



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR



MAESTRÍA EN CIENCIAS EN RECURSOS ACUÁTICOS

**Estimación de la edad y crecimiento en el botete
diana *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) en
las costas de Sinaloa**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS ACUÁTICOS
EN EL ÁREA DE PESQUERÍAS**

PRESENTA:

Villegas Reyes Fernando

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Jorge Saúl Ramírez Pérez

Dr. Hugo Aguirre Villaseñor

Mazatlán, Sinaloa, México, enero de 2024.



Dirección General de Bibliotecas
Ciudad Universitaria
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57
dgbuas@uas.edu.mx

UAS-Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional Buelna

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial
Compartir Igual, 4.0 Internacional



Resumen

El botete diana *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) es un recurso de constante demanda, para consumo directo en la costa de Sinaloa, sin embargo, se conoce poco de su biología básica. En el presente trabajo se describe la edad y crecimiento por sexos a partir de la lectura de bandas (hialina-opaca) en vértebras, bajo la hipótesis de que las bandas presentan una formación anual. De abril 2014 a octubre 2015 se muestrearon 831 organismos silvestres y 76 organismos cultivados de octubre 2016 a agosto 2017 con un intervalo de tallas de 67 a 440 mm de *LT*, reportando una proporción sexual (hembra:macho) de 1:0.8. Se encontró una relación lineal positiva entre el diámetro vertebral y *LT*, lo cual nos indica que la vértebra crece proporcionalmente con el cuerpo. Se demostró que la periodicidad de la formación de bandas de crecimiento es anual, el mayor porcentaje de bordes hialinos se encontró entre los meses abril-mayo, mientras que el mayor porcentaje de borde opaco se encuentra en los meses de agosto-septiembre. Las hembras mostraron de 0 a 8 pares de bandas y los machos de 0 a 7 pares de bandas. Para la modelación del crecimiento se utilizaron cinco modelos de Schnute, para la inferencia multimodelo se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC), el modelo que mejor describe el crecimiento, tanto para el total de la muestra como por sexos, fue el modelo 3 de Schnute, obteniendo un peso ponderado de AIC (W_i) > 57%. La prueba de Kimura mostró que existen diferencias significativas de crecimiento por sexo ($p < 0.05$) para los modelos 1 y 3.

Palabras clave: Akaike, bandas de crecimiento, inferencia multimodelo, modelos de Schnute, vértebras.

Abstract

The puffer fish *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) is a resource in constant demand for direct consumption, on the Sinaloa coast. However, little is known of its basic biology. This paper describes the age and growth by sex, from the reading of bands (hyaline-opaque) in vertebrae, under the hypothesis that the bands present an annual formation. From April 2014 to October 2015, 831 wild organisms and 76 cultivated organisms were sampled from October 2016 to August 2017 with a size interval of 67 to 440 mm TL, reporting a sexual ratio (female:male) of 1:0.8. A positive linear relationship was found between the vertebral diameter and *TL*, which indicates that the vertebra grows proportionally with the body. It was shown that the periodicity of the formation of growth bands is annual, the highest percentage of hyaline edges was found between the months of April-May, while the highest percentage of opaque edge is found in the months of August-September. Females showed 0 to 8 band pairs and males 0 to 7 band pairs. For growth modeling, five Schnute models were used, for multi-model inference the Akaike information criterion (AIC) was used, the model that best describes growth, both for the total sample and by sex, was the model 3 of Schnute, obtaining a weighted weight of AIC (W_i) > 57%. The Kimura test showed that there are significant differences in growth by sex ($p < 0.05$) for models 1 and 3.

Key words: Akaike, growth bands, multimodel inference, Shnute models, vertebrae.

Dedicatoria

Con especial dedicación a mi mamá María del Rosario Reyes Olivas. Gracias a ti soy la persona que soy. Tus enseñanzas y valores prosperarán por siempre en mí. Espero poder seguir haciéndote sentir orgullosa en todos los aspectos de la vida. Te mando un fuerte abrazo donde quiera que estés madre de mi alma.

A mi papá Fernando Villegas Hernández por ser parte fundamental de mi vida. Gracias a ti tomé esta vocación tan maravillosa, me has enseñado bastante y me has ayudado a superarme con tu claro ejemplo.

A mi novia Jessica Sánchez Morales por ser parte de este y muchos procesos más de mi vida, por estar siempre apoyándome sea cual sea la situación.

A mis hermanas Brenda y Albertina por siempre velar por mí.

A mis suegros Alicia Morales y Nicanor Sánchez porque también han sido parte de este proceso y no han dejado de apoyarnos.

Sin olvidarme de mis compañeros de generación y amigos que hicieron más ameno el proceso del posgrado.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada para la realización de la Maestría en Ciencias en Recursos Acuáticos. Número de beca 1081747.

A la Universidad Autónoma de Sinaloa que a través de la Facultad de Ciencias del Mar me han permitido desarrollarme académicamente.

Al Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera Mazatlán (CRIAP-Mazatlán) por permitir el uso de datos, así como de sus instalaciones.

A mis directores de tesis. El Dr. Hugo Aguirre Villaseñor y el Dr. Jorge Saúl Ramírez Pérez por su constante ayuda y paciencia para enseñarme. Su asesoramiento fue vital para poder llevar a cabo este trabajo.

A los miembros del comité. El Dr. Casimiro Quiñonez Velázquez, el Dr. José Adán Félix Ortiz y al Dr. Marcelino Ruíz Domínguez por las constantes correcciones, aportaciones, sugerencias que se me dieron en cada evaluación.

Índice

I.- Introducción	1
II.- Antecedentes	3
II.1.- Biología de la especie	3
II.2.- Distribución.....	5
II.3.- Reproducción.....	6
II.4.- Edad y crecimiento.....	7
II.5.- Inferencia multi-modelo	8
III.- Justificación	10
IV.- Hipótesis	10
V.- Objetivo General.....	10
VI.- Objetivos Particulares.....	11
VII.- Área de estudio.....	11
VIII.- Materiales y método	12
VIII.1.- Trabajo de laboratorio	13
VIII.2.- Lectura de las bandas de crecimiento	14
VIII.3.- Distribución de tallas	16
VIII.4.- Proporción sexual	16
VIII.5.- Relación entre el diámetro de la vértebra y longitud total del pez	16
VIII.6.- Periodicidad de la formación de bandas	17
VIII.7.- Verificación y precisión de las lecturas	18
VIII.8.- Modelos de crecimiento individual.....	19
VIII.9. Inferencia multimodelo (criterio de Akaike)	23
IX. Resultados	24
IX.1.- Muestreo	24
IX.2.- Composición de tallas	25
IX.3.- Proporción sexual	27
IX.4.- Relación del diámetro vertebral y longitud total	28
IX.5.- Periodicidad de la formación de bandas de crecimiento.....	29
IX.6.- Verificación y precisión de las lecturas	33
IX.7.- Estructura de edad y talla.....	34
IX.8.- Crecimiento individual e inferencia multi-modelo.....	36
X.- Discusión	48

X.1.- Composición de tallas	48
X.2.- Proporción sexual	49
X.3.- Relación del diámetro vertebral y longitud total	50
X.4.- Periodicidad de la formación de bandas de crecimiento	51
X.5.- Verificación y precisión de las lecturas	52
X.6.- Estructura de edades.....	53
X.7.- Crecimiento individual e inferencia multi-modelo.....	53
XI. Conclusiones	56
XIII. Bibliografía.....	57

Lista de figuras

Figura 1. Capturas en peso vivo de botete diana (<i>Sphoeroides. Annulatus</i>) en Sinaloa. Fuente (SIPESCA, 2023).	3
Figura 2. Sitios de muestreo de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>) en las costas de Sinaloa. Los puntos negros señalan los sitios de desembarco donde se realizaron los muestreos y las zonas 30 y 40 de los muestreos durante la veda (Fuente: Aguirre-Villaseñor <i>et al.</i> , 2018).	12
Figura 3. Fotografía de vértebra de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>) limpia. Se muestra el foco, arco neural, <i>centrum</i> y arco hemal. La línea discontinua representa el diámetro de la vértebra medido. Foto tomada con luz transmitida a 0.8X usando un microscopio estereoscópico.	13
Figura 4. Corte longitudinal a nivel del foco en la sección frontal. Sección de la vértebra de una hembra de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>) con una LT de 360 mm.	14
Figura 5. Vértebra de una hembra de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>), con una LT de 345 mm. La línea discontinua representa la línea imaginaria desde el brazo del <i>corpus calcareum</i> a través de la intermediaria hasta el brazo opuesto. Foto tomada con luz transmitida.	15
Figura 6. Curvas de crecimiento generadas por los modelos de Schnute de acuerdo a los parámetros a y b. Fuente: Schnute (1981).	20
Figura 7. Distribución de tallas de organismos silvestres y de cultivo del botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>).	26
Figura 8. Distribución de frecuencia de talla de machos, hembras e indiferenciados del botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>).	27
Figura 9. Relación del diámetro de la vértebra y longitud total de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>).	29
Figura 10. Proporción mensual del tipo de borde utilizando luz transmitida en vértebras de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>) muestreados en el medio silvestre por año: a) 2014; b) 2015. Línea discontinua representa la temperatura promedio superficial del mar.	30
Figura 11. Proporción mensual del tipo de borde utilizando luz transmitida en vértebras de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>) muestreados en el medio silvestre por año: a) 2014; b) 2015. Línea discontinua representa la concentración promedio de clorofila aC1a.	31
Figura 12. Proporción mensual del tipo de borde utilizando luz transmitida en vértebras de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>) cultivado.	33
Figura 13. Relación lineal entre las lecturas realizadas en la vértebra del botete diana <i>Sphoeroides annulatus</i> (número de bandas): a) Lectura 1 vs. Lectura 2, b) Lectura 1 vs. Lectura 3, c) Lectura 2 vs. Lectura 3.	34

Figura 14. Estructura de edades de machos de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>).....	35
Figura 15. Estructura de edades de hembras de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>).....	36
Figura 16. Ajuste de los modelos de crecimiento de Schnute (línea continua) por grupo de edad (círculos) para los machos de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>), línea discontinua indica el valor mínimo y máximo del intervalo de confianza 95% de cada modelo.	39
Figura 17. Perfiles de verosimilitud de los parámetros a) y su acercamiento para representar los intervalos de confianza al 95% b) del modelo Schnute 3 para machos de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>). Línea negra probabilidad Chi-cuadrada y línea discontinua gris verosimilitud.	40
Figura 18. Ajuste de los modelos de crecimiento de Schnute (línea continua) por grupo de edad (círculos) para las hembras del botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>), la línea discontinua indica el valor mínimo y máximo del intervalo de confianza 95% de cada modelo.	42
Figura 19. Perfiles de verosimilitud de los parámetros a) y su acercamiento para representar los intervalos de confianza al 95% b) del modelo Schnute 3 para hembras de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>). Línea negra probabilidad Chi-cuadrada y línea discontinua gris verosimilitud.	43
Figura 20. Ajuste de los modelos de crecimiento de Schnute (línea continua) por grupo de edad (círculos) para los datos totales (machos-hembras) de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>), la línea discontinua indica el valor mínimo y máximo del intervalo de confianza 95% de cada modelo.	45
Figura 21. Perfiles de verosimilitud de los parámetros a) y su acercamiento para representar los intervalos de confianza al 95% b) del modelo Schnute 3 para el total de la muestra (machos-hembras) de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>). Línea negra probabilidad Chi-cuadrada y línea discontinua gris verosimilitud.	46
Figura 22. Comparación grafica de los ajustes del modelo 1 de Schnute para los datos de hembras, machos y total de <i>S. annulatus</i>	47
Figura 23. Comparación grafica de los ajustes del modelo 3 de Schnute para los datos de hembras, machos y total de <i>S. annulatus</i>	48

