayor frecuencia de bordes translúcidos se obtuvo en los meses de noviembre a abril (excepto enero cuando no se obtuvieron muestras), mientras que los bordes opacos se observaron con mayor frecuencia de agosto a octubre (Fig. 14).

De igual manera, el menor incremento marginal se observó en los meses de verano y otoño, con un mínimo en agosto y valores máximos durante los meses de invierno y primavera (Fig. 15). El análisis de Okamura *et al.*, (2013) mostró que el modelo de periodicidad anual (modelo A) se ajustó mejor a los datos de acuerdo con el AIC (Tabla 3), infiriendo una formación anual de un par de bandas.

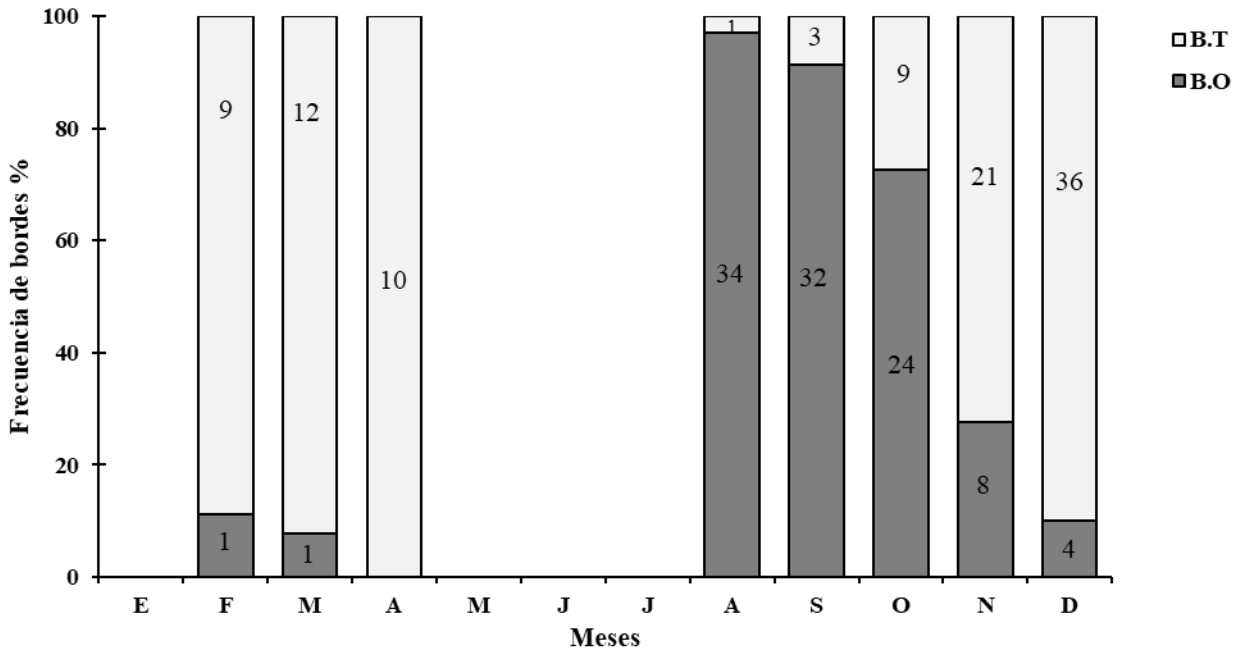


Figura 14. Frecuencia de bordes translúcidos (B.T) y opacos observados (B.O) en las vértebras de *Pseudobatos glaucostigmus* con respecto al mes de captura. Los números sobre las barras indican el número de muestras analizadas por mes.

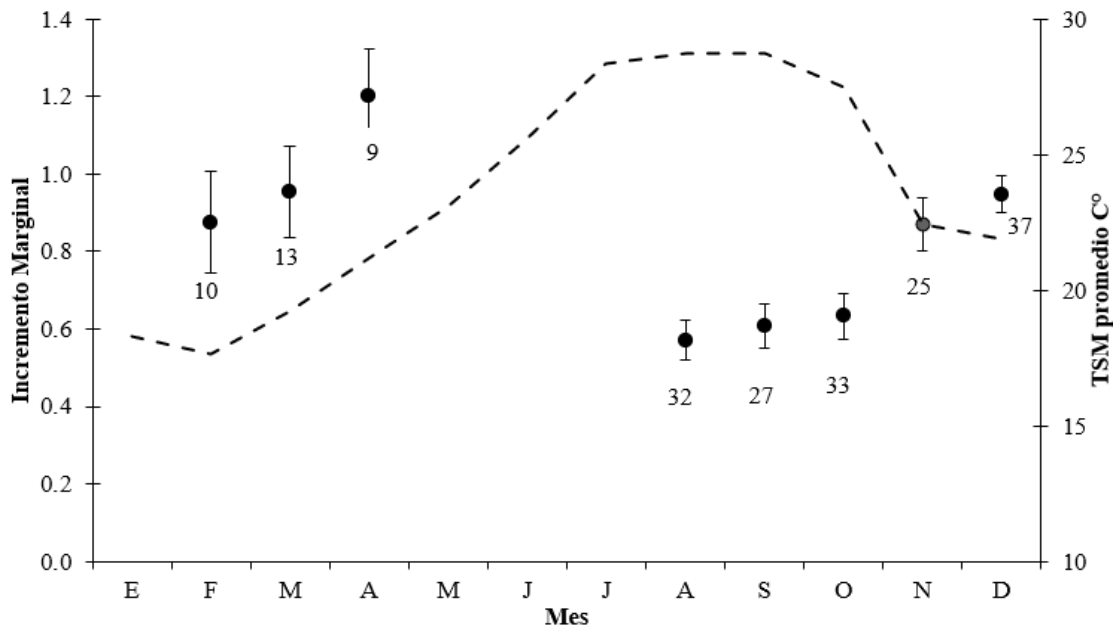


Figura 15. Incremento marginal promedio por mes en las vértebras de *Pseudobatos glaucostigmus*. Las barras representan el error estándar y los valores el número de muestras analizadas por mes, la línea punteada representa la temperatura superficial del mar (TSM) promedio.

La prueba de Kruskal-Wallis mostró que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el Incremento Marginal mensual. La prueba *post-hoc* de Games-Howell indicó diferencias significativas entre los meses (Tabla 2).

Tabla 2. Comparaciones múltiples del IM (Incremento Marginal) para cada mes mediante la prueba *post-hoc* de Games-Howell, los valores resaltados fueron los que mostraron diferencias.

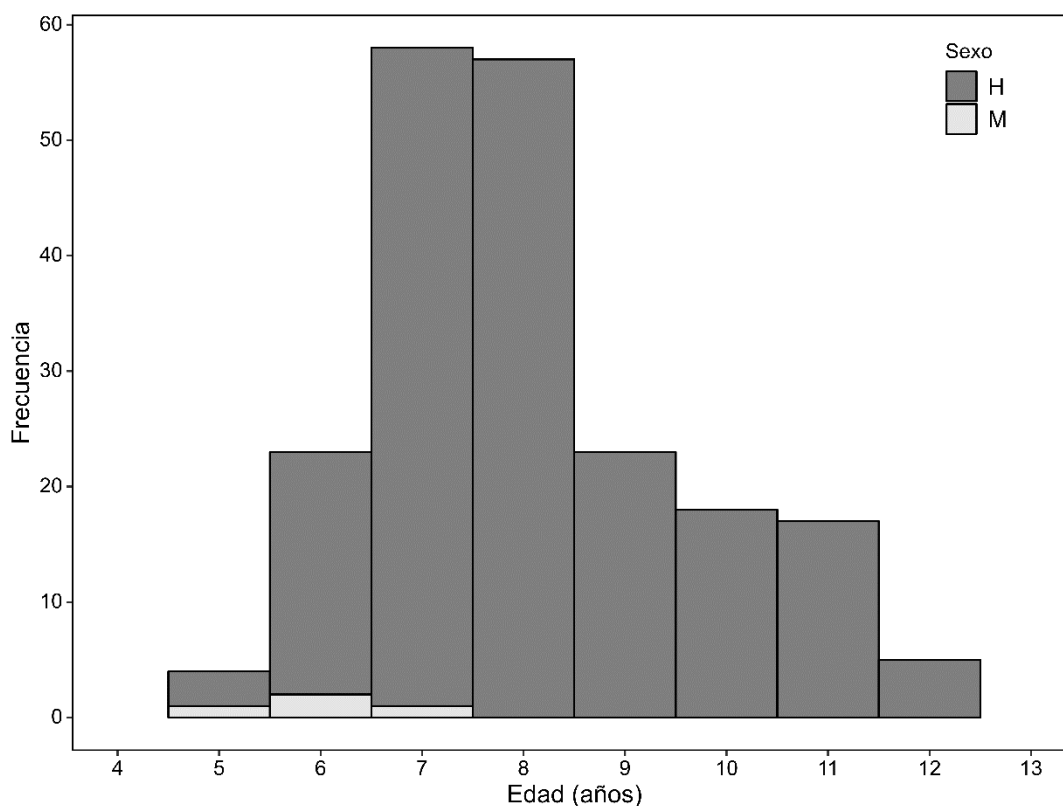
Meses	feb	mar	abr	ago	sep	oct	nov	dic
feb	-	1.000	1.000	0.699	1.000	1.000	1.000	1.000
mar	1.000	-	1.000	0.049	0.194	0.236	1.000	1.000
abr	1.000	1.000	-	<0.001	<0.001	<0.001	1.000	1.000
ago	0.699	0.049	<0.001	-	1.000	1.000	0.070	<0.001
sep	1.000	0.194	<0.001	1.000	-	1.000	0.382	0.007
oct	1.000	0.236	<0.001	1.000	1.000	-	0.462	0.007
nov	1.000	1.000	1.000	0.070	0.382	0.462	-	1.000
dic	1.000	1.000	1.000	<0.001	0.007	0.007	1.000	-

De acuerdo con el método de Okamura *et al.*, (2013) el modelo de ciclo anual se ajustó mejor a los datos de IM (AIC= 130.07) (Tabla 3), soportando la hipótesis de que la formación de las bandas de crecimiento en las vértebras de *P. glaucostigmus* en la zona de Santa Rosalía, B.C.S. México es anual.

Tabla 3. Criterio de información de Akaike (AIC) de la distribución circular a los valores de incremento marginal que se realizó para las vértebras de *P. glaucostigmus*. Donde los modelos N= no cíclico, A= un ciclo (anual) y B= dos ciclos (bianual).

Modelo	AIC	Δ AIC	W_i
N	186.64	56.57	0
A	130.07	0	100
B	210.93	80.86	0

Estructura de edades



Las edades estimadas fueron de 5–12 años para las hembras (Promedio= 8.10 ± 1.61 años) y de 5–7 años para los machos (Promedio= 5.25 ± 0.5 años) (Fig. 16).

Figura 16. Estructura de edades para hembras (n=206) y machos (n=4) de *Pseudobatos glaucostigmus* capturados en la pesquería artesanal de la zona de Santa Rosalía, B.C.S. México.

Retrocálculo

Intervalos de tallas (LT) por grupo de edades estimadas observadas y los intervalos de tallas (LT) por grupo de edad obtenidas por medio el retrocálculo a partir de las mediciones en las imágenes digitales de los cortes de sagitales de las vértebras mediante el modelo de Fraser-Lee (Francis, 1990) (Tabla 4).

Tabla 4. Intervalos de tallas (LT) en centímetros por grupo de edades estimadas observadas y retrocalculadas, $\bar{x}$ = promedio, DE= desviación estándar de *P. glaucostigmus*.

LT	Datos observados				Datos retrocalculados			
Edad (años)	n	intervalo	$\bar{x}$	DE	n	intervalo	$\bar{x}$	DE
1	-	-	-	-	48	20—33	27.8	2.7
2	-	-	-	-	48	27—43	34.5	3.4
3	-	-	-	-	48	32—47	40.9	3.6
4	-	-	-	-	48	37—53	47.2	3.6
5	18	52—63	58.7	2.7	48	42—60	52.9	3.9
6	53	57—66	62.6	1.8	45	49—64	58.2	3.5
7	67	61—70	66	1.7	33	54—70	63.1	3.8
8	22	66—73	68.7	1.7	15	58—72	66.4	4.2
9	20	70—76.2	71.9	1.7	11	64—76	68.9	3.3
10	15	71—74	72.4	1.2	5	66—73	69.9	2.2
11	5	73—76	74.4	1.5	4	70—76	73.5	2.3
12	5	78—80	78.8	0.8	3	75—80	78.2	2.1

Estimación de los parámetros de crecimiento

En la tabla 5 se enlistan los parámetros de crecimiento estimados mediante los diversos modelos, con diferentes escenarios (Escenario 1: Sin ajuste de edad, Escenario 2: Con ajuste de edad, Escenario 3: Con ajuste de edad y retrocálculo).

Tabla 5. Parámetros de crecimiento de las hembras de *P. glaucostigmus* en Santa Rosalía, BCS, estimados mediante 3 modelos y sus variantes (dos y tres parámetros), donde, θ = número de parámetros, k y g = coeficiente de crecimiento (años^{-1}), L_0 = longitud de nacimiento, L_∞ = longitud asintótica, AIC= Criterio de información de Akaike, Δ_i = diferencias de Akaike, ω_i = peso de Akaike; los valores en negro representan los mejores pesos de AIC y los que tienen sombra gris los modelos con soporte estadístico.

Modelo	θ	Escenario	k y g	L_∞ (cm)	L_0	AIC	Δ_i	ω_i
von Bertalanffy	2	1	0.20	82.44	18	846.50	3.32	7.25
von Bertalanffy	3	1	0.14	88	29.33	843.18	0.00	38.11
Gompertz	2	1	0.32	77.83	18	860.42	17.24	0.01
Gompertz	3	1	0.18	85.50	34	843.62	0.44	30.58
Logístico	2	1	0.46	75.19	18	886.06	42.88	0.00
Logístico	3	1	0.22	83.76	36.7	844.10	0.92	24.06
von Bertalanffy	2	2	0.16	85.17	18	861.75	0.43	24.59
von Bertalanffy	3	2	0.14	87.81	23.26	861.32	0.00	30.47
Gompertz	2	2	0.27	79.32	18	868.56	7.23	0.82
Gompertz	3	2	0.18	85.22	29.86	861.75	0.42	24.65
Logístico	2	2	0.40	76.19	18	884.75	23.44	0.00
Logístico	3	2	0.22	83.49	33.45	862.22	0.90	19.47
von Bertalanffy	2	3	0.13	94.52	18	2263.98	27.76	0.00
von Bertalanffy	3	3	0.13	94.23	17.88	2263.95	27.72	0.00
Gompertz	2	3	0.27	79.33	18	2273.30	37.08	0.00
Gompertz	3	3	0.23	83.04	20.54	2241.95	5.72	5.41
Logístico	2	3	0.44	73.78	18	2348.68	112.5	0.00
Logístico	3	3	0.34	78.34	22.22	2236.23	0.00	94.59

Los escenarios 1 y 2 (Fig. 17 A-B) con los modelos von Bertalanffy, Gompertz y logístico de tres parámetros se ajustaron bien a los datos observados de las hembras ($\Delta_i \leq 2$)

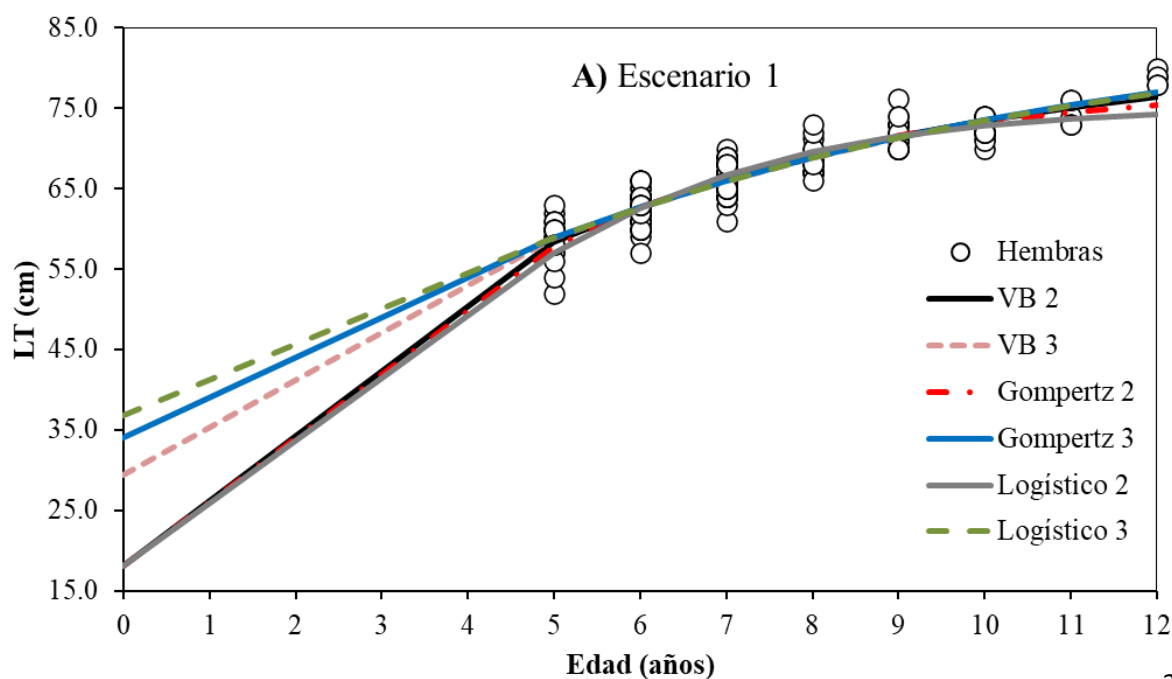
(Tabla 5), por lo que se estimó L_{∞} y L_0 del modelo promedio ($\overline{L_{\infty}}$ y $\overline{L_0}$) mediante la inferencia multimodelo (Tabla 6):

Tabla 6. Valores promedio de los parámetros L_{∞} y L_0 de los modelos que tuvieron soporte estadístico en los escenarios 1 y 2, obtenidos mediante la inferencia multimodelo.

Escenario	$\overline{L_{\infty}}$	$\overline{L_0}$
1	79.89 cm	30.41 cm
2	64.10 cm	20.97 cm

En el escenario 3 (Figura 17 (C)), el modelo con mayor soporte estadístico fue logístico de tres parámetros, sin embargo, aun cuando el modelo de Gompertz de 3 parámetros obtuvo soporte estadístico bajo, la $L_{\infty}=83.04$ cm obtenida, es más cercana a la talla máxima de la especie (89.4 cm LT) y también cercana a la talla máxima observada en la muestra (80 cm LT). El modelo logístico al obtener una $L_{\infty}=78.34$ cm ligeramente más baja que la de Gompertz, produce un aumento en k , matemáticamente el modelo logístico es el mejor, pero podría subestimar k .

Con los datos retrocalculados en el escenario 3 los modelos sigmoideos fueron los que se ajustaron mejor los datos y la mayoría de los modelos presentaron curvas más asintóticas que solo con los datos observados, por lo que los parámetros de crecimiento de los datos retrocalculados y observados se seleccionaron.