Lista de tablas

Tabla 1. Modelos utilizados para evaluar el crecimiento de <i>S. annulatus</i>	21
Tabla 3. Tipos de errores utilizados para ajustar cada uno de los modelos candidatos.....	22
Tabla 4. Número de organismos del botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>) muestreados de 2014 a 2017, provenientes de la pesca comercial o de la pesca de arrastre de camarón (Silvestres) y de cultivo.	25
Tabla 5. Proporción Hembra:Macho y prueba de igualdad de porcentajes con corrección (Sokal y Rohlf, 1969) mensual, anual y el total de la muestra de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>) de la costa de Sinaloa en 2014 y 2015.....	28
Tabla 6. Parámetros de los modelos de crecimiento (a parámetro de crecimiento con unidades de años, b punto de inflexión de una curva de crecimiento sigmoideal, y_1 y y_2 LT al inicio y final del intervalo y T_1 y T_2 es la edad observada mínima y máxima), modelo promedio (MP), Criterio de Información de Akaike con error aditivo $AIC A$ y multiplicativo ($AIC M$) de machos de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>). $\Delta_i (AIC_i - AIC_{min})$, W_i (evidencia a favor del modelo).	37
Tabla 7. Parámetros de los modelos de crecimiento (a parámetro de crecimiento con unidades de años, b punto de inflexión de una curva de crecimiento sigmoideal, y_1 y y_2 LT al inicio y final del intervalo y T_1 y T_2 es la edad observada mínima y máxima), modelo promedio (MP), Criterio de Información de Akaike con error aditivo $AIC A$ y multiplicativo ($AIC M$) de hembras de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>). $\Delta_i (AIC_i - AIC_{min})$, W_i (evidencia a favor del modelo).	40
Tabla 8. Parámetros de los modelos de crecimiento (a parámetro de crecimiento con unidades de años, b punto de inflexión de una curva de crecimiento sigmoideal, y_1 y y_2 LT al inicio y final del intervalo y T_1 y T_2 es la edad observada mínima y máxima), modelo promedio (MP), Criterio de Información de Akaike con error aditivo $AIC A$ y multiplicativo ($AIC M$) para el total de la muestra de botete diana (<i>Sphoeroides annulatus</i>). $\Delta_i (AIC_i - AIC_{min})$, W_i (evidencia a favor del modelo).	44
Tabla 9. Prueba de Kimura para evaluar si existe crecimiento diferencial entre sexos de <i>S. annulatus</i> , probando el modelo 1 de Schnute.	47
Tabla 10. Prueba de Kimura para evaluar si existe crecimiento diferencial entre sexos de <i>S. annulatus</i> , probando el modelo 3 de Schnute.	47

I.- Introducción

Comprender las características del crecimiento y la edad en los peces, es básico para evaluar el estado poblacional y predecir su variación en el tiempo (Goldman y Cailliet, 2004). Dentro de la línea de investigación pesquera la edad y crecimiento son fundamentales para los estudios demográficos. De manera conceptual, la edad corresponde a la descripción cuantitativa del tiempo que un organismo ha vivido, el crecimiento es el cambio del tamaño de un organismo durante un periodo determinado y la tasa de crecimiento corresponde al cambio de alguna medida del cuerpo de un organismo por unidad de tiempo (DeVries y Frie, 1996).

La edad de muchas especies puede determinarse a partir de las marcas de crecimiento presentes en algunas estructuras duras, como escamas, otolitos, vértebras, espinas y radios (Holden y Raitt, 1975). Las marcas se forman debido a los cambios en la tasa de depósito del mineral sobre las capas ya presentes, estas capas resultan ser permanentes, debido a factores como desove, metabolismo, temperatura, salinidad, luz y alimento (González, 1977). El análisis se basa en la interpretación de las bandas de crecimiento, las cuales son estructuras circulares concéntricas, bien definidas, que se replican en secuencias progresivas, desde el núcleo al borde distal de la estructura, en forma de líneas concéntricas alternadas de tonalidades opacas e hialinas (Valeiras *et al.*, 2008).

Los métodos de validación de los incrementos pueden dividirse en indirectos y directos. Los métodos indirectos se basan en el análisis de agrupamientos de individuos de tamaños aproximadamente similares, los que estarían reuniendo a grupos anuales o cohortes. Estos agrupamientos ocurren en poblaciones de especies que se reproducen estacionalmente y se caracterizan por influjos regulares de nuevos reclutas de manera que, si se muestrean adecuadamente, revelarán una estructura de tamaños formada por un conjunto de modas que generan polígonos de frecuencia de longitudes. Estas modas son especialmente conspicuas durante los primeros años de vida, lo cual indica la presencia de

varios grupos de edad (Everhart y Youngs, 1981; King, 2007). Mientras que los métodos directos están enfocados a la interpretación de capas anuales. Los métodos directos están relacionados con la observación directa de discontinuidades del crecimiento en estructuras esqueléticas (otolitos, escamas, vertebras, espinas), como producto de cambios en la tasa de crecimiento o metabolismo de los individuos durante ciertos periodos y su correlación con el tiempo en que ocurrieron (Gulland, 1971; Everhart y Young, 1981).

La pesca ribereña, en especial la de escama han sido un recurso tradicional en los litorales de México; la información que existe sobre el estado actual de conocimientos de la biología pesquera y ecología de especies de importancia pesquera es amplia, sin embargo, las de menor interés económico han recibido poca o nula atención (González-Becerril *et al.*, 2006).

Como recurso pesquero, el botete diana *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) se destaca por su gran demanda en el estado de Sinaloa, y es objeto de pesca moderada en todo el litoral del Pacífico mexicano, incluyendo el golfo de California, principalmente para autoconsumo o para abastecer el mercado sinaloense (Aguirre-Villaseñor *et al.*, 2018). Debido a esto las capturas de *S. annulatus* se están incrementando sin algún tipo de regulación pesquera (Figura 1), más que el permiso para capturar escama marina y como documento vinculante la ficha de escama para el Pacífico de la Carta Nacional Pesquera (Aguirre-Villaseñor *et al.*, 2018). Su poca regulación es derivado del poco conocimiento biológico de la especie siendo insuficiente para crear medidas administrativas, en algunos casos porque solo se trata de la documentación de observaciones que no siguieron una metodología dirigida y en otros casos, los resultados fueron sesgados y limitados por las técnicas utilizadas (Sánchez-Cárdenas *et al.*, 2007).

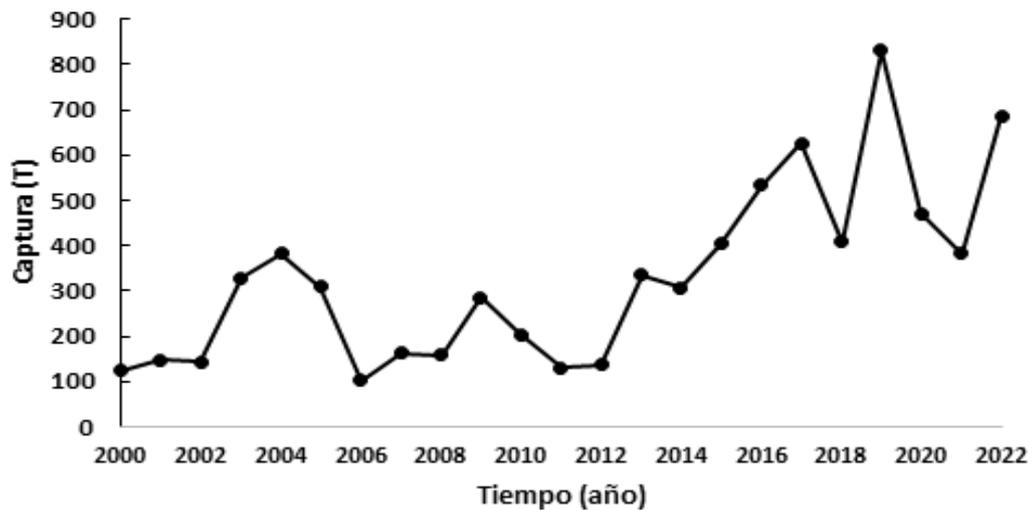


Figura 1. Capturas en peso vivo de botete diana (*Sphoeroides. Annulatus*) en Sinaloa. Fuente (SIPESCA, 2023).

Las poblaciones sujetas a explotación pasan por varias etapas: desarrollo, totalmente explotadas, sobreexplotadas, colapso y recuperación, esta última depende de la resiliencia de la población a los factores causales del colapso (Hilborn y Walters, 1992). La etapa menos deseada es el colapso, definido como un periodo sostenido de capturas muy bajas, después de un periodo de capturas altas (Cook, 1984). Conocer la dinámica de la población en peces permite comprender el comportamiento, tamaño de la población y la forma e intensidad con la que esta se cambia y se renueva (FAO, 1995). En el presente estudio se analiza la edad y crecimiento de *S. annulatus*, información que es básica para poder entender mejor la dinámica poblacional de esta especie, generando puntos de referencia biológica para orientar la extracción sustentable del recurso para el estado de Sinaloa.

II.- Antecedentes

II.1.- Biología de la especie

El botete diana, *S. annulatus* pertenece al orden Tetraodontiformes y a la familia Tetraodontidae (Nelson, 1994). Se le conoce también como pez tamborillo, tambor, burro, pez globo y roncador. Estos son los teleósteos más

evolucionados, son los pertenecientes al orden Tetraodontiformes, caracterizados por un alto grado de fusión o de pérdida de huesos tanto en la cabeza como en el cuerpo (Helfman *et al.*, 1997).

Al igual que otros miembros de la familia Tetraodontidae, *S. annulatus* tiene cuatro dientes incisivos (Thomson y McKibbin, 1978), posee la piel gruesa con espinas ventrales muy pequeñas, no tiene aletas pélvicas, ni costillas ventrales y solo cuenta con 16 vértebras (Ocampo-Peraza, 1983; Helfman *et al.*, 1997).

El patrón de coloración que se observa en *S. annulatus* es muy característico; muestra en el área dorso-lateral un color café con puntos negros y círculos concéntricos blancos o amarillentos (Thomson y McKibbin, 1978; Amezcua-Linares, 1996), el vientre blanco y aletas pardas con márgenes oscuros casi negros (Amezcua-Linares, 1996).

Muchas especies de tetraodontidos concentran la poderosa toxina TTX (tetraodotoxina) en diversos órganos, así como en la piel y en el músculo (Helfman *et al.*, 1997; Brillantes *et al.*, 2003). *S. annulatus* concentra la TTX en muy bajas cantidades en la piel, gónadas e hígado (Thomson y McKibbin, 1978; Amezcua-Linares, 1996; Núñez-Vázquez *et al.*, 2000) y cuya concentración podría incrementarse durante la época de reproducción (Amezcua-Linares, 1996). Ventajosamente los adultos tienen pocos depredadores (Thomson *et al.*, 1979; Amezcua-Linares, 1996) probablemente debido al contenido de TTX y a la capacidad que tiene el pez de inflarse (Thomson *et al.*, 1979) tragando agua o aire (Thomson y McKibbin, 1978). Es presa de la serpiente marina amarilla *Pelamis platurus* (Weldon y Vallarino, 1988) y del pez vela del Pacífico *Istiophorus platypterus* (Arizmendi-Rodríguez *et al.*, 2006). Es un pez que, durante la mayor parte de su vida, está asociado al bentos e incluso suele enterrarse en la arena, por lo que se considera de hábitos demersales (Coronado-Molina y Amezcua-Linares, 1988; Mariscal-Romero *et al.*, 1998). La longitud total (LT) máxima reportada para esta especie es de 44 cm (Fischer *et al.*, 1995).

Para el género *Sphoeroides* se encuentran registradas 22 especies, 5 en el Pacífico mexicano y 3 para la zona de estudio que son: *S. annulatus*, *S. lobatus* (Steindachner, 1870) y *S. sechurae* Hildebrand, 1946 (WoRMS, 2023).

De acuerdo a Fricke *et al.* (2022) la posición taxonómica del botete diana es la siguiente:

Reino: Animalia

Phylum: Chordata

Clase: Actinopterygii

Orden: Tetraodontiformes

Familia: Tetraodontidae

Género: *Sphoeroides*

Especie: *S. annulatus*

II.2.- Distribución

El botete diana *Sphoeroides annulatus* es una especie exclusiva del océano Pacífico oriental; habita desde la costa sur de California, EUA, hasta la costa de Perú, incluyendo el golfo de California y las Islas Galápagos. Esta especie se considera eurihalina del componente marino; tolera vivir en salinidades de 0-45.5+ ups (Castro-Aguirre *et al.*, 1999) gracias a su gran capacidad osmoreguladora (Álvarez-Rubio, 1986), encontrándose como juvenil en sistemas mixohálinos, ya que los utiliza como zonas de crianza (Yáñez-Arancibia, 1977; Álvarez-Cadena *et al.*, 1987; Castro-Aguirre *et al.*, 1999; Sánchez-Cárdenas, 2005) y como adulto en la zona nerítica (Castro-Aguirre *et al.*, 1999; Sánchez-Cárdenas, 2005). Vive preferencialmente en zonas protegidas y someras (Coronado-Molina y Amezcua-Linares, 1988; Amezcua-Linares, 1996; Mariscal-Romero *et al.*, 1998) entre los 20 y 40 m de profundidad (Mariscal-Romero *et al.*, 1998) con fondos lodosos, arenosos (Coronado-Molina y Amezcua-Linares, 1988; Castro-Aguirre *et al.*, 1999) o rocosos (Fischer *et al.*, 1995) y congregándose en la cercanía de las desembocaduras de los ríos (Castro-Aguirre *et al.*, 1999). La temperatura es un factor importante en la distribución de *S. annulatus*; es un pez considerado como parte de la fauna típica tropical, que con la presencia del fenómeno “El Niño” amplía su distribución latitudinal

(Rosales-Casian, 2004) y batimétrica (Coronado-Molina y Amezcua-Linares, 1988). Sin embargo, la presencia de dicho fenómeno no favorece al aumento en biomasa de esta especie (Coronado-Molina y Amezcua-Linares, 1988).