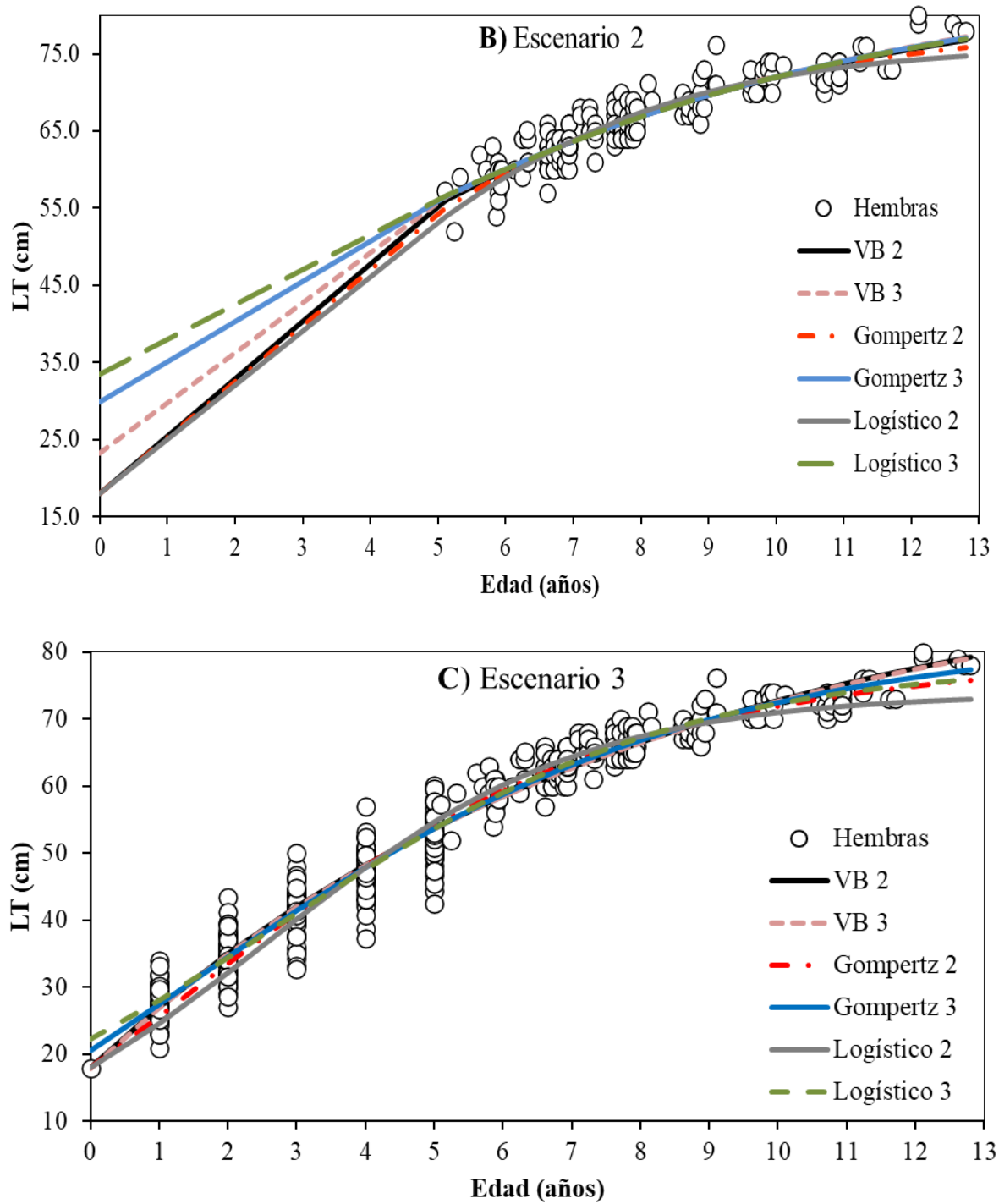


Figura 17. Modelos de crecimiento ajustados a los datos de longitud a la edad obtenidos de los conteos de las bandas de crecimiento de los cortes vertebrales de las hembras de *Pseudobatos glaucostigmus*: A) Escenario 1: edades observadas, B) Escenario 2: edades observadas con ajuste de edad, C) Escenario 3 (retrocálculo y edades observadas con ajuste de edad).

DISCUSIÓN

Composición de tallas y la distribución temporal de las hembras

La captura de *Pseudobatos glaucostigmus* del presente estudio estuvo compuesta principalmente por organismos de tallas grandes y en su mayoría hembras. Las pesquerías artesanales capturan principalmente rayas de tallas grandes que puedan ser comercializadas; mientras que los organismos pequeños son descartados al mar (Seck *et al.*, 2004, Márquez-Farías, 2005), resultando en una baja representación de organismos pequeños en la distribución de frecuencia de tallas.

En el presente estudio la talla máxima observada para las hembras fue menor a las tallas máximas reportadas para *P. glaucostigmus* por Garcés-García *et al.* (2020), López-López (2018), Lara-Mendoza (2016), Bizarro *et al.* (2009). Sin embargo, fue mayor a la reportada por González-González *et al.* (2020). Por el contrario, las tallas mínimas reportadas para el presente estudio fueron mayores a las reportadas en los estudios previos (Garcés-García *et al.*, 2020; López-López, 2018; Lara-Mendoza, 2016), excepto por González-González *et al.* (2020).

Tabla 7. Longitudes totales (LT) reportadas en estudios previos de *P. glaucostigmus*.

Medida (cm)	Hembras (Máx)	Machos (Máx)	Ambos sexos (Máx)	Hembras (Min)	Machos (Min)	Ambos sexos (Min)	Referencia	Región
LT	89	88					Bizarro <i>et al.</i> 2009	Sinaloa
LT	89.8	77		16	17		Lara-Mendoza, 2016	Sonora y Sinaloa
LT	85.5	75		15	14		López-López, 2018	Sinaloa y Nayarit
LT			82			14	Garcés-García <i>et al.</i> , 2020	Sinaloa y Nayarit
LT			75			59.5	González-González <i>et al.</i> , 2020	Isla Espíritu Santo
LT	80	59		52	54		Presente estudio	Santa Rosalía

Las diferencias entre las tallas reportadas para *P. glaucostigmus* de las costas de Sonora a Nayarit y la costa oriental del Golfo de California, podría deberse a la variación de artes de pesca de cada región, la reproducción, disponibilidad de alimento (Mariano-Meléndez, 1997), o factores ambientales como la salinidad (Mariano-Meléndez, 1997) y temperatura del agua (Schwartz, 1990).

En el Golfo de California predomina el uso de artes de pesca artesanales: se utilizan regularmente redes de enmalle (individuos pequeños pueden quedar atrapados, depende del tamaño de malla y de la especie) y palangre (usualmente pueden capturar organismos de mayor tamaño) (Cortés, 2000). Generalmente la captura se dirige hacia organismos grandes debido a su valor comercial y los organismos pequeños que no suelen ser utilizados por que no se puede aprovechar su carne, se regresan a mar.

En Santa Rosalía las rayas guitarra se capturan con redes de fondo (chicas y grandes) y son atrapadas incidentalmente en las redes de superficie grandes. Los pescadores durante todo el año utilizan diversos artes de pesca (red de fondo, red de superficie, línea de mano con anzuelo, palangres, trampas y buceo), dependiendo de la especie de importancia e interés comercial y de esa manera dirigen el mayor esfuerzo (Martínez-Riveaux, 2021). Se ha indicado que las redes funcionan como un sistema de selectividad, lo que explica la composición de las tallas de los organismos atrapados, las rayas más pequeñas que quedan atrapados en las redes, por lo regular los pescadores las descartan debido al tamaño (Márquez-Farias, 2007).

De acuerdo con el presente estudio, las capturas estuvieron representadas en su mayoría por hembras adultas (maduras sexualmente). Martínez-Riveaux, (2021) sugiere un proceso de segregación de sexos durante la expulsión de crías y el desarrollo de los individuos. Por otro lado, Lara-Mendoza (2016) menciona que en las costas de Sonora y Sinaloa *P. glaucostigmus* no presenta segregación espacio temporal por sexos, ni por estadios de madurez en la plataforma continental del Golfo de California. Este comportamiento fue similar al mencionado para la misma especie en el Pacífico Central mexicano (Jalisco y Colima) (Valadez-González, 2007). Sin embargo, existen algunos estudios para especies del mismo género y familia que han reportado segregación espacio temporal por sexos y en

estadios ontogénicos, tales como *P. productus* en Bahía Almejas (BCS, México) (Downton-Hoffman, 1996) y en *P. leucorhynchus* en el Pacífico colombiano (Payán *et al.*, 2011).

En los organismos adultos, la proporción de sexos no refleja necesariamente la proporción real en la población: La proporción sexual puede ser alterada por diversos factores, tales como la selectividad del arte de pesca, la zona de captura, la segregación de la especie, así como el periodo de captura. Hamlett (2005) y Martínez-Riveaux (2021) mencionan que la mejor estimación de la proporción de sexos es a través de embriones dentro de los úteros. Martínez-Riveaux, (2021) reportó para *P. glaucostigmus* una proporción sexual 1:1 en embriones para la zona de Santa Rosalía, BCS, México.

Relación entre la talla-radio vertebral

Las estructuras duras más utilizadas para la determinación de edad y estimación de crecimiento en peces cartilaginosos son las vértebras. Uno de los supuestos más importantes al utilizar vértebras o cualquier otra estructura dura, es que exista una proporcionalidad directa entre el crecimiento de dicha estructura y el tamaño del organismo (Cailliet y Goldman, 2004). Se ha reportado que el crecimiento de la vértebra suele estar asociado directamente a la aportación de minerales de calcio (hidroxiapatita en los elasmobranquios), y crecen depositando nuevas capas de material mineralizado a las capas preexistentes, por lo que estas capas son permanentes y aumentan de tamaño conforme pasa el tiempo (Ridewood, 1921; Clement, 1992; Smith *et al.*, 2013).

La relación entre la LT y el RV para *P. glaucostigmus* presentó una relación lineal positiva, lo cual indica que hay un crecimiento proporcional entre las dos variables. Por lo tanto, el tamaño de la vértebra aumenta proporcionalmente con la LT debido a que se depositan nuevas capas constituidas de material mineralizado sobre las capas ya existentes en las vértebras (Osuna-Peralta, 2012).

La proporcionalidad encontrada entre LT y RV en el presente estudio coincide con lo reportado por Lara-Mendoza (2016) para *P. glaucostigmus* en Sonora y Sinaloa, y por López-López (2018) para el sur de Sinaloa y norte de Nayarit. Este tipo de relación ha sido reportada también para otras especies de la misma familia como: *P. horkelii*, *P. percellens*, *Zapteryx*

brevirostris (Caltabellotta, 2019) y *P. productus* (Downton-Hoffman, 2007; Márquez-Farías, 2007; Medina-Trujillo, 2021).

Precisión y sesgo de los conteos

Debido a que el conteo de bandas de crecimiento en estructuras duras es un proceso subjetivo (Casselman 1983), es necesario evaluar la precisión de los conteos, ya que, en dicho proceso intervienen algunos factores como la experiencia de los lectores, la visibilidad de las bandas, la interpretación del patrón de crecimiento, entre otras (Campana *et al.*, 1995; Cailliet *et al.*, 2006). Uno de los principales retos en los estudios de edad y crecimiento es la identificación correcta de las bandas, este proceso es principalmente afectado por su visibilidad, como se ha visto en otras especies de elasmobranquios (Braccini *et al.*, 2007).

En el presente estudio, los valores intralector e interlector del CV calculados estuvieron por debajo del valor común observado en estudios de vértebras de elasmobranquios (<10%). Lo anterior sugiere que la precisión de los conteos de las bandas fue alta. Y, por lo tanto, los valores estimados de edad para *P. glaucostigmus* capturada por la pesquería artesanal en la zona de Santa Rosalía, BCS pueden considerarse como confiables (Beamish y Fournier, 1981; Campana, 2014).

Aunque el coeficiente de variación (CV) nos indica la variabilidad entre los conteos de cada lector y entre lectores, no indican la simetría o si el sesgo es sistemático (Cailliet y Goldman 2004). Las pruebas de simetría propuestas por Evans y Hoenig (1998) no mostraron diferencias significativas para el presente estudio, sin embargo, no hay algún otro punto de referencia para esta especie respecto a las pruebas de simetría, debido a que no se había reportado anteriormente.

Periodicidad de la formación de bandas de crecimiento

El análisis de tipo de borde e incremento marginal del presente estudio mostró resultados similares, infiriendo que un par de bandas se forma anualmente, siendo la banda opaca formada en los meses de primavera-verano y la translúcida en otoño-invierno. Se ha sugerido que la TSM está relacionada con la formación de las bandas de crecimiento (Sminkey y Musick, 1965, Anislado-Tolentino *et al.*, 2008). No obstante, también es asociada a otros

diversos factores que provocan cambios en el metabolismo, como el fotoperiodo, absorción de minerales, variaciones en la dieta, periodo reproductivo, crecimiento somático y forma del cuerpo (Branstetter, 1987, Anislado-Tolentino *et al.*, 2008; Natanson *et al.*, 2018; James y Natanson, 2020). Sin embargo, los mecanismos o factores que determinan la formación de las bandas de crecimiento en elasmobranquios aún se desconocen o no se han entendido completamente (Caltabellota *et al.*, 2019)

La periodicidad anual en la formación de las bandas de crecimiento ya había sido sugerida para *P. glaucostigmus* por Lara-Mendoza (2016). El análisis estadístico que presentó Lara-Mendoza (2016) no sugirió diferencias significativas del IM entre meses, pero se observó una tendencia del IM hacia una mayor formación durante mayo-junio, siendo respaldado por el análisis de bordes que presentó la mayor proporción de bordes opacos durante esos meses.

En el presente estudio no se contaron con muestras de mayo-julio, fue posible detectar la mayor presencia de bordes opacos durante los meses de agosto-octubre, correspondientes a la temporada cálida. Sin embargo, se presentó la mayor proporción de bordes translucidos durante diciembre-abril, coincidiendo con Lara-Mendoza (2016) quien reportó que de diciembre-enero se encontró la mayor presencia de bordes translucidos. Aunado a esto, se ha reportado una formación anual de estas bandas para otras especies de este género que habitan en el Golfo de California (Márquez-Farías, 2007; Downton-Hoffmann, 2007).

Los análisis de verificación de periodicidad del CEA e IM a través de herramientas estadísticas convencionales pueden no ser adecuados, debido a que se ignora la naturaleza circular de la formación de borde vertebral, lo cual podría interferir el poder estadístico para discriminar el tiempo de formación de la banda de crecimiento (Okamura y Semba, 2009; Okamura *et al.*, 2013).

La verificación de la periodicidad mediante la prueba estadística propuesta por Okamura *et al.* (2013) ha sido favorable para complementar la verificación de la formación de bandas de crecimiento en los estudios de edad y crecimiento, para *P. glaucostigmus* no ha sido aplicada anteriormente, pero si para otros elasmobranquios; *Isurus oxyrinchus*, *Urobatis*

halleri, *Myliobatis californica* (Rodríguez-Madrigal, 2018; Diliegos-Valencia, 2019; García-Rodríguez, 2021).

Estructura de edades

Las edades estimadas de los organismos muestreados de *Pseudobatos glaucostigmus* en Santa Rosalía durante el presente estudio, presentaron un menor intervalo de edades a los estudios previos (Lara-Mendoza, 2016; López-López, 2018). En los estados de Sonora y Sinaloa presentaron una edad máxima de 21 años, catalogándose como una de las especies más longevas de la familia Rhinobatidae. La edad máxima estimada ha sido para *R. rhinobatos*, siendo de 24 años en vértebras de una hembra en el norte del mar Mediterráneo, con una LT de 147 cm (Basusta *et al.*, 2008).

Las diferencias de edades encontradas se pueden atribuir a distintos factores. El presente estudio y estudios previos fueron realizados en el Golfo de California, aunque, en diferentes costas, por lo que podría tratarse de diferencias poblacionales. Entre las poblaciones de elasmobranchios es común la variación de los parámetros de historia de vida (edad, talla máxima, talla y edad de madurez y fecundidad) a diversas escalas espacio temporales. Dichas diferencias son más comunes cuando existen barreras oceanográficas (Frisk *et al.*, 2010). Sin embargo, no se ha comprobado la existencia de diferentes poblaciones de *P. glaucostigmus* en el Golfo de California. Las diferencias de edades se podrían atribuir también al tipo de muestreo, selectividad en los métodos, así mismo como en las zonas de pesca donde se llevan a cabo los arrastres de camarón y la pesca artesanal.

En el presente estudio las hembras fueron más abundantes, así como más longevas. La longevidad mayor de las hembras es una condición común en los elasmobranchios, incluida *P. glaucostigmus* (Lara-Mendoza, 2016) así como, otras especies de la familia Rhinobatidae (Márquez-Farías, 2007; Downton-Hoffmann, 2007) y algunas de las atribuciones son las diferencias en la dieta o condiciones ambientales (Goosen y Smale, 1997). Sin embargo, en el presente estudio las diferencias en edad entre sexos pueden ser atribuidas principalmente al sesgo en las tallas de los machos capturados.

Martínez-Riveaux (2021) menciona una mayor incidencia de hembras en los muestreos en Santa Rosalía en los meses de agosto a diciembre, atribuyéndolo a que se

acercan a la costa por protección y a la expulsión de crías. De igual manera, esta proporción sexual puede estar sesgada, debido al área de operación de la pesca artesanal, la cual se caracteriza por capturar a los organismos en zonas cercanas a la costa y a profundidades de 9 a 20 metros. Se encontró además que no hubo diferencias significativas en la proporción sexual en los embriones.

La pesquería artesanal se caracteriza por la captura de organismos adultos en su mayoría, en contraste, con la pesca de camarón que incide en organismos juveniles, principalmente de 0 a 4 años (Medina-Bautista, 2011; López-López, 2018), mientras que en el presente estudio presentaron edades a partir de los 5 años. Se ha señalado que muchos elasmobranquios utilizan las aguas costeras en las que opera la pesquería artesanal como zona de alumbramiento o refugio (Castillo-Géniz 2001, Bizzarro *et al.*, 2009)

Otro factor que puede causar diferencias en las edades y crecimiento estimados fue el uso del ajuste de edad. Dicha técnica permite obtener edades más exactas y una mejor distribución de edades a cada longitud de los organismos. Para *P. glaucostigmus* es la primera vez que se aplica; sin embargo, ya había sido utilizada previamente en otros estudios de edad para tiburones y rayas como *Carcharhinus limbatus*, *Isurus oxyrinchus*, *Zapterix exasperata* y *Urobatis halleri* (Tovar-Ávila *et al.*, 2014; Cervantes-Gutiérrez, 2018; Rodríguez-Madrigal, 2018; Diliégros-Valencia, 2019).

Modelos de crecimiento e inferencia multimodelo

El uso de diversos modelos para describir el crecimiento en organismos marinos, conocido como enfoque multimodelo, ha adquirido recientemente gran importancia, específicamente en elasmobranquios. La selección del modelo que se ajuste mejor a los datos de longitud-edad permite describir el crecimiento de una especie sin seleccionar *a priori* alguno (Cailiet *et al.*, 2006; Farrel *et al.*, 2010).

Se ha optado como una técnica conveniente el enfoque multimodelo por la comparación y selección de distintas funciones de crecimiento individual, que incluye modelos candidatos con características alternativas (Smart *et al.*, 2016). Las estimaciones de crecimiento tienen aplicaciones importantes con respecto a las evaluaciones de las poblaciones, y por consiguiente el manejo adecuado de los recursos marinos, es de suma

importancia seleccionar el modelo más adecuado con el fin de obtener estimaciones de crecimiento más confiables para las especies en cuestión.

Los modelos utilizados en el presente estudio fueron seleccionados con base en su uso frecuente para describir el crecimiento en elasmobranquios (Cailliet y Goldman, 2004), utilizando el criterio de información de Akaike (AIC) para selección del mejor modelo. Una de las ventajas de usar AIC es que los modelos se pueden ordenar jerárquicamente dependiendo de su ajuste a los datos, así como el número de parámetros estimados en los modelos evaluados.

La evaluación de más de un modelo de crecimiento permite evidenciar cual es el que mejor se ajusta a los datos obtenidos (Burnham y Anderson, 2002). Beninger *et al.* (2012) mencionan que, establecer una comparación entre diferentes modelos con distintas características (ejemplo: supuestos biológicos, tipos y formas de curva) resulta valioso para hacer inferencias objetivas sobre la estimación de crecimiento.