II.3.- Reproducción

Las poblaciones de *S. annulatus* muestran diferentes proporciones de hembras por machos en diferentes latitudes; en la ensenada, La Paz, Baja California Sur (B.C.S.) se ha observado una proporción 1.7:1 (Díaz-Guevara *et al.*, 2005), en la costa de Mazatlán, Sinaloa una proporción 1:0.8 (M:H) (Sánchez-Cárdenas *et al.*, 2011); y en la costa y estero de Teacapán, Escuinapa, Sinaloa una proporción de 0.98:1 (Valdez-Pineda *et al.*, 2014). La talla promedio de madurez (L50) de las hembras de *S. annulatus* ha sido calculada de 28 a 30 cm LT para las costas de La Paz, Baja California Sur (Díaz-Guevara *et al.*, 2005); para Mazatlán, Sinaloa se han reportado valores de L50 de 28.2 cm de LT en hembras y de 28.6 cm de LT en machos (Sánchez-Cárdenas *et al.*, 2011); para Teacapán, Sinaloa una L50 de 26.52 cm de LT en hembras y de 27.41 cm LT en machos (Valdez-Pineda *et al.*, 2014) y para el litoral de Sinaloa de 25 cm de LT en hembras (Salas-Singh *et al.*, 2022).

Además, en relación a su distribución geográfica, *S. annulatus* muestra diferencias en la duración del evento reproductivo. En la ensenada de La Paz, B.C.S. el periodo reproductivo es de mayo a septiembre; se relaciona con la fluctuación anual de temperatura (Díaz-Guevara *et al.*, 2005). El litoral de Sinaloa *S. annulatus* presenta una extensa actividad reproductiva durante todo el año, observándose un pico de mayor intensidad de marzo a julio y un segundo de menor intensidad de octubre a noviembre (Sánchez-Cárdenas *et al.*, 2011; Valdez-Pineda *et al.*, 2014; Salas-Singh *et al.*, 2022), observándose una temporada no reproductiva entre enero y abril (Salas-Singh *et al.*, 2022). Más al sur, en las costas de Nayarit se ha reportado que la especie se reproduce a finales de primavera (Amezcua-Linares, 1996).

II.4.- Edad y crecimiento

Los cambios estacionales en el crecimiento de los peces son reflejados como bandas contrastadas en las estructuras óseas del cuerpo. En las latitudes templadas, en la primavera y el verano, la temperatura del agua se eleva y los peces tienen temperaturas elevadas en el ambiente (aceleración del ritmo metabólico) y recursos alimenticios disponibles para el mantenimiento del metabolismo basal y crecer (también para reproducirse). En este momento las especies invierten la energía obtenida del alimento para incrementar su biomasa y talla (Gómez-Márquez *et al.*, 2020).

A medida que avanza el periodo anual, en otoño e invierno, las condiciones ambientales se tornan adversas, las temperaturas descienden, los organismos se mantienen en fase de latencia y cesa el crecimiento y a veces incluso, su alimentación. Por lo tanto, este patrón estacional de crecimiento y alimentación es más constante en ambientes templados que en ecosistemas tropicales. Entonces, la aceleración del crecimiento origina bandas de crecimiento anchas, mientras que las situaciones de estrés motivan escaso aumento de la estructura (Granado, 2002).

Para el estudio de edad, crecimiento y reproducción de *Sphoeroides maculatus* (Bloch y Schneider, 1801) realizado en la bahía de Chesapeake, Virginia, EUA, Laroche y Davis (1973), reportaron en un estudio previo, la utilidad de las vértebras, otolitos, opérculos, huesos de la mandíbula y radios de aletas para ser utilizadas en el estudio de edad y crecimiento, encontrando que las vértebras son la mejor estructura para poder analizar la edad y describir el patrón de crecimiento, ya que se menciona que las otras estructuras presentaban marcas de crecimiento ambiguas y no podían distinguirse en peces más grandes. Las bandas de crecimiento en vértebras se observaron utilizando luz reflejada, encontrando que la formación de un par de bandas (opaco-hialino) tiene una periodicidad anual, comenzando en mayo la formación de la banda opaca y terminando en agosto la hialina. Se hace mención, que para algunos organismos capturados en abril con un solo anillo y un incremento marginal amplio tenían dos años de edad antes de la formación del segundo anillo. El mayor porcentaje de organismos con la segunda banda de crecimiento formada ocurrió en

septiembre. A lo que mencionan que la formación de anillos en las vértebras puede tomar más tiempo que en escamas y otolitos, porque las vértebras son más grandes y estructuralmente más complejas. Para este estudio, utilizando el modelo de von Bertalanffy, reportaron un crecimiento individual con una $L_{\infty} = 282$ mm LT, $k = 0.607$ y $t_0 = 0.0659$ en hembras, mientras que en machos $L_{\infty} = 245$ mm LT, una $k = 0.620$ y $t_0 = 0.1613$.

En otra investigación sobre el estudio de crecimiento individual y mortalidad de *Sphoeroides testudineus* en la costa noroeste de la península de Yucatán, México, se hizo un análisis de la frecuencia de tallas para establecer el patrón de crecimiento individual y se encontró una $L_{\infty} = 295$ mm LT, $k = 0.77$ y $t_0 = -0.16$, esto utilizando el modelo de von Bertalanffy (Bonilla *et al.*, 2012).

En el estudio de crecimiento, reproducción y dieta del botete (*Lagocephalus sceleratus* Gmelin, 1789) de la costa de Turquía del Mar Mediterráneo utilizando el mismo método que el trabajo previamente descrito se encontró una $L_{\infty} = 1260$ mm LT, $k = 0.09$ y $t_0 = -0.43$ (Aydin, 2011).

Los métodos de asignación de la edad pueden dividirse en directos e indirectos. En los directos, el intervalo de tiempo transcurrido entre dos sucesos es conocido, permitiendo determinar la periodicidad de los incrementos formados. En los indirectos las tallas medias de cada clase de edad, determinadas a partir de los incrementos, se comparan con las obtenidas por otros métodos. Cuando los resultados concuerdan, se considera válido el uso de los incrementos. Esta aproximación se emplea en especies que no pueden cultivarse o mantenerse en cautiverio y de las que únicamente se dispone de datos de la pesquería (Morales-Nin, 1991).

II.5.- Inferencia multi-modelo

Tradicionalmente, para evaluar el crecimiento se han utilizado modelos como los de von Bertalanffy (von Bertalanffy, 1938), Gompertz (Gompertz, 1825), logístico (Ricker, 1975) y el general de Schnute (Schnute, 1981). Cotidianamente se utilizaba un modelo *a priori* y no se justificaba su elección. Por lo que otra

alternativa, que se ha extendido recientemente es aplicar la teoría de modelos múltiples (inferencia multi-modelo; IMM) para la estimación de parámetros de crecimiento. Esta teoría se ha establecido como un nuevo paradigma en las ciencias biológicas para la selección de modelos (Burnham y Anderson, 2002; Katsanevakis, 2006; Katsanevakis y Maravelias, 2008). La aplicación de la inferencia multi-modelo ha permitido una alternativa metodológica para modelar el crecimiento individual, cuando los datos soportan evidencia para ajustar más de un modelo, es posible construir un modelo promedio de los mejores ajustes, o incluso de todos los modelos candidatos como mejor alternativa para describir el crecimiento de una especie (Katsanevakis y Maravelias, 2008), lo cual es conocido como inferencia multi-modelo (IMM).

Para determinar que modelos presentan un mejor ajuste se utiliza el Criterio de Información de Akaike (AIC). Operacionalmente se calcula AIC para cada uno de los modelos y se selecciona como mejor modelo el que presente menor valor de AIC. Dicho modelo obtiene mejor desempeño al minimizar la pérdida de información entre los datos observados y calculados, también influye el número de parámetros que presente el modelo ya que el AIC penaliza más rigurosamente a los modelos que requieren mayor número de parámetros (Rodríguez *et al.*, 2014). El AIC_{min} denota el mínimo de los valores de AIC para los distintos modelos calculados. Estos valores de Δi están en una escala continua de información y son interpretables independientemente de la escala de medición. Modelos con valores de Δi por encima de 10 tienen nulo soporte estadístico, valores de Δi entre 4 y 7 tienen soporte estadístico moderado, mientras que valores de Δi menores a 2 tienen alto soporte estadístico. Y como evidencia a favor del modelo se encuentra el peso de Akaike (W_i), mientras mayor sea el peso de Akaike para el modelo, mayor es la evidencia a favor del modelo, mientras que modelos con poco peso de Akaike presentan poca o nula evidencia a favor del modelo (Burnham y Anderson, 2002).

III.- Justificación

Una forma de evaluar los recursos pesqueros es mediante el seguimiento estricto de la pesquería (Barbarino *et al.*, 1998). La información así obtenida contribuye a mejorar el conocimiento de la biodiversidad y dinámica de los ecosistemas acuáticos y al establecimiento de líneas base para la evaluación y manejo de pesquerías (Pauly, 1980). Aguirre-Villaseñor *et al.* (2018) mencionan que las capturas de *S. annulatus* se han ido incrementando sin ningún tipo de regulación pesquera, más que el permiso para capturar escama marina. Ya en el 2023 se agregó la ficha de botete para el Pacífico en la Carta Nacional Pesquera. Por lo cual se requiere información precisa sobre los parámetros de crecimiento. Siendo el enfoque multimodelo una herramienta de mayor precisión para la obtención de datos de crecimiento. Ayudando así a caracterizar la dinámica poblacional de *S. annulatus* con una mayor precisión. Es importante mencionar que no se han realizado estudios sobre edad y crecimiento en *S. annulatus* en Sinaloa, debido a la dificultad de la extracción de sus estructuras duras como otolitos y escamas, por lo cual se opta por utilizar las vértebras.

IV.- Hipótesis

Las bandas de crecimiento en vértebras de *S. annulatus* tienen una periodicidad anual, por lo que sus lecturas pueden ser utilizadas para asignar la edad y describir el crecimiento.

El modelo especial 1 de Schnute describe con mayor certeza la tendencia de la talla a la edad de *S. annulatus*.

El patrón de crecimiento entre los sexos de *S. annulatus* es diferente.

V.- Objetivo General

Estimar la edad y describir el patrón de crecimiento individual de *S. annulatus* en las costas de Sinaloa, México.

VI.- Objetivos Particulares

Determinar la composición por tallas del botete diana *S. annulatus*.

Evaluar la relación del diámetro de la vértebra vs. longitud total del botete diana *S. annulatus*.

Determinar la periodicidad con que se forman las bandas de crecimiento del botete diana *S. annulatus*.

Verificar la precisión de las lecturas en las vértebras de *S. annulatus*.

Identificar el modelo más adecuado en la descripción del crecimiento de machos y hembras del botete diana *S. annulatus*, utilizando enfoque multimodelo.

VII.- Área de estudio

De 2014 a 2015 se realizaron muestreos semanales de los desembarques de la pesca artesanal en la isla de la piedra y playa norte en Mazatlán, Sinaloa. Mientras que en Teacapán, la brecha, Cospita, Dautillos, Yameto, El Castillo, Macapule, Altata, El Caracol y Topolobampo los muestreos fueron quincenales, tanto en playas como en bodegas de acopio. También se obtuvieron ejemplares durante los muestreos de veda de camarón por investigadores del INAPESCA en las zonas 30 y 40 (Figura 2), durante el periodo 2014 y 2015. Además, se incluyeron organismos cultivados (octubre 2016 - agosto 2017) en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo-Mazatlán (CIAD).

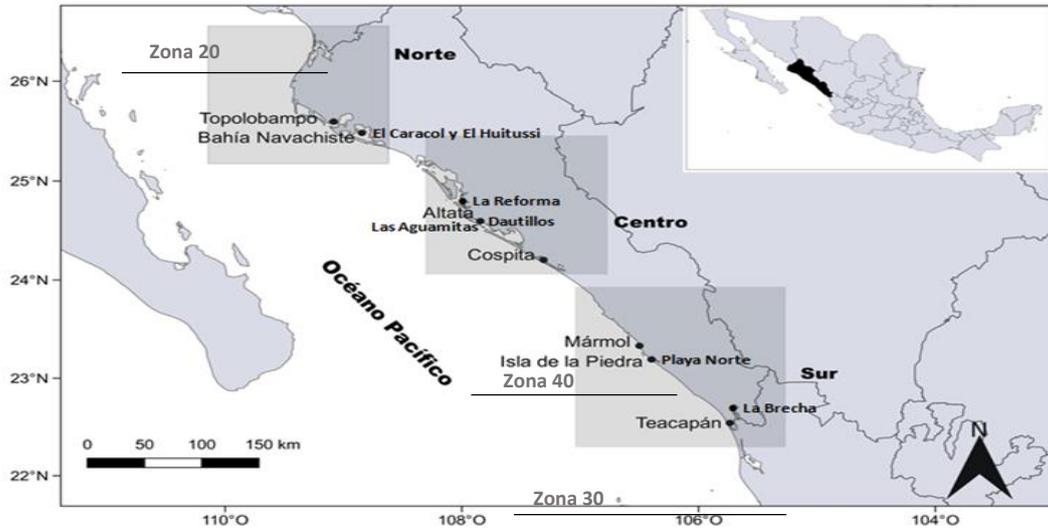


Figura 2. Sitios de muestreo de botete diana (*Sphoeroides annulatus*) en las costas de Sinaloa. Los puntos negros señalan los sitios de desembarco donde se realizaron los muestreos y las zonas 30 y 40 de los muestreos durante la veda (Fuente: Aguirre-Villaseñor *et al.*, 2018).