El modelo seleccionado *a priori* comúnmente en los estudios de edad y crecimiento ha sido el modelo de von Bertalanffy, sin embargo, se han propuesto otros modelos sigmoideos como Gompertz y Logístico para los batoideos que crecen más grandes en masa en lugar de longitud en comparación con los tiburones (Smart *et al.*, 2016). Para *P. glaucostigmus* la hipótesis de un tipo de crecimiento distinto al descrito por el modelo de von Bertalanffy ya ha sido probada en otro trabajo previo (Lara-Mendoza, 2016), donde los modelos sigmoideos mostraron un mejor ajuste a los datos. Otros estudios previos de edad y crecimiento realizados en batoideos han demostrado también que los modelos sigmoideos, como el de Gompertz (Schluessel, 2008; Bellodi *et al.*, 2016; Bařusta y Aslan, 2018) y el logístico (White *et al.*, 2014; Jañez *et al.*, 2018; Parsons *et al.*, 2018; Porcu *et al.*, 2020), proporcionan un ajuste mejor y parámetros de crecimiento con mayor sentido biológico que el modelo de von Bertalanffy para algunas especies.

El modelo de crecimiento de von Bertalanffy tiene a su vez el problema del uso del parámetro t_0 (edad teórica del pez a longitud cero), el cual no tiene sentido biológico y presenta un ajuste poco robusto, principalmente para batoideos, que ha sido demostrado en diversos estudios previos (Cailliet *et al.*, 2006; Araya y Cubillos, 2006; Barreto *et al.*, 2011). Por lo anterior, se ha sugerido y promovido el uso del modelo modificado por Fabens (1965)

donde se utiliza la talla a la edad cero (L_0) como un parámetro fijo, reduciendo la incertidumbre de un parámetro t_0 y usando uno que si tiene sentido biológico. Dicha modificación permite obtener una estimación de los parámetros de una forma más precisa al confrontarlos con los datos observados y es utilizada comúnmente para elasmobranchios (Guzmán-Castellanos *et al.*, 2014; Cailliet *et al.*, 2006)

En el presente estudio se propusieron tres escenarios utilizando los modelos von Bertalanffy, Gompertz y Logístico en sus versiones de dos y tres parámetros. En el escenario uno (datos observados) y el dos (edades ajustadas) de acuerdo con lo propuesto por Tovar-Ávila *et al.* (2017), los modelos de von Bertalanffy, Gompertz y logístico de tres parámetros presentaron un grado de ajuste adecuado a los datos en el escenario uno y dos bajo el criterio de información de Akaike, por lo que, los parámetros de crecimiento de las hembras fueron estimados mediante inferencia multimodelo.

La inferencia multimodelo (promedio ponderado del modelo) ha sido recomendada en otros estudios de edad y crecimiento, obteniendo estimaciones más robustas de los parámetros de crecimiento y su uso ha sido sugerido en taxones acuáticos (Katsanevakis, 2006, 2014; Katsanevakis y Maravelias, 2008; Thorson y Simpfendorfer, 2009; Smart *et al.*, 2016). El escenario uno y dos tienen en común que los datos longitud a edad ajustados a los modelos de crecimiento fueron de organismos adultos, es decir, faltaron tallas de juveniles.

La $L_{\infty\text{promedio}}$ estimada para las hembras del escenario 1 (von Bertalanffy, Gompertz y Logístico), mediante la inferencia multimodelo fue menor a la reportada por Lara-Mendoza (2016), por otro lado, en el escenario 2 (von Bertalanffy, Gompertz y Logístico) $L_{\infty\text{promedio}}$ estimada fue más cercana a la talla máxima reportada por Lara-Mendoza (2016) (89.9 cm LT).

En el escenario tres se usaron edades ajustadas y retrocalculadas, siendo los modelos sigmoides (Gompertz y logístico) los de mejor soporte empírico. Las funciones de crecimiento sigmoidales, en particular con los batoides, han descrito mejor el crecimiento de acuerdo con varios autores (Neer y Cailliet, 2001; Cailliet y Goldman, 2004; Neer y Thompson, 2005; Matta y Gunderson, 2007; Ainsley *et al.*, 2011). Esto se debe probablemente a que asumen una disminución exponencial en la tasa de crecimiento respecto

al tamaño del organismo (Katsanevakis, 2006; Katsanevakis y Maravelias, 2008), siendo uno de los modelos usados a menudo para describir el crecimiento en los primeros años de vida en peces (Goldman, 2005).

El escenario tres podría tener una mejor descripción del crecimiento para las hembras de *P. glaucostigmus* en la zona de Santa Rosalía, B.C.S., debido a que se incorporaron datos obtenidos mediante el retrocálculo y el ajuste de edad permitió una mejor representación de longitudes para los primeros años de vida. El modelo logístico de tres parámetros fue el que obtuvo un soporte empírico alto, sin embargo, la L_{∞} = 78.34 cm fue más baja a la talla máxima observada en la muestra (80 cm de LT) así como la talla máxima de la especie (89.4 cm LT) (Lara-Mendoza, 2016), debido a una L_{∞} produce una subestimación del parámetro k . Por otro lado, el modelo de Gompertz de tres parámetros, de acuerdo con Burnham y Anderson (2002) el soporte empírico obtenido se categoriza como bajo, pero la L_{∞} = 83.4 cm obtenida, es más cercana a la talla máxima de la especie y a la talla máxima de la muestra (89.4 y 80 cm de LT, respectivamente) y el parámetro k tendría menos posibilidad de ser subestimado. De acuerdo con Katsanevakis y Maravelias (2008) y Mejia-Falla (2014) al momento de elegir el “mejor” modelo de crecimiento, hay que tomar en cuenta el punto de vista biológico de los parámetros estimados, de acuerdo con la experiencia del investigador.

Lara-Mendoza (2016), menciona que el modelo que mejor describió el crecimiento para ambos sexos de *P. glaucostigmus* en Sonora y Sinaloa fue Gompertz de tres parámetros, aunque, en dicho estudio solo se compararon dos modelos (von Bertalanffy y Gompertz). Los parámetros de crecimiento de *P. glaucostigmus* estimados con los modelos Gompertz y logístico en el presente estudio fueron diferentes a los reportados por Lara-Mendoza (2016).

Las diferencias en los parámetros de crecimiento pueden deberse a diversos factores, uno de los más importantes es el tamaño de muestra (Calliet y Goldman, 2004; Thorson y Simpfendorfer, 2009). De igual manera, la selectividad del arte de pesca utilizado al momento de la captura, así como la estructura de tallas obtenida debido a la selección de los pescadores de acuerdo con el interés comercial de la especie, produciendo sesgos hacia ciertas tallas objetivo y la ausencia de otras. También la zona y profundidad donde se realice la pesca puede tener efectos en las tallas y edades muestreadas y en consecuencia las estimaciones de crecimiento (Braccini *et al.*, 2007; Thorson y Simpfendorfer, 2009).

Lara-Mendoza (2016) estimó una k para las hembras de las zonas de Sonora y Sinaloa ligeramente menor a las estimadas en el presente estudio para la zona de Santa Rosalía. Por otro lado, la k para las hembras de otras especies de la familia Rhinobatidae, como *P. productus* en el Golfo de California ($0.16-0.18 \text{ año}^{-1}$) se encuentran más cercanas a lo reportado para *P. glaucostigmus* para la zona de Santa Rosalía (Márquez-Farías, 2007; Downton-Hoffmann, 2007; Medina-Trujillo, 2021) (Tabla 7), donde se ha reportado diferencias en el crecimiento entre sexos, los machos crecen más rápido que las hembras. De acuerdo con Branstetter (1990), las especies que presentan una k entre 0.05 y 0.1 año^{-1} son de crecimiento lento, el crecimiento moderado oscila entre 0.1 y 0.2 año^{-1} y en las especies de crecimiento rápido varía entre 0.2 y 0.5 año^{-1} . Con base en los valores obtenidos para el coeficiente de crecimiento de *P. glaucostigmus* en el presente estudio, se consideraría una especie con una k moderada, coincidiendo con lo reportado previamente por Lara-Mendoza (2016).

Tabla 8. Comparación de parámetros de crecimiento estimados para *P. glaucostigmus* y *P. productus* en diferentes regiones de México.

Región	Especie	Sexo	Modelo	L_{∞} (cm)	k/g	L_0/t_0 año^{-1}
Sonora y Sinaloa, México¹	<i>P. glaucostigmus</i>	H	Gompertz (3 parámetros)	96.9	0.12	21.11
Zona de Santa Rosalía, B.C.S, México²	<i>P. glaucostigmus</i>	H	Gompertz	83.04	0.23	20.54
			Logístico (3 parámetros)	78.34	0.34	20.22
Sonora³	<i>P. productus</i>	H	Gompertz (3 parámetros)	90.4	0.18	20.3
Costa Occidental B.C. S⁴	<i>P. productus</i>	H	von Bertalanffy (3 parámetros)	136.69	0.16	0.83
Bahía Sebastián Vizcaíno⁵	<i>P. productus</i>	H	von Bertalanffy (2 parámetros)	138.1	0.16	

Referencias: Lara-Mendoza (2016)¹, Presente estudio², Márquez-Farías (2007)³, Downton-Hoffman (2007)⁴, Medina-Trujillo (2021)⁵.

El parámetro L_0 se considera como la talla promedio a la edad cero, donde se encuentran un intervalo amplio de tallas, como recién nacidos (neonatos) y hasta juveniles menores de un año (excepto cuando se realiza el ajuste de edad). En el presente estudio este parámetro se utilizó de dos formas en los modelos de crecimiento, inicialmente se incorporó para ser estimado dentro del modelo y en otra versión, el parámetro fue fijado, es decir, no se estimó. Este parámetro se ha usado por otros autores como la talla de nacimiento (Neer *et al.*, 2005; Baremoore *et al.*, 2009), lo que fue aplicado en el presente estudio, con base, en la literatura de la especie se seleccionó la talla de nacimiento promedio. Las estimaciones de L_0 obtenidas fueron menores a las reportadas para la especie por Lara-Mendoza (2016). Sin embargo, ambas fueron ligeramente mayores a las tallas de nacimiento reportadas para la especie (Lara-Mendoza, 2016; López-López, 2018).