VIII.- Materiales y método

La información forma parte de la base de datos del proyecto Escama Marina del Pacífico Norte-Mazatlán y del proyecto Camarón CRIAP-Mazatlán y del proyecto Cultivo de Peces Marinos (CIAD-Mazatlán). De cada organismo se obtuvo la longitud total (LT) y el sexo se determinó macroscópicamente, por esto, los organismos cuya gónada no estaba desarrollada se clasificaron como indeterminados. Después para extraer la columna vertebral se hizo un corte longitudinal en la zona dorsal, entre la cabeza y el inicio de la aleta dorsal La columna vertebral se guardó en una bolsa de plástico con su etiqueta, en la que se registró: localidad, fecha de muestreo, número de organismos, LT y sexo. Las vértebras se enhielaron y se transportaron al laboratorio de Escama Marina, del CRIAP-Mazatlán y se preservaron en un congelador a -4°C.

VIII.1.- Trabajo de laboratorio

En el laboratorio, las muestras se descongelaron, de cada organismo se extrajo la quinta vértebra de la sección anterior de la columna vertebral, practicando un corte transversal con un bisturí. Se seleccionó la quinta vértebra para reducir sesgos en las mediciones y lecturas de bandas, el tamaño de las vértebras se va reduciendo hacia la parte posterior de la columna vertebral. Se eliminó el arco neural, el hemal y el tejido conectivo, con la ayuda de unas pinzas de disección. Para eliminar los restos de tejido, las vértebras fueron lavadas en agua clorada al 50% de 1 a 6 minutos, posteriormente se sumergieron en agua corriente de 1 a 5 minutos. Las vértebras se dejaron a temperatura ambiente hasta estar completamente secas, se almacenaron en bolsas plásticas individuales con su respectivo rótulo. El diámetro de la vértebra se midió con un vernier digital tomando como referencia el borde que colinda con el arco neural y hemal (Figura 3).

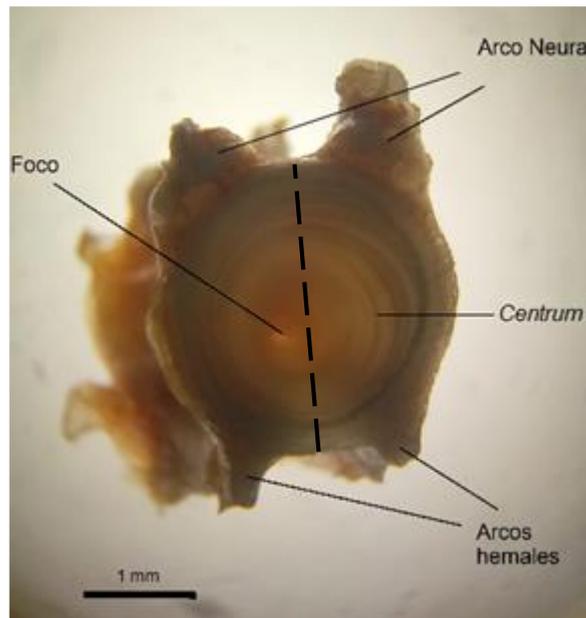


Figura 3. Fotografía de vértebra de botete diana (*Sphoeroides annulatus*) limpia. Se muestra el foco, arco neural, *centrum* y arco hemal. La línea discontinua representa el diámetro de la vértebra medido. Foto tomada con luz transmitida a 0.8X usando un microscopio estereoscópico.

Posteriormente, las vértebras se fijaron en pequeñas bases de madera, de 6 cm de largo por 2 cm de ancho y 0.4 cm de altura, con resina transparente Richar-

Allan Scientific Cytoseal 60 para facilitar el corte y evitar daño a la superficie de la vértebra, así como sus bordes. El corte se efectuó a nivel del foco a partir de cortes sagitales o longitudinales en la sección frontal, con un disco de filo de diamante IsoMet Blade, 15HC, 4 pulgadas (102 mm), utilizando una cortadora eléctrica de baja velocidad Buehler-Isomet de 0 a 300 RPM, a la tercera velocidad (90 RPM). Durante el corte, la vértebra se mantuvo húmeda con agua corriente, para disminuir la fricción entre vértebra y disco. Como resultado de cada corte se obtuvieron dos secciones en forma de moño o reloj de arena (Figura 4).



Figura 4. Corte longitudinal a nivel del foco en la sección frontal. Sección de la vértebra de una hembra de botete diana (*Spherooides annulatus*) con una LT de 360 mm.

VIII.2.- Lectura de las bandas de crecimiento

Se trazó una línea imaginaria desde el brazo del *corpus calcareum* a través de la intermediaria hasta el brazo opuesto del *corpus calcareum* y se contó el número de marcas de crecimiento. Cada marca fue definida por un par de bandas hialino – opaco (Figura 5).

No se utilizó ningún método de tinción, el análisis visual fue posible utilizando un estereoscopio de luz transmitida a través de la vértebra y modificando el

contraste de la imagen. Los cortes obtenidos se montaron en un portaobjetos, se tomó una fotografía de la sección de la vértebra cortada con la ayuda de una cámara digital dino-eye montada en el ocular del estereoscopio de luz transmitida y el programa Dino Capture 2.0 versión 1.4.3. Se utilizó un aumento de 0.8X para las vértebras de los organismos mayores de 100 mm de L_T y de organismos menores a 100 mm un aumento de 2X. Con el programa ImageJ 1.48v se modificó el contraste de las imágenes para hacer más evidentes los anillos y reducir el sesgo al medir las vértebras, (radio total y radios parciales a cada marca de crecimiento). Para cada vértebra se hicieron tres lecturas del número de anillos, separadas en el tiempo, por un sólo lector, debido a que no fue posible conseguir otro lector. Se observaron las secciones vertebrales sin previo conocimiento de la talla y sexo de los ejemplares, a fin de evitar que esto influyera al asignar la edad a cada ejemplar. Aquellas vértebras en las cuales las bandas no fueron legibles, que presentaron alguna deformidad en su estructura, o que no coincidieran mínimo dos de las tres lecturas fueron descartadas del análisis. La edad se asignó de acuerdo al número de bandas de crecimiento que coincidieran al menos en dos lecturas.

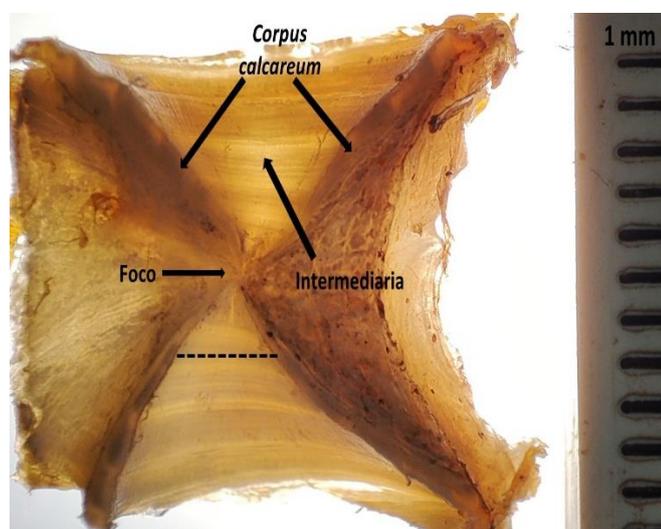


Figura 5. Vértebra de una hembra de botete diana (*Spherooides annulatus*), con una L_T de 345 mm. La línea discontinua representa la línea imaginaria desde el brazo del *corpus calcareum* a través de la intermediaria hasta el brazo opuesto. Foto tomada con luz transmitida.

VIII.3.- Distribución de tallas

La estructura por tallas de los individuos muestreados se describió agrupando su frecuencia (número de individuos) por intervalo de 20 mm, para organismos silvestres, cultivados, hembras, machos e indiferenciados.

VIII.4.- Proporción sexual

Para evaluar las diferencias significativas entre la proporción sexual de cada muestreo respecto a la relación 1H:1M, se utilizó la prueba de igualdad de porcentajes con corrección (Sokal y Rohlf, 1969).

$$T_s = \frac{\left(\arcseno P_1 * \frac{180}{\pi}\right) - \left(\arcseno P_2 * \frac{180}{\pi}\right)}{\sqrt{820.8 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$
$$P_i = \sqrt{\frac{n_i}{N}}$$

Dónde: n_i es el número de organismos por sexo y N el total; P_i son las proporciones de la muestra comparadas; 820.8 es una constante que representa la varianza paramétrica de una distribución de proporciones con transformación.

El valor del estadístico T_s se compara con el valor de tablas (T_t) para un $\alpha = 0.05$ y grados de libertad $gl=N-1$. Si $T_s \geq T_t$ la diferencia es significativa, si $T_s < T_t$ no existen diferencias significativas en la proporción sexual.

VIII.5.- Relación entre el diámetro de la vértebra y longitud total del pez

A partir de un modelo lineal simple se determinó si el diámetro de la vértebra (variable dependiente) esta correlacionado con longitud total del pez (variable independiente). Utilizando el coeficiente de correlación de Pearson (PXY) se obtuvo la magnitud de la correlación entre estas dos variables. Cohen (1988) sugiere que valores del coeficiente de correlación de Pearson cercanos a 0 tienen una correlación nula, mientras que valores cercanos a 1 tienen una correlación fuerte.

$$P_{XY} = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{Var(X)} * \sqrt{Var(Y)}}$$

Dónde: P_{XY} es la correlación de Pearson, X es el diámetro vertebral y Y es la longitud total del pez.

VIII.6.- Periodicidad de la formación de bandas

La periodicidad de formación de las bandas de crecimiento se estableció con el método de análisis de la característica del borde de la vértebra, en un ciclo anual se determinó la variación en la proporción mensual de vértebras con bandas hialinas u opacas (Beckman y Howlett, 2013). La presencia de bordes hialinos (luz transmitida) indica que la formación de los bordes ha concluido y corresponde a un ciclo.

Con la finalidad de establecer una relación entre la periodicidad de formación de las bandas de crecimiento y el ambiente, se obtuvieron datos del promedio mensual de clorofila a y de temperatura superficial del mar (día) para el periodo de enero de 2014 a diciembre de 2015 del sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer – Aqua (MODIS-Aqua) del sitio: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> (Giovanni NASA Earthdata, 2023). Estos compuestos tienen resolución de 4 kilómetros por pixel, para estos datos se tomaron tres cuadrantes, uno en la zona norte (24.6313°N, 109.3854°W - 25.2466°N, 108.6163°W), otro en zona centro (23.5327°N, 108.111°W - 24.126°N, 107.4298°W) y por último uno en la zona sur de Sinaloa (22.4341°N, 107.1881°W - 23.0054°N, 106.3531°W). Se hizo esto con el fin de saber el periodo de mayor producción primaria en la zona, ya que al haber mayor productividad primaria hay mayor disponibilidad de fitoplancton o zooplancton, también al aumentar la temperatura en la zona, el metabolismo del organismo se acelera, propiciando el crecimiento en este mismo el cual conlleva a la formación de bandas.

VIII.7.- Verificación y precisión de las lecturas

La precisión entre las lecturas de las bandas se evaluó con el Porcentaje Promedio del Error (*APE*), de acuerdo con la recomendación de Beamish y Fournier (1981):

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

Dónde: N es el número de muestras, R es el número de veces que se leyeron las muestras, X_{ij} es la edad i , X_j es el promedio de las edades determinadas para el pez j .

Mediante el cálculo del coeficiente de variación (*CV*) se evaluó solamente la reproductibilidad de las 3 lecturas realizadas por el autor. Este coeficiente considera a la desviación estándar como una fracción de la media expresada como porcentaje y se obtiene del reemplazo del promedio de la desviación absoluta en la media aritmética de la edad (Chang, 1982).

$$CV = 100\% \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(x_{ij}-x_j)^2}{R-1}}}{x_j}$$

Dónde: *CV* es la precisión estimada para la edad, R es el número de veces que se leyeron las muestras, X_{ij} es la edad i , X_j es el promedio de las edades determinadas para el pez j .

La precisión es altamente influenciada por las especies y la naturaleza de la estructura y no solo por el lector. Los estudios realizados para edad en tiburones basados en vértebras exceden los valores del 10% para el *CV*, mientras que más frecuentemente el *CV* para otolitos es de 5%. Un *APE* menor a 5% es esperado en estos trabajos (Morison *et al.*, 1998).

Para evaluar la precisión y la reproductibilidad de las estimaciones de edad, realizadas por cada lector, se utilizó el porcentaje de acuerdo (*PA*) (Goldman y Cailliet, 2004).

$$PA = \frac{\text{No de acuerdos}}{\text{No de lecturas}} * 100$$

Para superar las limitaciones impuestas por las gráficas de diferencia de edad y las pruebas estadísticas estándar, se propone el uso de la gráfica de sesgo de edad. Este tipo de grafico traza una lectura de edad frente a la otra y se puede interpretar haciendo referencia a la línea de equivalencia $X = \text{edad } Y$. Donde se podrán observar cuales son las lecturas que difieren entre si y cuáles son las que mayor correlación presentan (Campana *et al.*, 1995).

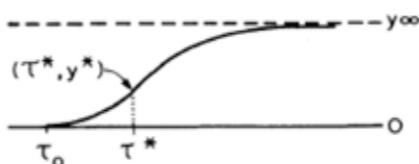
VIII.8.- Modelos de crecimiento individual

Para el análisis de crecimiento se modeló por sexos (hembras y machos) y para el total de la muestra, los organismos indiferenciados en este análisis no se tomaron en cuenta.

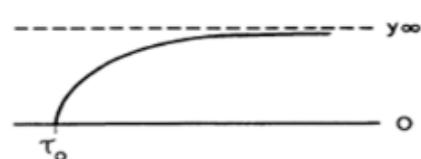
La curva resultante del modelo de crecimiento individual de Schnute (1981) depende de cuatro parámetros: a, b, y_1 y y_2 . También se encuentran T_1 y T_2 el cual son fijadas por los datos biológicos de la especie en cuestión.

El modelo de crecimiento de Schnute se puede despejar de cuatro formas distintas (cuatro modelos), esto dependiendo de los valores de a y b . Una de las principales características del modelo de crecimiento de Schnute es que puede generar ocho curvas de crecimiento tanto asintóticas como no asintóticas (Figura 6). También puede representar diversos modelos y estos son conocidos como casos especiales. Esto depende primariamente de los parámetros de a y b (Schnute, 1981).

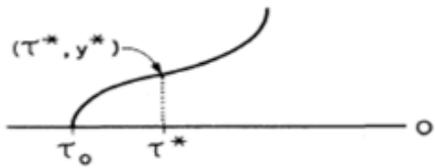
Curva 1: $0 < a, 0 < b < 1$



Curva 2: $0 < a, 1 \leq b$



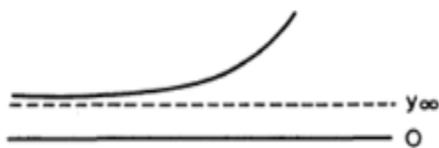
Curva 3: $-b \frac{\log(\frac{y_2}{y_1})}{(T_2-T_1)} < a \leq 0, 1 < b$



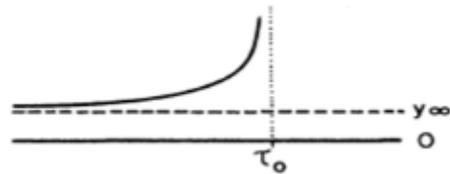
Curva 4: $-b \frac{\log(\frac{y_2}{y_1})}{(T_2-T_1)} < a \leq 0, 0 \leq b \leq 1$



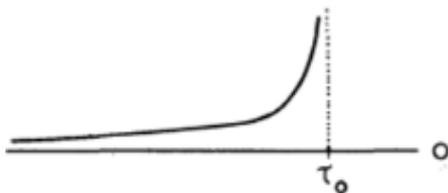
Curva 5: $a \leq -b \frac{\log(\frac{y_2}{y_1})}{(T_2-T_1)}, 0 \leq b$



Curva 6: $a < 0, b < 0$



Curva 7: $0 \leq a \leq -b \frac{\log(\frac{y_2}{y_1})}{(T_2-T_1)}, b < 0$



Curva 8: $-b \frac{\log(\frac{y_2}{y_1})}{(T_2-T_1)} < a, b \leq 0$

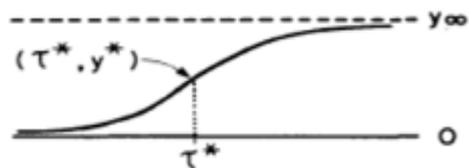


Figura 6. Curvas de crecimiento generadas por los modelos de Schnute de acuerdo a los parámetros a y b . Fuente: Schnute (1981).

La modelación del crecimiento de *S. annulatus* se realizó aplicando un enfoque de inferencia multi-modelo (IMM), se eligieron cinco modelos candidatos: los cuatro modelos de Schnute (1981) y el modelo especial uno (el cual coincide con el modelo de von Bertalanffy) para ajustarlos a los datos de longitud total a la edad y establecer cuál de estos modelos tiene el mejor desempeño (Tabla 1).

Tabla 1. Modelos utilizados para evaluar el crecimiento de *S. annulatus*.

Modelos de crecimiento	
Schnute modelo 1 $a \neq 0, b \neq 0$	$Y(t) = \left[y_1^b + (y_2^b - y_1^b) + \frac{1 - e^{-a(t-T_1)}}{1 - e^{-a(T_2-T_1)}} \right]^{\frac{1}{b}}$
Modelo 2. $a \neq 0, b = 0$	$Y(t) = Y_1 \exp \left[\log \left(\frac{Y_2}{Y_1} \right) \frac{1 - e^{-a(t-T_1)}}{1 - e^{-a(T_2-T_1)}} \right]$
Modelo 3. $a = 0, b \neq 0$	$Y(t) = \left[y_1^b + (y_2^b - y_1^b) + \frac{t - T_1}{T_2 - T_1} \right]^{\frac{1}{b}}$
Modelo 4. $a = 0, b = 0$	$Y(t) = Y_1 \exp \left[\log \left(\frac{Y_2}{Y_1} \right) \frac{t - T_1}{T_2 - T_1} \right]$
Modelo especial 1. $a > 0, b = 1$	$Y(t) = \left[y_1^b + (y_2^b - y_1^b) + \frac{1 - e^{-a(t-T_1)}}{1 - e^{-a(T_2-T_1)}} \right]^{\frac{1}{b}}$

Donde: $Y(t)$ es LT a la edad t , y_1 y y_2 son LT al inicio y final del intervalo de tiempo, T_1 es la menor edad registrada, T_2 es la mayor edad registrada, a es un parámetro de crecimiento con unidades de años, b está relacionado con el punto de inflexión de una curva de crecimiento sigmoideal.

Para comparar con otros resultados de crecimiento de otras especies de botete se calculó L_∞ y t_0 en los modelos de Schnute (en modelo 3 y 4 no es posible) utilizando las siguientes ecuaciones (Tabla 2):

Tabla 2. Ecuaciones para obtener L_∞ y t_0 en los modelos 1, 2 y especial 1 de Schnute.

Donde $a \neq 0, b \neq 0$	$L_\infty = \left[\frac{e^{aT_2} y_2^b - e^{aT_1} y_1^b}{e^{aT_2} - e^{aT_1}} \right]^{1/b}$
Donde $a \neq 0, b = 0$	$L_\infty = \exp \left(\frac{e^{aT_2} \ln y_2 - e^{aT_1} \ln y_1}{e^{aT_2} - e^{aT_1}} \right)$
Donde $a \neq 0, b \neq 0$	$t_0 = T_1 + T_2 - \frac{1}{a} \ln \left[\frac{e^{aT_2} y_2^b - e^{aT_1} y_1^b}{y_2^b - y_1^b} \right]$

Los modelos se ajustaron por dos vías, utilizando el error aditivo y el error multiplicativo. Esto con el objetivo de observar cuál de los dos errores explica mejor los datos (Tabla 3). Los eventos que se relacionan entre sí de manera aditiva tienden a ser descritos por la distribución normal, mientras que los que se relacionan de manera multiplicativa tienden a ser descritos por la distribución lognormal (Haddon, 2001).

Tabla 3. Tipos de errores utilizados para ajustar cada uno de los modelos candidatos.

Error	Formula
Aditivo	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Yt_i - \widehat{Yt_i})^2}{n}}$
Multiplicativo	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln(\frac{Yt_i}{\widehat{Yt_i}}))^2}{n}}$

Los parámetros fueron estimados maximizando la función de log-verosimilitud Haddon (2001):

$$LL = \left(-\frac{n}{2}\right) * (\ln(2\pi) + 2 * \ln\sigma + 1)$$

Donde: LL es la máxima verosimilitud logarítmica, n el número de datos y σ representa la desviación estándar de los errores

El cálculo de los intervalos de confianza (IC) al 95 % para los parámetros de los modelos de crecimiento, se utilizó el método de perfil de verosimilitud (Polacheck *et al.*,1993):

$$IC = 2 \left[L \left(\frac{Y}{p} \right) - L \left(\frac{y}{P_{est}} \right) \right] \leq x_{1,1-a}^2$$

Donde: $L \left(\frac{Y}{p} \right)$ es la máxima verosimilitud logarítmica, $L \left(\frac{y}{P_{est}} \right)$ es la verosimilitud logarítmica más probable del parámetro y $x_{1,1-a}^2$ es el valor de la distribución chi-cuadrada con 1 gl a un nivel de confianza de $1 - a$.

Para establecer si hay diferencias significativas en el crecimiento entre machos y hembras se realizó la prueba de Kimura (1980):

$$X_i^2 = -N * LN \left(\frac{\sum ECS}{\sum ECT} \right)$$

Dónde: N = número total de organismos, $\sum ECS$ = suma del error al cuadrado de los “modelos ganadores” tanto machos y hembras y $\sum ECT$ = suma del error al cuadrado del modelo para el total de organismos.

VIII.9. Inferencia multimodelo (criterio de Akaike)

Con el fin de seleccionar el modelo que mejor se ajusta a cada grupo de datos, se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC).

$$AIC = 2(k - LL)$$

Dónde: LL es el valor de verosimilitud resultante de cada uno de los ajustes y k es el número de parámetros en el modelo.

El modelo con el valor más bajo de AIC_i (AIC_{min}) es el que presenta un mejor desempeño entre los modelos evaluados. Para determinar si los modelos candidatos tienen un soporte estadístico, se estimaron las diferencias de AIC:

$\Delta_i = AIC_i - AIC_{\min}$ para todos los modelos. De acuerdo a Burnham y Anderson (2002): los modelos cuyo $\Delta_i > 10$ no tienen soporte estadístico y deben ser descartados; los modelos con $\Delta_i < 2$ tienen un alto soporte estadístico y deben de ser tomados en cuenta; si $2 > \Delta_i < 7$ tienen un soporte estadístico moderado.

Para estimar la veracidad de cada modelo, se calculó el peso de Akaike (w_i). El peso de Akaike se puede considerar como evidencia a favor del modelo.

$$w_i = \frac{\exp(-0.5\Delta_i)}{\sum_{k=1}^5 \exp(-0.5\Delta_k)}$$

Siguiendo el enfoque multimodelo, se hará un modelo promedio, esto en caso de que ningún modelo se presente como claro ganador ($w_i \geq 90\%$) (Burnham y Anderson, 2002). El modelo promedio será estimado como un promedio ponderado usando los cinco modelos con la predicción de cada modelo ponderada por su w_i (Katsanevakis, 2006). Por lo tanto, la longitud asintótica promediada del modelo es (Burnham y Anderson, 2002):

$$\overline{L_\infty} = \sum_{i=1}^5 w_i \widehat{L_{\infty,i}}$$

IX. Resultados

IX.1.- Muestreo

Como resultado del muestreo de las capturas comerciales de *S. annulatus* (

Tabla 4) en 2014 se colectaron 222 organismos en siete meses, en 2015 se colectaron 608 organismos en 10 meses, mientras que para los meses donde no se obtuvieron organismos silvestres fue debido a falta de recursos económicos para poder llevar a cabo los muestreos. De octubre de 2016 a agosto de 2017

se obtuvieron 77 organismos de cultivo, esto durante ocho meses, los cuales eclosionaron en mayo de 2016.

Tabla 4. Número de organismos del botete diana (*Sphoeroides annulatus*) muestreados de 2014 a 2017, provenientes de la pesca comercial o de la pesca de arrastre de camarón (Silvestres) y de cultivo.

Silvestres												
Año/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2014			3	13	18		31	84		42		31
2015	19	32	67	54	25		99	198	33	24		57
Cultivo												
Año/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2016										17	5	5
2017		9		10	11	10		10				

IX.2.- Composición de tallas

Se analizaron 907 organismos de botete diana *Sphoeroides annulatus*: 77 provenientes de cultivo, con un intervalo de tallas de 67 a 160 mm LT; y el resto (830) del medio silvestre, con un intervalo de tallas de 71 a 440 mm LT.