Representar el crecimiento mediante modelos de forma diferente permitió seleccionar el que mejor se ajustó a los datos de longitud a edad y tener un mayor sentido biológico para *P. glaucostigmus*. Es importante explorar otras opciones de modelos flexibles que permitan incorporar de manera explícita la heterogeneidad de los datos de longitud a la edad (Troynikov y Walker, 1999; Tovar-Ávila *et al.*, 2009). Por ejemplo, las estimaciones bayesianas o que incorporen el costo de reproducción (Doño *et al.*, 2015; Minte-Vera *et al.*, 2016) y se puede describir de una mejor manera la biología de la especie en la zona de Santa Rosalía, B.C.S., con el fin de obtener estimaciones de edad y crecimiento con mayor confiabilidad, para el uso de análisis demográficos y métodos de evaluaciones para sus poblaciones (Cailliet y Goldman, 2004; Katsanevakis y Maravelias, 2008).

Retrocálculo

Fue necesario aplicar la técnica de retrocálculo, que permitió agregar datos de tallas y edades de juveniles que no se obtuvieron en el muestreo en campo y complementar los huecos que presentar las curvas de crecimiento en los escenarios 1 y 2. Los resultados obtenidos demostraron estimaciones de edad y crecimiento razonables con los datos retrocalculados. Lo que sustenta que la falta de juveniles en una muestra, son un factor principal que afectaría los resultados de los análisis (Smart *et al.*, 2013). Aunado a esto, se ha señalado que el retrocálculo es beneficioso para las clases juveniles y no tanto para las clases más longevas

(individuos maduros), debido a que los individuos longevos ya no crecen a la misma velocidad en comparación a los individuos juveniles (Smart *et al.*, 2013).

En el presente estudio, al realizar la comparación de diferentes escenarios se encontraron diferencias en los resultados entre el ajuste de los datos observados y el ajuste de datos retrocalculados, los cuales se ajustaron mejor a los modelos de crecimiento, debido a la falta de muestras de las clases juveniles en los datos observados.

La técnica de retrocálculo no había sido aplicada anteriormente para *P. glaucostigmus*, aunque el retrocalculo se ha utilizado para otras especies de elasmobranquios y la ecuación de Fraser-Lee ha sido la que mejor ajuste a los datos ha tenido, para el presente estudio y para los estudios previos fue favorable al momento de añadirla al ajuste de modelos de crecimiento individual (Aviña-Romero, 2016; Rodríguez-Madrigal, 2018).

Al usar el retrocálculo se sugiere utilizarlo con precaución, debido a la importancia de la medición de los radios de cada banda de crecimiento y la elección de la ecuación matemática correcta son importantes. De acuerdo, al tipo de relación longitud-radio vertebral, así como la detección de las bandas falsas de crecimiento (pueden alterar la estimación de edad) (Rodríguez-Madrigal, 2018), como pasó en *Mustelus antarcticus* que dichos factores alteraron los resultados (Walker, 1998b).

CONCLUSIONES

- En la zona de Santa Rosalía, B.C.S, México la distribución de las tallas de las hembras de *Pseudobatos glaucostigmus* es mayor que la de los machos en las capturas de la pesquería artesanal.
- La relación entre el radio vertebral y la longitud total de *P. glaucostigmus* es lineal, positiva y significativa.
- La precisión en los conteos de las lecturas con luz reflejada, intra e inter lector para la muestra de las vértebras es alta.
- Los análisis de borde e incremento marginal aplicados a las muestras de *P. glaucostigmus* sugieren la formación de bandas de crecimiento en las vértebras es anual.
- El ajuste de la edad permitió estimaciones de edad más precisas.
- La estructura de edades que se captura en la zona de Santa Rosalía, B.C.S de *P. glaucostigmus* tiene una mayor longevidad para las hembras, que para los machos.
- Los modelos sigmoideos (Gompertz y Logístico de tres parámetros) describieron de mejor manera el crecimiento de las hembras de la especie, sugiriendo un crecimiento moderado en comparación de otros elasmobranquios.

BIBLIOGRAFÍA

- Ainsley, S. M., D. A. Ebert y G. M. Cailliet. 2011. Age, growth, and maturity of the whitebrow skate, *Bathyraja minispinosa*, from the Eastern Bering Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 68:1426–1434.
- Akaike, H. 1973. Information theory as an extension of the maximum likelihood. En: BN Petrov y F Csaki (Eds). *Proceedings of the Second International Symposium on Information Theory*. Akademiai Kiado, Budapest, City. 267–228.
- Álvarez-Borrego, S. y R. Lara-Lara. 1991. The physical enviroment and primary productivity of the Gulf of California. En: Case, T. J., Cody, M.L. y Ezcurra, E. (eds.) *Island biogeography in the Sea of Cortez*. Editorial University of California Press. Primera Edición. California. 508:26-30.
- Anislado-Tolentino V., M. Gallardo-Cabello, F. Amezcua-Linares y C. Robinson-Mendoza. 2008. Age and growth of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) from the Southern coast of Sinaloa, México. *Hidrobiológica*, 18(1): 31–40.
- Araya, M. y L. A. Cubillos. 2006. Evidence of two-phase growth in elasmobranchs. *Enviromental Biology of Fishes*. 77: 293-300.
- Ashley, L.M. y R.B. Chiasson. 1988. *Laboratory Anatomy of the Shark*. Wm. C. Brown Publishers. 84 p.
- Aviña-Romero, M.J. 2016. Edad y crecimiento del tiburón sedoso, *Carcharhinus falciformis* (Müller y Henle, 1839) en el Pacífico Central Mexicano con enfoque multimodal y distintos métodos de ajuste de la edad. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara. CUC. 50 p.
- Basusta, N., S.A. Demirhan, E. Çiçek, A. Basusta y T. Kuleli. 2008. Age and growth of the common guitarfish, *Rhinobatos rhinobatos*, in Iskenderum Bay (north-eastern Mediterranean, Turkey). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 88(4): 837-842.

- Basusta, N. y E. Aslan. 2018. Age and growth of bull ray *Aetomylaeus bovinus* (Chondrichthyes: Myliobatidae) from the northeastern Mediterranean coast of Turkey. *Cahiers de Biologie Marine*, 59: 107–114.
- Baremore, I.E., K.I. Andrews y L.F. Hale. 2009. Difficulties associated with modelin growth in the Atlantic angel shark (*Squatina dumeril*). *Fisheries Research*. 99: 203–209.
- Barreto, R.R., R.P. Lessa, F.H. Hazin y F.S. Santana. 2011. Age and growth of blacknose shark *Carcharhinus acronotus* (Poey, 1860) off the Northeastern Brazilian coast. *Fisheries Research*. 110: 170-176.
- Beamish R. J. y D. A. Fournier. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 38. 982 – 983.
- Bellodi, A., C. Porcu, R. Cannas, A. Cau, M.F. Marongiu, A. Mulas, S. Vittori y M.C. Follesa. 2016. Life-history traits of the long-nosed skate *Dipturus oxyrinchus*. *J. Fish Biol.*, 90: 867–888.
- Beninger, P. G., I. Boldina y S. Katsanevakis. 2012. Strengthening statistical usage in marine ecology. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 426- 427:97-108.
- Bizzarro, J.J, W.D Smith, J.L Castillo-Géniz, A. Ocampo-Torres, J.F Márquez-Farías y R.E Hueter. 2009. The seasonal importance of small coastal sharks and rays in the artisanal elasmobranch fishery of Sinaloa, Mexico. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. 4(4): 513–531.
- Bizarro, J.J. 2016. *Pseudobatos glaucostigmus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: *Pseudobatos glaucostigmus* (Speckled Guitarfish).
- Blanco-Parra, M., J.F Márquez-Farías y F. Galván-Magaña. 2009. Reproductive biology of the banded guitarfish, *Zapteryx exasperata*, from the Gulf of California, México. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 89(8): 1655–1662.
- Braccini, J.M., B.M. Gillanders, T.I. Walker y J. Tovar-Ávila. 2007. Comparison of deterministic growth models fitted to leng that- age data of the piked spurdog (*Squalus megalops*) in south-eastern Australia. *Marine and Freshwater Research*. 58: 24–33.

Branstetter S., J.A. Musick y J.A. Colvocoresses. 1987. A comparison of the age and growth of Tiger shark, *Galeocerdo cuvier*, from Virginia and from the Northwestern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin*. 85(2): 269-279.

Branstetter, S.D. 1990. Early life history implications of selected carcharhinoid and lamnoid sharks of the Northwest Atlantic. In: Gruber, S.H. y T. Taniuchi. (Eds). *Elasmobranchs as living resources: advances in biology, ecology, systematics, and status of fisheries*. US. Dep. Commer. NOAA. Technical Report. 90 p.

Burnham, K.P y D.R. Anderson. 2002. *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*, 2nd ed. Springer, New York. 485 p.

Cailliet, G. M. Martin, L. K. Kusher, D. Wolf, P. y B.A. Welden. 1983. Techniques for enhancing vertebral bands in age estimation of California elasmobranch, 157–165. In: Price E. D. y L. M. Pulos (eds.), *Proceedings of the International workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks*. U. S. Dep. Commer. NOAA Tech. Rep. NMFS 8.

Cailliet, G.M., A.H. Andrews, E.K. Burton, D.L. Watters, D.E. Kline y L.A. Ferra-Graham. 2001. Age determination and validation studies of marine fishes: Do deep-seawater dwellers live longer?. *Elsevier Science Inc. Experimental Gerontology* 36:739-29.

Cailliet, G. M. y K.L. Goldman. 2004. Age determination and validation in chondrichthyan fishes. In: J. Carrier, J. A. Musick y M.R. Heithaus (eds.). *Biology of sharks and their relatives*. CRC Press LLC, Boca Raton, FL. 399-447.

Cailliet, G. M., W. D. Smith, H. F. Mollet, y K. J. Goldman. 2006. Age and Growth Studies of Chondrichthyan Fishes: The Need for Consistency in Terminology, Verification, Validation, and Growth Function Fitting. *Environmental Biology of Fishes* 77: 211–28.

Caltabellota, F. P., Z.A. Siders, D.J. Murie, F.S. Motta, G.M. Cailliet, O.B.F, 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*. 95:1236–1248.

Campana, S.E., M.C. Annand y J.I. McMillan 1995. Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations. Transactions of the American Fisheries Society, 124: 131–138.