Las tallas de mayor frecuencia (57 %) se registraron entre 205 y 285 mm de LT. Para silvestres se observan dos grupos modales, el primero con una moda de 4.29% ubicada en el intervalo de 105 y el segundo con una moda de 13.67% registrada en los intervalos de 225 y 245 mm. Para los de cultivo no se observa una distribución, debido a que se muestreaban alrededor de 10 organismos por mes (Figura 7).

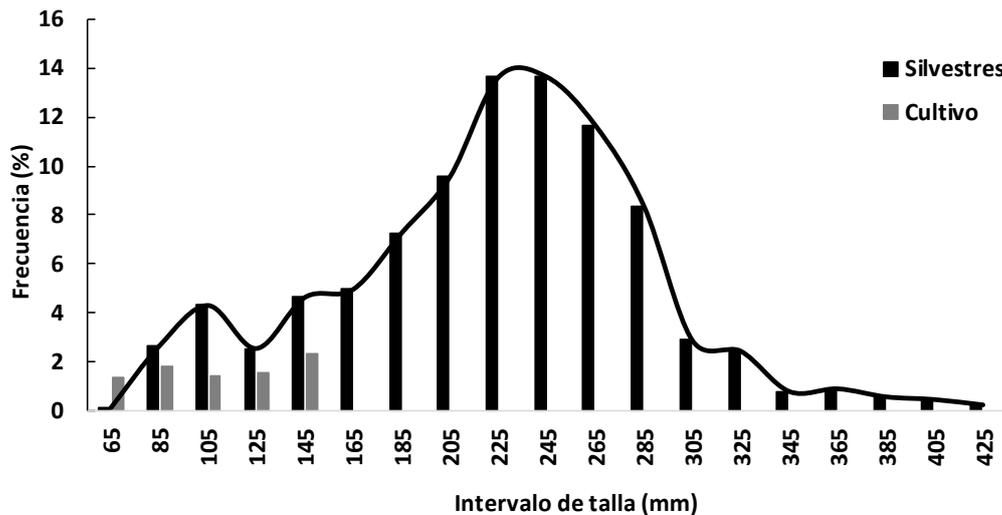


Figura 7. Distribución de tallas de organismos silvestres y de cultivo del botete diana (*Sphoeroides annulatus*).

Para la distribución por sexos se analizaron: 365 machos con un intervalo de 96 a 390 mm LT, observando dos grupos modales, el primero con una moda de 2.97% ubicada en el intervalo de 105 mm y el segundo con una moda de 6.94% registrada en el intervalo de 245 mm; 450 hembras con intervalo de 91 a 440 mm LT registrando dos grupos modales, el primero con una moda de 3.74% en el intervalo de los 145 mm y el segundo con una moda de 7.16% en el intervalo de los 225 mm; 92 organismos indiferenciados con un intervalo de 67 a 320 mm LT con solamente una moda de 2.53% en el intervalo de los 85 mm (Figura 8).

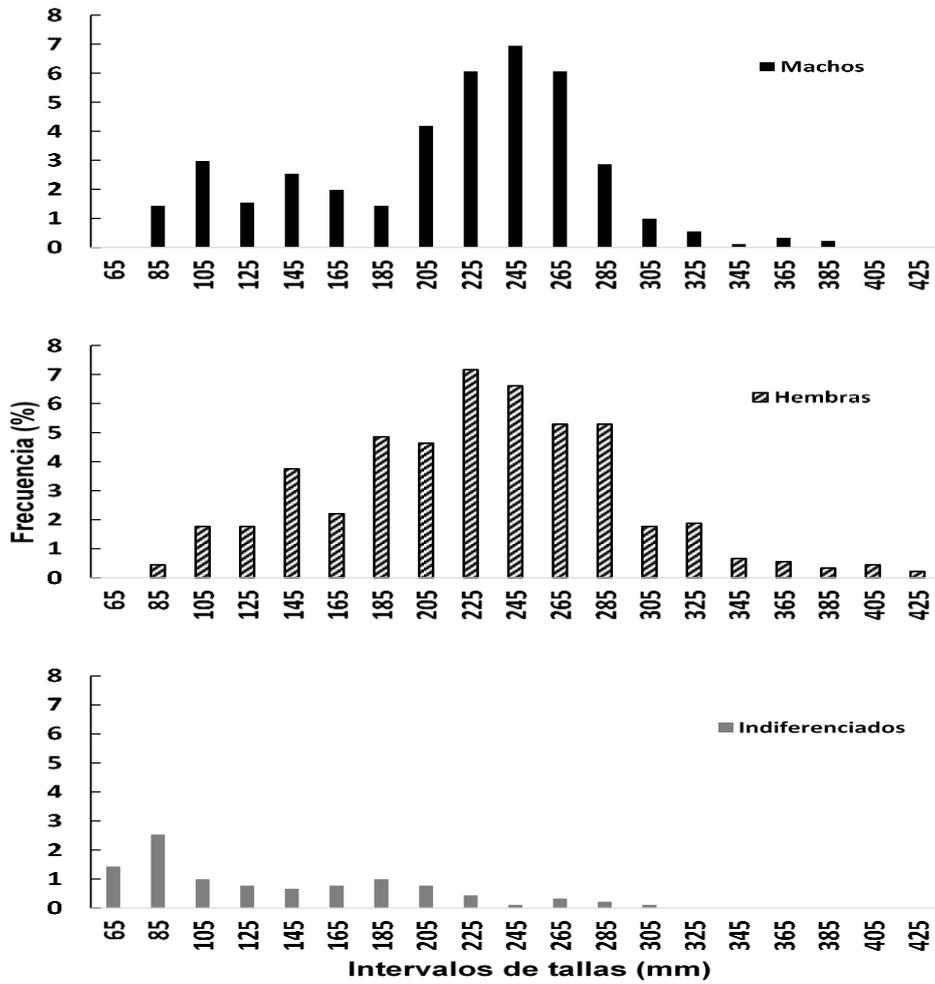


Figura 8. Distribución de frecuencia de talla de machos, hembras e indiferenciados del botete diana (*Sphoeroides annulatus*).

IX.3.- Proporción sexual

La proporción sexual por meses vario, de 6 meses muestreados para el año 2014, únicamente el mes de agosto presentó diferencias significativas respecto a la proporción Hembra:Macho (H:M), obteniendo una hembra por cada 2.04 machos, mientras que para los demás meses del mismo año no hubo diferencias significativas, en abril y mayo se obtuvo un mayor número de machos (1:2), pero lo conformaba una muestra pequeña (12 y 18 organismos respectivamente), mientras que para los meses de octubre y diciembre hubo un mayor número de hembras, pero sin mostrar diferencias significativas en su proporción. Para el

total de la muestra del año 2014 no se obtuvieron diferencias significativas a la proporción H:M obteniendo que por cada hembra hay 1.17 machos. Para el año 2015 se obtuvieron organismos de 10 meses observando que para abril, julio, agosto y diciembre hubo diferencias significativas en la proporción H:M. Mientras que para el resto de meses no hubo diferencia significativa. En el total de la muestra para el año 2015 se encontraron diferencias significativas al obtener una proporción de 1:0.70. En el total de la muestra para los 2 años también se obtuvieron diferencias significativas al encontrar una proporción sexual de 1:0.80 (Tabla 5).

Tabla 5. Proporción Hembra:Macho y prueba de igualdad de porcentajes con corrección (Sokal y Rohlf, 1969) mensual, anual y el total de la muestra de botete diana (*Spherooides annulatus*) de la costa de Sinaloa en 2014 y 2015.

Mes	Proporción			Prueba 0.05		
	2014	2015	Total	2014	2015	total
Enero		1:0.6	1:0.6		0.3433	0.3433
Febrero		1:1.38	1:1.38		0.3805	0.3805
Marzo		1:1.16	1:1.16		0.5442	0.5442
Abril	1:2	1:1.89	1:1.91	0.2907	0.0367	0.0186
Mayo	1:2	1:0.69	1:1.11	0.1918	0.4086	0.7537
Junio						
Julio	1:1.07	1:0.41	1:0.53	0.8541	0.0003	0.0012
Agosto	1:2.04	1:0.6	1:0.84	0.0076	0.0011	0.1698
Septiembre		1:0.58	1:0.58		0.1649	0.1649
Octubre	1:0.56	1:0.6	1:0.57	0.0793	0.2429	0.0346
Noviembre						
Diciembre	1:0.61	1:0.45	1:0.5	0.2132	0.0096	0.0043
Total	1:1.17	1:0.7	1:0.8	0.2603	0.0000	0.0022

IX.4.- Relación del diámetro vertebral y longitud total

En el gráfico del LT vs. DV se puede observar que existe una relación positiva lineal ($DV = 37.63 \cdot LT + 50.995$), es decir, al aumentar la longitud total aumenta también el diámetro vertebral. Se obtuvo una alta correlación entre el diámetro vertebral y la longitud total ($R^2 = 0.8798$) y el coeficiente de correlación de Pearson indicó una correlación fuerte, al obtener 0.94. Por lo tanto, la vértebra

del botete diana crece proporcionalmente con el cuerpo, por lo que puede ser empleada para describir el crecimiento de la especie (Figura 9).

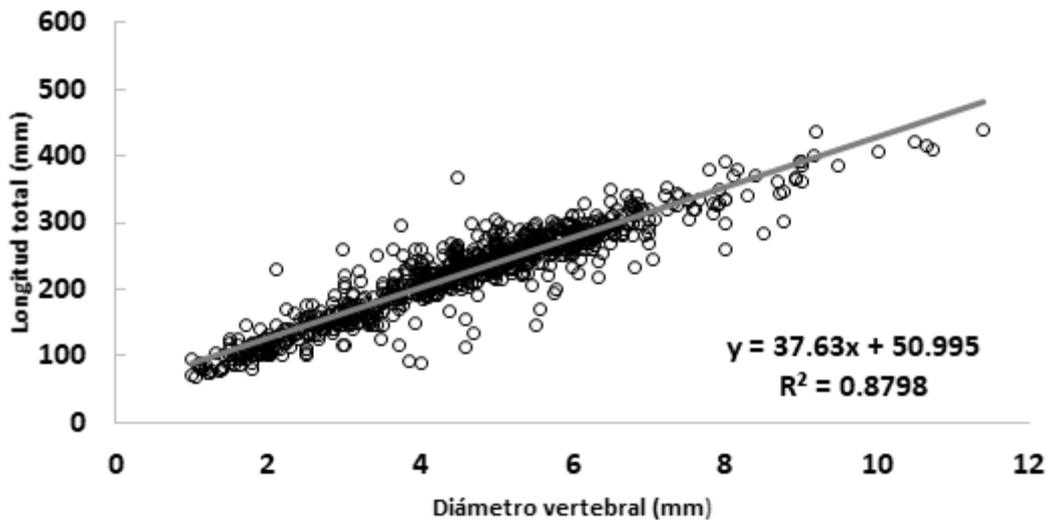


Figura 9. Relación del diámetro de la vértebra y longitud total de botete diana (*Sphoeroides annulatus*).

IX.5.- Periodicidad de la formación de bandas de crecimiento

En la frecuencia mensual del tipo de borde para organismos silvestres del año 2014 se analizaron 219 organismos de *S. annulatus*, observando un mayor porcentaje de bordes hialinos para los meses de abril (61%) y mayo (66%) indicando que ha culminado la formación del par de bandas, mientras que el mes que presentó mayor porcentaje de bordes opacos fue diciembre (93%) que indica que ha culminado la formación del borde hialino en la mayoría de los organismos. Mostrando que la periodicidad de la formación de bandas (hialino-opaco) es anual. La temperatura promedio superficial del mar muestra que para los meses donde se forma el par de bandas (abril y mayo) es cuando comienza a aumentar la temperatura, mientras que los meses con mayor porcentaje de borde opaco presentan una mayor temperatura (Figura 10a). La concentración promedio de clorofila *a* indica que a través del año 2014 hubo baja productividad, esto pudo haber influido sobre la formación del borde opaco y postergar su formación hasta

los meses de octubre-diciembre que es cuando comienza a haber un aumento de la concentración de clorofila α (Figura 11a).