Campana S. E. 2014. Age determination of elasmobranchs, with special reference to Mediterranean species: a technical manual. Studies and Reviews. General Fisheries Commission for the Mediterranean. No. 94. Rome, FAO. 38 p.

Casselman J.M. 1983. Age and growth assessment of fish from their calcified structures techniques and tools. NOAA Tech. Rep. 8. NMFS, USA.

Castillo-Géniz J.L. 2001. Aspectos biológico-pesqueros de los tiburones que habitan las aguas el Golfo de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Tesis de maestría. Biología de Sistemas y Recursos Acuáticos. 150 p.

Cervantes-Gutiérrez, F. 2018. Demografía de la raya guitarra pinta *Zapteryx exasperata* (Jordan & Gilbert, 1880) en la costa occidental de Baja California Sur. Tesis para obtener el grado de Doctorado en Ciencias Marinas. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). 126 p.

Chang, W.Y.B. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, 39(8): 1208–1210.

Chen, Y.D, A. Jackson y H.H Harvey. 1991. A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in modeling fish growth data. Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences 49(6): 1228–1235.

Clement, J.G. 1992. Re-examination of the fine structure of endoskeletal mineralization in Chondrichthyes: implications for growth, ageing and calcium homeostasis. Australian Journal of Marine and Freshwater Research. 43: 157-181.

CONAPESCA, 2018. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. México. 293 p.

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

- Diliegros-Valencia, M.L. 2019. Edad y crecimiento de la raya redonda *Urobatis halleri* (Cooper, 1863) en el sur de Sinaloa y norte de Nayarit, México. Tesis Licenciatura. Universidad Veracruzana. 69 p.
- Doño, F., S. Montealegre-Quijano, A Domingo y P.G Kinas. 2015. Bayesian age and growth analysis of the shortfin mako shark *Isurus oxyrinchus* in the western South Atlantic Ocean using a flexible model. *Environ Biol Fish*, 98(2): 517-33.
- Downton-Hoffmann, C.A. 1996. Estrategia reproductiva de la guitarra, *Rhinobatus productus*, (Ayres 1856), en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis Licenciatura. Depto. Biol. Mar, UABCS. La Paz, B.C.S. 51 p.
- Downton-Hoffmann, C.A. 2007. Biología del pez guitarra *Rhinobatus productus*, (Ayres 1856), en Baja California Sur, México. Tesis Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN. La Paz, B.C.S. 215 p.
- Escalante, F., J.E Valdez-Holguín, S. Álvarez-Borrego y J.R. Lara-Lara. 2013. Variación temporal y espacial de temperatura superficial del mar, clorofila a y productividad primaria en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 39(2): 203–215.
- Evans, G.T y J.M Hoenig. 1998. Testing and viewing symmetry in contingency tables, with application to readers of fish ages. *Biometrics*, 54: 620–629.
- Fabens, A. J. 1965. Properties and fitting of the von Bertalanffy growth curve. *Growth*, 29: 265-289.
- Farrell, E.D., S. Mariani y M. W. Clarke. 2010. Age and growth estimates for the starry smoothhound (*Mustelus asterias*) in the Northeast Atlantic Ocean. *ICES Journal of Marine Science*, 67:931-939.
- Francis, R.I.C.C. 1990. Back-calculation of fish length: a critical review. *J Fish Biol*, 36(6): 883–902.
- Frisk, M.G. 2010. Life History Strategies of Batoids. En: Carrier, J.C. & Musick, J.A. & Heithaus, M.R. (Eds) *Sharks and Their Relatives II: Biodiversity, Adaptive Physiology, and Conservation*. CRC Press, Boca Raton: 283–318.

Garcés-García, K.C., J. Tovar-Ávila, B. Vargas-Trejo, D.A. Chávez-Arrenquín, T.I. Walker, W.D. Robert. 2020. Elasmobranch bycatch by prawn trawls in the Gulf of California: First comprehensive analysis and the effect of fish escape devices. *Fisheries Research*, Volume 230; 105639.

García-Rodríguez, A. 2021. Demografía de la raya *Myliobatis californica* (Gill, 1865), en el noroeste de Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinarios de Ciencias Marinas. 156 p.

Goosen, A. J. y M. J. Smale. 1997. A preliminary study of age and growth of the smooth-hound shark, *Mustelus mustelus* (Triakidae). *South African Journal of Marine Science*. 18:85-91.

Goldman, K. J. 2004. Age and Growth of Elasmobranch Fishes. *Elasmobranch Fisheries Management Techniques*. 97–132.

Goldman K. J., G.M. Cailliet, A. H. Andrews y L.J. Natanson. 2012. Assessing the age and growth of chondrichthyan fishes. 419–447, En: Carrier, J., J. A. Musick & Heithaus M. R (Eds.). *Biology of Sharks and their relatives*, 2nd edn. CRC Press LLC, Boca Raton, FL.

González-González, L. V., V. H. Cruz-Escalona, N. R. Ehemann, G. De La Cruz-Agüero, L. A. Abitia-Cárdenas, P. A. Mejía-Falla y A. F. Navia. 2020. Riqueza y abundancia relativa de los batoideos de la pesquería artesanal en el archipiélago Espíritu Santo, BCS, México. *Hidrobiológica* 30 (1):37-47.

Guzman-Castellanos, A. B., E. Morales-Bojórquez y E. F. Balart. 2014. Estimación del crecimiento individual en elasmobranquios: la inferencia con modelos múltiples. *Hidrobiología*. 24(2): 137-150.

Haddon, M. 2001. *Modelling and quantitative methods in fisheries*. Chapman & Hall. Washington, D.C. 406 p.

Hamlett, W.C. 2005. *Reproductive biology and phylogeny of Chondrichthyes: Sharks, Batoids and Chimaeras*. Science Publishers, Inc. Vol. 3. 562 p.

Holden, M. J. 1977. Elasmobranchs. En J. A. Gulland (editor), *Fish Population Dynamics*, J. Wiley and Sons. Londres. 117-215.

INAPESCA. 2016. Tiburones Mexicanos de Importancia Pesquera en la CITES. Instituto Nacional de Pesca. México. 95 p.

IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. <www.iucnredlist.org>.

James, K.C. y L.J. Natanson. 2020. Positional and ontogenetic variation in vertebral centra morphology in five batoid species. *Marine and Freshwater Research* 72:887-898.

Jiménez, A., S.G. Marinone y A. Parés-Sierra. 2005. Efecto de la variabilidad espacial y temporal del viento sobre la circulación en el Golfo de California. *Ciencias marinas*, 31(2): 357–368.

Jañez, J.A., F.J. Meijide, L.O. Lucifora, C. Abraham y F. Argemi. 2018. Growth and reproduction in captivity unveils remarkable life-history plasticity in the smallnose fangshark, *Sympterygia bonapartii* (Chondrichthyes: Rajiformes). *Neotropical Ichthyology*, 16(4): e180013

Jordan, D.S. y C.H. Gilbert. (1883). Descriptions of a New Species of *Rhinobatus* (*Rhinobatus glaucostigma*) from Mazatlán, Mexico. *Proceedings of the United States National Museum*, 6: 210–211.

Katsanevakis, S. 2006. Modelling fish growth: model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research*, 81: 229–235.

Katsanevakis, S. y Maravelias, C.D. 2008. Modelling fish growth: Multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish and Fisheries* 9(2): 178–187.

Katsanevakis, S. 2014. Inferencia con modelos múltiples y selección de modelos en pesquerías mexicanas. *Cienc. Pesq.*, 22(1): 3–5.

Lara-Mendoza, R.E. 2016. Biología, ecología trófica y demográfica de la raya guitarra pinta, *Rhinobatos glaucostigma* (Rajiformes: Rhinobatidae), del Golfo de California. Tesis de Doctorado. Universidad autónoma de Sinaloa, FACIMAR. Mazatlán, Sinaloa. 184 p.

Last, P.R., W.T. White, M.R. de Carvalho, B. Séret, M.F.W. Stehmann y G.J.P. Naylor (Eds.). 2016. *Rays of the World*. Comstock Publishing, 832 p.

- López-López, L. E. 2018. Estructura de talla y edad de tres especies de rayas (*Hypanus dipterus*, *Pseudobatos glaucostigma* y *Rhinoptera steindachneri*) capturadas incidentalmente en arrastres de camarón en la entrada del Golfo de California. Tesis Licenciatura. Universidad de Guadalajara, CUCBA. Zapopan, Jalisco. 88 p.
- Mariano-Meléndez, E. 1997. Biología reproductiva de la raya lodera *Dasyatis brevis* (Garman, 1880), en la Bahía Almejas, B.C.S., México. Tesis de Licenciatura. UABCS. La Paz, B. C. S., México. 46 p.
- Martínez-Riveaux, D. C. 2021. Biología de la reproducción de *Pseudobatos glaucostigmus* (JORDAN & GILBERT, 1883) en Santa Rosalía, Baja California Sur, México. Tesis Maestría. Instituto Politécnico Nacional, CICIMAR, B.C.S. México. 71 p.
- Márquez-Farías, J.F. 2005. Gillnet mesh selectivity for the shovelnose guitarfish (*Rhinobatos productus*) from fishery-dependent data in the artisanal ray fishery of the Gulf of California, Mexico. *Journal of Northwest Atlantic Fisheries Sciences*. (35): 443–452.
- Márquez-Farías, J.F. 2007. Demografía del pez guitarra, *Rhinobatos productus* (Ayres, 1854), del golfo de California. Tesis doctoral. CIBNOR, S. C. La Páz, B.C.S. 147 p.
- Márquez-Farías, J.F. y M.P. Blanco-Parra. 2006. Las rayas del Golfo de California. Sustentabilidad y Pesca Responsable en México, Evaluación y Manejo. INAPESCA, SAGARPA, México 20 p.
- Matta, M. E. y D. R. Gunderson. 2007. Age, growth, maturity, and mortality of the Alaska skate, *Bathyraja parmifera*, in the eastern Bering Sea. *Environmental Biology of Fishes*. 80:309–323.
- Medina-Bautista, J. 2011. Elasmobranquios capturados por la pesquería de arrastre camaronero en el Golfo de Tehuantepec. Tesis de licenciatura. Universidad del Mar. Puerto Ángel, Oaxaca, México. 95 p.
- Medina-Trujillo, E. C. 2021. Pesquería y demografía de la guitarra blanca, *Pseudobatos productus*, en Bahía Sebastián Vizcaíno, México. Tesis de doctorado. CICESE. Ensenada, Baja California. 111 p.

Mejía-Falla, P.A., E. Cortés, A.F. Navia y F.A. Zapata. 2014. Age and growth of the round stingray *Urotrygon rogersi*, a particularly fast-growing and short-lived elasmobranch. Plos one. 9:4.

MIA-P Muelle de Transición de Construcción a Operación y Amarradero de Espera Proyecto 09027, Minera y Metalúrgica del Boleo SAPI de C.V., Diciembre 2009, Santa Rosalía, Baja California Sur.

Minte-Vera, C.V., M.N. Maunder, J.M. Casselman y S.E. Campana. 2016. Growth functions that incorporate the cost of reproduction. Fish Res, 180: 31–44.

Mollet, H.F., J.M. Ezcurra y J.B. O’Sullivan. 2002. Captive biology of the pelagic stingray, *Dasyatis violacea* (Bonaparte, 1832). Marine and Freshwater Research, 53: 531–541

Navarro-González, J. A., J. Bohórquez-Herrera, A.F. Navia y V.H. Cruz-Escalona. 2012. Diet composition of batoids on the continental shelf off Nayarit and Sinaloa, Mexico. Ciencias Marinas 38(2), 347-362.

Natanson, L. J., G.B. Skomal, S. Hoffmann, M. Porter, K.J. Goldman y D. Serra. 2018. Age and growth of elasmobranchs: do band pairs on vertebral centra record age? Marine and Freshwater Research 69, 1440– 1452.

Neer, J.A. y G. M. Cailliet. 2001. Aspects of the life history of the Pacific electric ray, *Torpedo californica* (Ayers). Copeia, (3): 842–847.

Neer, J. A., y B. A. Thompson. 2005. Life history of the cownose ray, *Rhinoptera bonasus*, in the northern Gulf of Mexico, with comments on geographic variability in life history traits. Environmental Biology of Fishes, 73(3): 321–331.

Ogle, D.H. 2013. FishR Vignette - Back-Calculation of Fish Length. Ashland, Wisconsin.

Okamura, H. y Y. Semba. 2009. A novel statistical method for validating the periodicity of vertebral growth band formation in elasmobranch fishes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 66. 771–780.

- Okamura H, AE Punt, Y Semba y M Ichinokawa. 2013. Marginal increment analysis: a new statistical approach of testing of temporal periodicity in fish age verification. *J Fish Biol*, 82(4): 1239-1249.
- Osuna-Peralta, Y.R. 2012. Edad y crecimiento de la raya eléctrica *Narcine vermiculatus* (Breder, 1928) de la costa sur de Sinaloa. Tesis de maestría. FACIMAR-UAS. Mazatlán, Sinaloa. 61 p.
- Panfili J., H. de Pontual, H. Troadec, P.J. Wright (eds). 2002. Manual of fish sclerochronology. Ifremer-IRD coedition, Brest, France, 464 p.
- Parsons, K.T., J. Maisano, J. Gregg, C.F. Cotton y R.J. Latour. 2018. Age and growth assessment of western North Atlantic spiny butterfly ray *Gymnura altavela* (L. 1758) using computed tomography of vertebral centra. *Environmental biology of fishes*, 101(1): 137–151.
- Payán, L.F., A.F. Navia, E.A. Rubio y P.A. Mejía-Falla. 2011. Biología de la raya guitarra *Rhinobatos leucorhynchus* (Günther, 1867) (Rajiformes: Rhinobatidae) en el Pacífico colombiano. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 39(2): 286-296.
- Pollom, R., Avalos, C., Bizzarro, J.J., Burgos-Vázquez, M.I., Cevallos, A., Espinoza, M., González, A., Herman, K., Mejía-Falla, P.A., Morales-Saldaña, J.M., Navia, A.F., Pérez Jiménez, J.C. & Sosa-Nishizaki, O. 2020. *Pseudobatos glaucostigmus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020.
- Porcu, C., A. Bellodi, A. Cau, R. Cannas, M.F. Marongiu, A. Mulas y M.C. Follesa. 2020. Uncommon biological patterns of a little known endemic Mediterranean skate, *Raja polystigma* (Risso, 1810). *Regional Studies in Marine Science*, 34: 101065.
- Ramírez-Amaro, S.R., D. Cartamil, F. Galván-Magaña, G. González-Barba, J. B. Graham, M. Carrera-Fernández, O. Escobar-Sánchez, O. Sosa-Nishizaki, A. Rochín-Alamillo. 2013. The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California Sur, México, management implications. Barcelona, España. *Scientia Marina* 77(3): 473-487.

- Rodríguez-Figueroa, G.M. 2004. Geoquímica de los oligoelementos, elementos mayores y elementos de las tierras raras, en los sedimentos marinos del distrito minero de Santa Rosalía, B.C.S., México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 137 p.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Fish. Res Board Can Bull, 191: 382 p.
- Ricker, W.E. 1979. Growth Rates and Models. 677–743. In: Hoar, W.S., D.J. Randall y J.R. Brett (Eds.), Fish Physiology, vol. 8. Academic Press, New York.
- Ridewood, W.G. 1921. On the calcification of the vertebral centra of sharks and rays. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 210B(8): 311-407.
- Rodríguez-Madrigal, J.A. 2018. Estimación de crecimiento del tiburón mako (*Isurus oxyrinchus*) en el Pacífico Mexicano mediante inferencia multimodal y distintos métodos para estimar la edad. Tesis Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 81 p.
- Roden, J.I. y I. Emilson. 1980. Oceanografía física del Golfo de California. Centro de Ciencias del Mar y Limnología Universidad Nacional Autónoma de México. Contribución, 90: 67 p.
- Rosa-Meza, K., O. Sosa-Nishizaki y H. Cueva-Salcedo. 2013. Feeding habits of the speckled guitarfish *Rhinobatos glaucostigma* (Elasmobranchii, Batoidea) in the southeastern Gulf of California. Ciencias Marinas 39(3), 277-290.
- Salinas-Zavala, C. A., Lluch-Cota, D. B., Hernández-Vázquez, S., Lluch-Bela, D. 1992. Anomalías de precipitación en Baja California Sur durante 1990. Posibles causas.
- Sandoval-Castillo, J., Rocha-Olivares, A., Villavicencio- Garayzar, C. y Balart, E. 2004. Cryptic isolation of Gulf of California shovelnose guitarfish evidenced by mitochondrial DNA. Marine Biology 145, 983–988.
- Schluessel, V. 2008. Life history, population genetics and sensory biology of the whitespotted eagle ray *Aetobatus narinari* (Euphrasen, 1790) with emphasis on the relative importance of olfaction. PhD Thesis, University of Queensland. 344 p.

Schwartz, F.J. 1990. Mass migratory congregations and movements of several species of cownose rays, genus *Rhinoptera*: A world-wide review. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society*, 106(1): 10–13.

Seck A. A., M. Diatta, M. Diop, O. Guélorget, C. Reynaud y C. Capapé. 2004. Observation on the reproductive biology of the blackchin guitarfish, *Rhinobatos cemiculus* E. Geoffroy Saint-Hilaire, 1817 (Chondrichthyes, Rhinobatidae) from the coast of Senegal (Eastern Tropical Atlantic). *Scientia Gerundensis*, 27: 19–30.

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 Fish*, 17(4): 955–971.

Smith, W.D., J.A. Miller y S.S. Heppell. 2013. Elemental markers in elasmobranchs: effects of environmental history and growth on vertebral chemistry. *Plos One*. 8:10.

Sminkey, T. R. y J. A. Musick. 1996. Age and growth of the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*, before and after population depletion. *Copeia*. 4:871-883.

Stevens, J.D., R. Bonfil, N.K. Dulvy y P.A. Walker. 2000. The effect of fishing on sharks, rays and chimaeras (Chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. *ICES. Journal of Marine Science*. 57: 476-494.

Thorson, J.T. y C.A. Simpfendorfer. 2009. Gear selectivity and sample size effects on growth curve selection in shark age and growth studies. *Fisheries Research*, 98: 5–84.

Torrejón-Arellano, N. 2017. La ictiofauna asociada al muelle de punta el limantur, en Santa Rosalía, Baja California Sur, México. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 99 p.

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.

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 p.

- Troynikov V.S y T.I Walker. 1999. Vertebral size-at-age heterogeneity in gummy shark harvested off southern Australia. *J Fish Biol*, 54(4): 863–877.
- Valadez-González, C. 2007. Distribución, abundancia y alimentación de las rayas bentónicas de la costa de Jalisco y Colima, México. Tesis Doctorado. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S. México. 119 p.
- Villavicencio–Garayzar, C. 1993. Biología reproductiva de *Rhinobatos productus* (Pisces: Rhinobatidae), en Bahía Almejas, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical*. 41: 441-446.
- Von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of the organic growth (inquires on growth laws II). *Human Biology*, 10(2): 181–213.
- Walker, T.I. 1998a. Can shark resources be harvested sustainably? A question revisited with a review of shark fisheries. *Marine and Freshwater Research* 49: 553–572.
- Walker, T.I, B.L. Taylor, J.H. Russell, J. Hudson y J.P Cottier. 1998b. The phenomenon of apparent change of growth rate in gummy shark (*Mustelus antarcticus*) harvested off southern Australia. *Fish Res*, 39(2): 139–163.
- Walker, T.I. 2004. Chapter 13. Management measures. En: Musick JA y Bonfil R (Eds), *Technical Manual for the Management of Elasmobranchs*. Asia Pacific Economic Cooperation Secretariat, Singapore, 285–321.
- White, J., C.A. Simpfendorfer, A.J. Tobin y M.R. Heupel. 2014. Age and growth parameters of shark-like batoids. *Journal of Fish Biology*, 84(5): 1340–1353.
- Wilson, C.A., E.B. Brothers, J.M. Casselman, C.L. Smith y A. Wild. 1983. Glossary. NOAA Technical Report National Marine Fisheries Service. 8: 207.