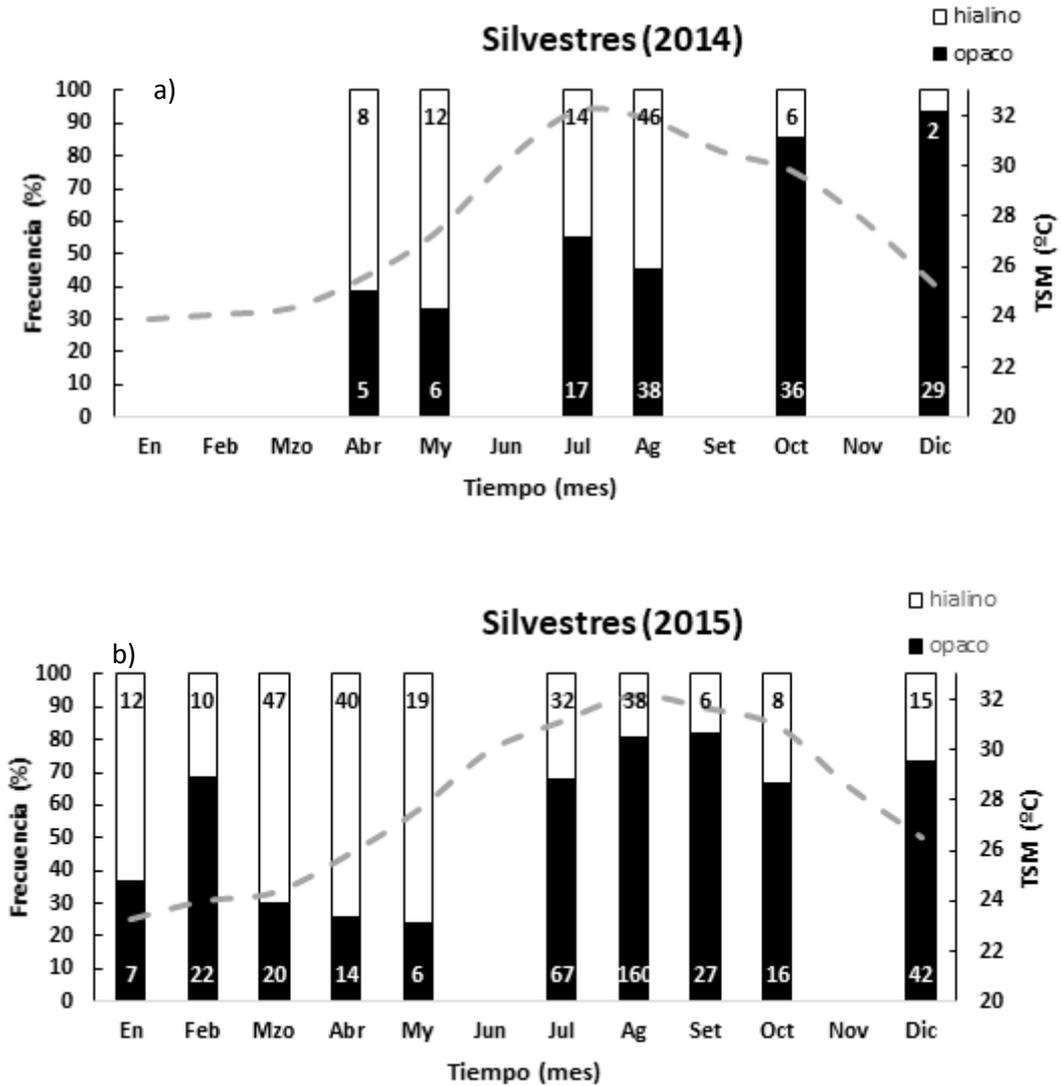


Figura 10. Proporción mensual del tipo de borde utilizando luz transmitida en vértebras de botete diana (*Spherooides annulatus*) muestreados en el medio silvestre por año: a) 2014; b) 2015. Línea discontinua representa la temperatura promedio superficial del mar.

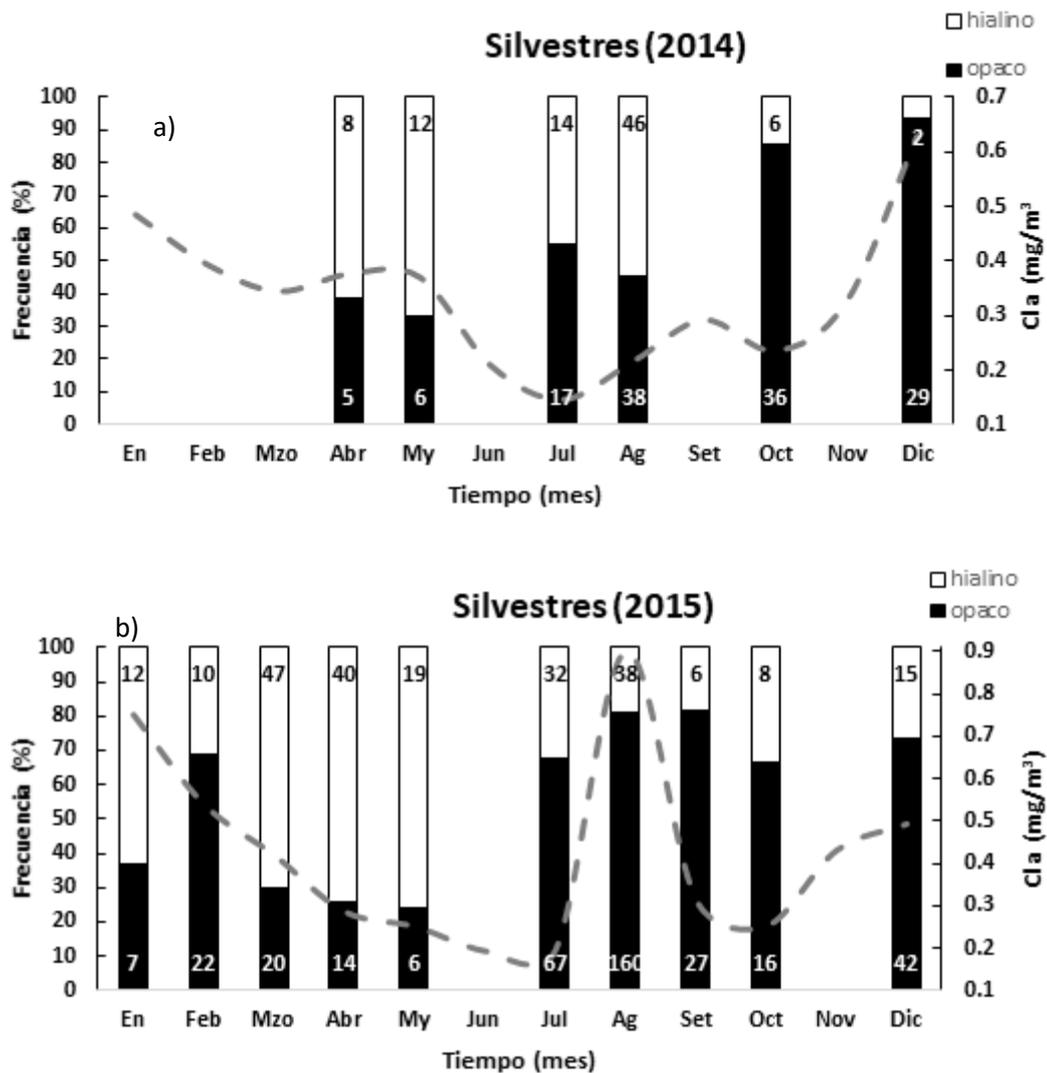


Figura 11. Proporción mensual del tipo de borde utilizando luz transmitida en vértebras de botete diana (*Sphoeroides annulatus*) muestreados en el medio silvestre por año: a) 2014; b) 2015. Línea discontinua representa la concentración promedio de clorofila *a* (*Cla*).

Para obtener la frecuencia mensual de vértebras con bordes hialinos y opacos, se utilizaron 608 organismos pertenecientes al año 2015 donde se pudo observar que la periodicidad de la formación de bandas comprende de un ciclo anual. La mayor proporción de bordes hialinos se encontró en los meses de abril con 74% y el mes de mayo con 76%, indicando que ha culminado la formación del par de bandas (hialino-opaco). Mientras que la mayor proporción de bordes opacos se obtuvo en los meses de agosto con 80% y septiembre con 82%, lo cual nos indica

que la formación de la banda hialina culmina en estos meses. Dando así paso a la formación de la banda opaca. La temperatura promedio superficial del mar en los meses de marzo a mayo se observa un incremento de 24 a 27 °C, en estos meses es cuando culmina la formación del par de bandas. Para los meses de agosto y septiembre, que es cuando ocurre la formación del borde opaco se registran las mayores temperaturas que va de 30 a 32 °C (Figura 10b). Durante 2015, la menor concentración de clorofila se registró de marzo a mayo, propiciando una baja productividad en el sistema, coincidiendo con la formación del borde hialino. De julio a septiembre se registra un aumento en la concentración de clorofila α , propiciando una mayor productividad en el sistema, llegando al punto máximo en agosto, que es cuando se observa una mayor frecuencia de bordes opacos, esto podría influenciar sobre la formación del borde opaco en estos meses, al contar con mayor alimento disponible los depósitos de calcio sobre la vértebra aumentan (Figura 11b).

Los organismos de cultivo eclosionaron en el mes de mayo de 2016 y se empezaron a recolectar a partir de octubre del mismo año. De octubre a diciembre las vértebras presentaron en su mayoría borde hialino (23 bordes hialinos y 4 bordes opacos), en febrero de 2017 se observó en 5 vértebras de 9 muestreadas el inicio de la formación del borde opaco, la formación del borde hialino se observó en abril y mayo, encontrando un total de 17 bordes hialinos y 4 opacos, el cual coincide con el mes de eclosión, en junio y agosto 16 vértebras de 20 muestreadas presentaron borde opaco corroborando que la formación del par de bandas en *S. annulatus* es anual (Figura 12).

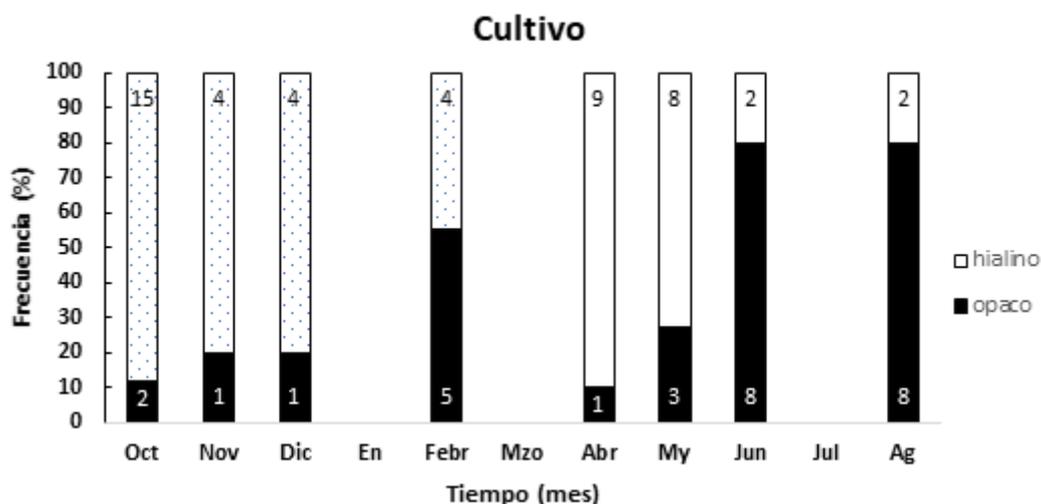


Figura 12. Proporción mensual del tipo de borde utilizando luz transmitida en vértebras de botete diana (*Sphoeroides annulatus*) cultivado.

IX.6.- Verificación y precisión de las lecturas

Para un total de 907 vertebras analizadas, se estimó el error porcentual promedio (APE) de las tres lecturas realizadas por el autor, siendo este de 4.49 %, mostrando que la edad fue consistente y las lecturas reproducibles. El valor obtenido para el coeficiente de variación (CV) fue de 4.0 % y un porcentaje de acuerdo (PA) del 76.6 %.

Al confrontar los resultados de las lecturas se observa una mayor discrepancia entre las edades asignadas a las vértebras en la lectura 1 respecto a la lectura 2 y la lectura 3, respectivamente (Figura 13 a y b). Por ejemplo, observamos que en la lectura 1 las vértebras con 4 pares de bandas, para la lectura 2 y lectura 3 se asignaron de 3 a 7 bandas. Mientras que al comparar la lectura 2 con la lectura 3 se observa menor variabilidad entre lecturas, por ejemplo, en la lectura 2 para las vértebras que presentaron 4 pares de bandas, en la lectura 3 se asignaron de 3 a 5 (Figura 13 c). La regresión lineal ajustada a las lecturas de conteo de par de bandas tuvo un coeficiente de correlación alto, sin embargo, el mayor

valor se obtuvo en la comparación de las lecturas 2 y 3 con un $R^2=0.95$ (Figura 13 c).

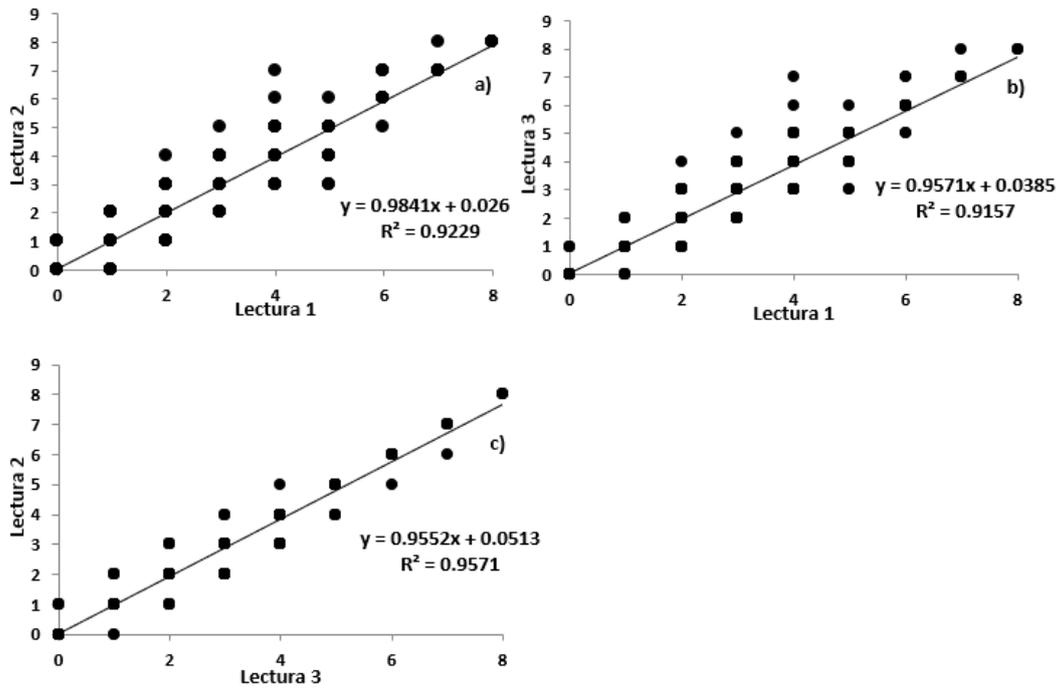


Figura 13. Relación lineal entre las lecturas realizadas en la vértebra del botete diana *Sphoeroides annulatus* (número de bandas): a) Lectura 1 vs. Lectura 2, b) Lectura 1 vs. Lectura 3, c) Lectura 2 vs. Lectura 3.

IX.7.- Estructura de edad y talla

La estructura de edades en machos de *S. annulatus* estuvo representada por organismos que van de 0 a 7 años (Figura 14). Para los organismos de edad 0 la LT va de 96 - 155 mm, con una media de 113.46 mm y una desviación estándar (SD) de 13.03 mm ($n = 46$), para el año 1 la LT va de 105 - 261 mm, con una media de 174.17 mm y una SD de 35.25 mm ($n = 69$), en el año 2 el intervalo fue de 170 - 275 mm de LT, con una media de 231.15 mm y una SD de 22.81 mm ($n = 96$), en el año 3 el intervalo fue de 210 - 303 mm de LT con una media de 259.59 mm y una SD de 21.06 mm ($n = 90$), para el año 4 el intervalo fue de 225 - 367 mm de LT, con una media de 282.41 mm y una SD de 26.54 mm ($n = 46$) en el año 5 el intervalo fue de 270 - 342 mm de LT, con una media de 308.27

mm y una SD de 26.48 mm ($n = 11$), para el año 6 el intervalo fue de 311 – 380 mm de LT, con una media de 342 mm y una SD de 35.03 mm ($n = 3$) y para el año 7 el intervalo fue de 305 – 390 mm de LT, con una media de 367.25 mm y una SD de 41.6 mm ($n = 4$).

Es evidente un traslape de longitudes en los primeros tres años, esto podría suceder debido a que algunos organismos se encontraban próximos a culminar la siguiente formación de bandas o debido a factores genéticos que propician un menor o mayor crecimiento en los machos de botete.

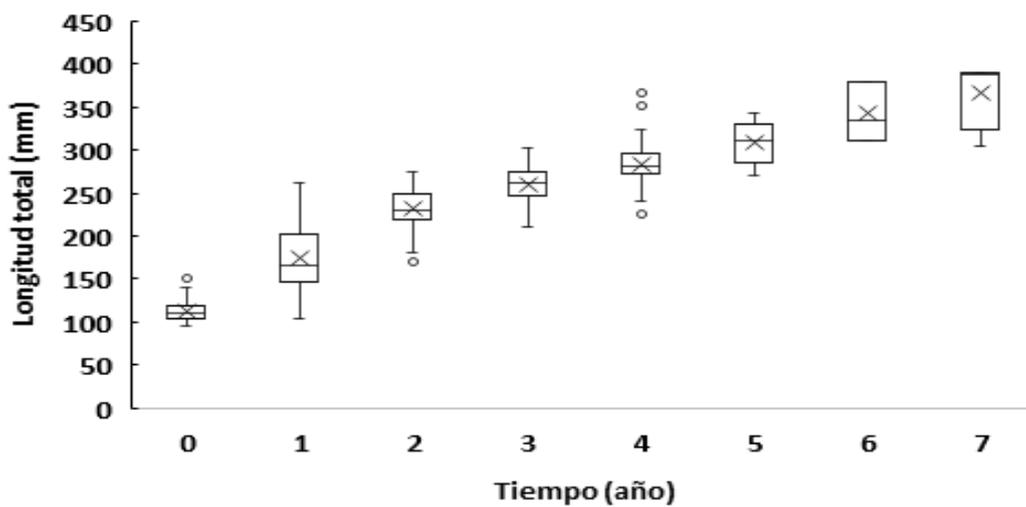


Figura 14. Estructura de edades de machos de botete diana (*Sphoeroides annulatus*).

La estructura de edades en hembras de *S. annulatus* estuvo representada por organismos de 0 a 8 años de edad. En los organismos de edad 0 se encontraron tallas desde 91 – 200 mm de LT, con una media de 126.52 mm y una SD de 23.01 mm ($n = 31$), para los organismos con 1 año de edad el intervalo fue de 114 – 295 mm de LT, con una media de 178.04 mm y una SD de 31.39 mm ($n = 99$), para los de 2 años el intervalo fue de 125 – 300 mm de LT, con una media de 233 mm y una SD de 26.75 mm ($n = 123$), para los de 3 años el intervalo fue de 145 – 350 mm de LT, con una media de 261.77 mm y una SD de 28.74 mm ($n = 105$), en los de 4 años se encontró un intervalo de 249 – 347 mm de LT, con una media de 290.04 mm y una SD de 20.92 mm ($n = 47$), para los de 5 años el intervalo fue de 295 – 360 mm de LT, con una media de 321.37 mm y una SD

de 18.43 mm (n = 19), los de 6 años el intervalo fue de 290 – 405 mm de LT, con una media de 344.60 mm y una SD de 34.76 mm (n = 15), para los organismos con 7 años el intervalo fue de 335 – 435 mm de LT, con una media de 370.83 mm y una SD de 35.97 mm (n = 6) y finalmente para los de 8 años se encontró un intervalo de 400 – 440 mm de LT, con una media de 417 mm y una SD de 14.83 mm (n = 5).

En las hembras ocurre un traslape de longitudes más evidente entre el segundo año y el tercer año, de igual manera esto podría suceder debido a que algunos organismos se encontraban próximos a culminar el siguiente par de bandas o a factores genéticos que propician un crecimiento menor o mayor en las hembras de botete.

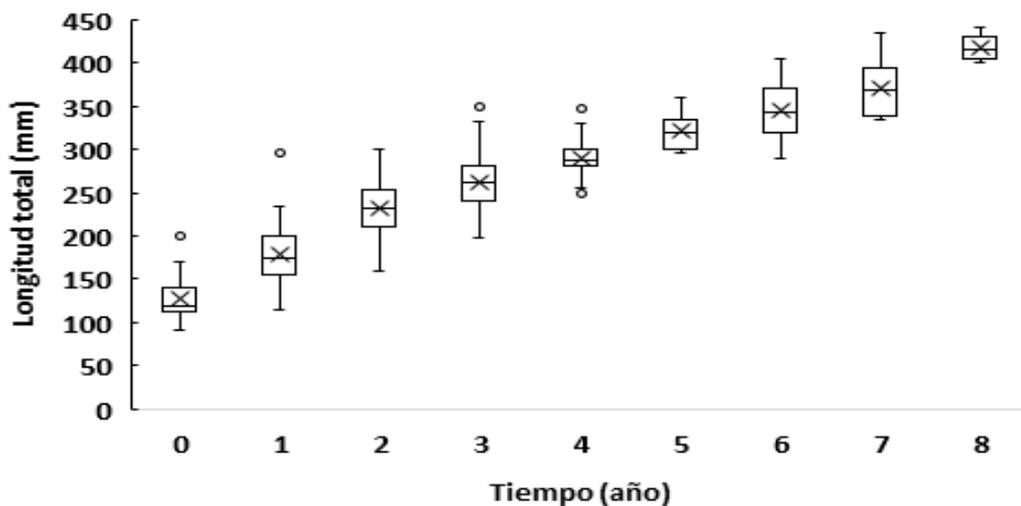


Figura 15. Estructura de edades de hembras de botete diana (*Sphoeroides annulatus*).

IX.8.- Crecimiento individual e inferencia multi-modelo

A partir de los cinco modelos ajustados a los datos de longitud total y edad, para describir el crecimiento de *S. annulatus*, para machos se encontró un mejor ajuste asumiendo error aditivo, en todos los modelos el valor de AIC es menor que con su correspondiente con el error multiplicativo (Tabla 6). Siendo el modelo

3 de Schnute el que presentaba un mejor desempeño para describir el crecimiento de *S. annulatus* con un peso de Akaike de 53.7%. El Schnute 1 mostró tener buen soporte estadístico ya que el valor de Δi fue menor a 2 y obtuvo un $w_i = 25.86\%$. Mientras que el modelo especial de Schnute mostró un valor de Δi de 1.98 indicando tener buen soporte estadístico y un $w_i = 19.98\%$. El Schnute 2 mostró tener poco soporte estadístico al obtener un valor de Δi de 9.5 y un $w_i = 0.46\%$, el Schnute 4 presentó nulo soporte estadístico al obtener un valor de Δi por arriba de 10. Mientras que la edad inicial (T_1) registrada fue 0 y la edad final (T_2) fue de 7 años.

Tabla 6. Parámetros de los modelos de crecimiento (a parámetro de crecimiento con unidades de años, b punto de inflexión de una curva de crecimiento sigmoideal, y_1 y y_2 LT al inicio y final del intervalo y T_1 y T_2 es la edad observada mínima y máxima), modelo promedio (MP), Criterio de Información de Akaike con error aditivo ($AIC A$) y multiplicativo ($AIC M$) de machos de botete diana (*Spherooides annulatus*). Δ_i ($AIC_i - AIC_{min}$), W_i (evidencia a favor del modelo).

Modelo	y_1	y_2	a	b	L_∞	t_0	$AIC A$	Δi	W_i	$AIC M$
1	112.25	350.42	0.09	1.95	504.84	-0.62	3408.75	1.46	25.86	3430.71
2	116.48	327.88	0.47		340.86		3416.79	9.50	0.46	3429.47
3	112.01	356.84		2.40			3407.29	0.00	53.70	3433.76
4	158.24	440.34					3605.13	197.84	0.00	3650.17
E1	113.95	339.10	0.27	1.00	378.33	-1.31	3409.27	1.98	19.98	3428.93
MP	112.48	351.50	0.08	1.99						
$T_1 =$	0	$T_2 =$	7							

El modelo 1 de Schnute presentó una curva de crecimiento asintótico no sigmoideo donde se puede observar que la asíntota se comienza a alcanzar entre los seis y siete años, el modelo 3 mostró un patrón de crecimiento no asintótico comenzando a ver un crecimiento acelerado durante el primer año y

se observa que a partir del año cinco comienza a tener un mayor crecimiento en comparación al modelo 1. El modelo especial 1 presenta una curva de crecimiento asintótico no sigmoideo, la asíntota se comienza a alcanzar entre los cinco y seis años, el cual es igual al crecimiento que se presenta por el modelo de von Bertalanffy. El modelo 2 presentó una curva de crecimiento asintótica no sigmoideo, pero la asíntota se encuentra aún más pronunciada que los demás modelos asintóticos. Al no haber un claro ganador ($W_i > 90\%$) se obtuvo el modelo promedio (MP), mostrando una diferencia menor 1 mm con respecto al modelo que mejor describe el crecimiento de *S. annulatus* en machos (modelo 3), mientras que el modelo especial 1 de Schnute mostró una diferencia mayor a 1 mm en las primeras edades y hasta 12 mm en las edades más avanzadas (Figura 16). Los intervalos de confianza para el modelo 3 fueron: $y_1 = 105.05 - 118.8$, $y_2 = 351.61 - 362.08$ y $b = 2.2768 - 2.528$ (Figura 17).

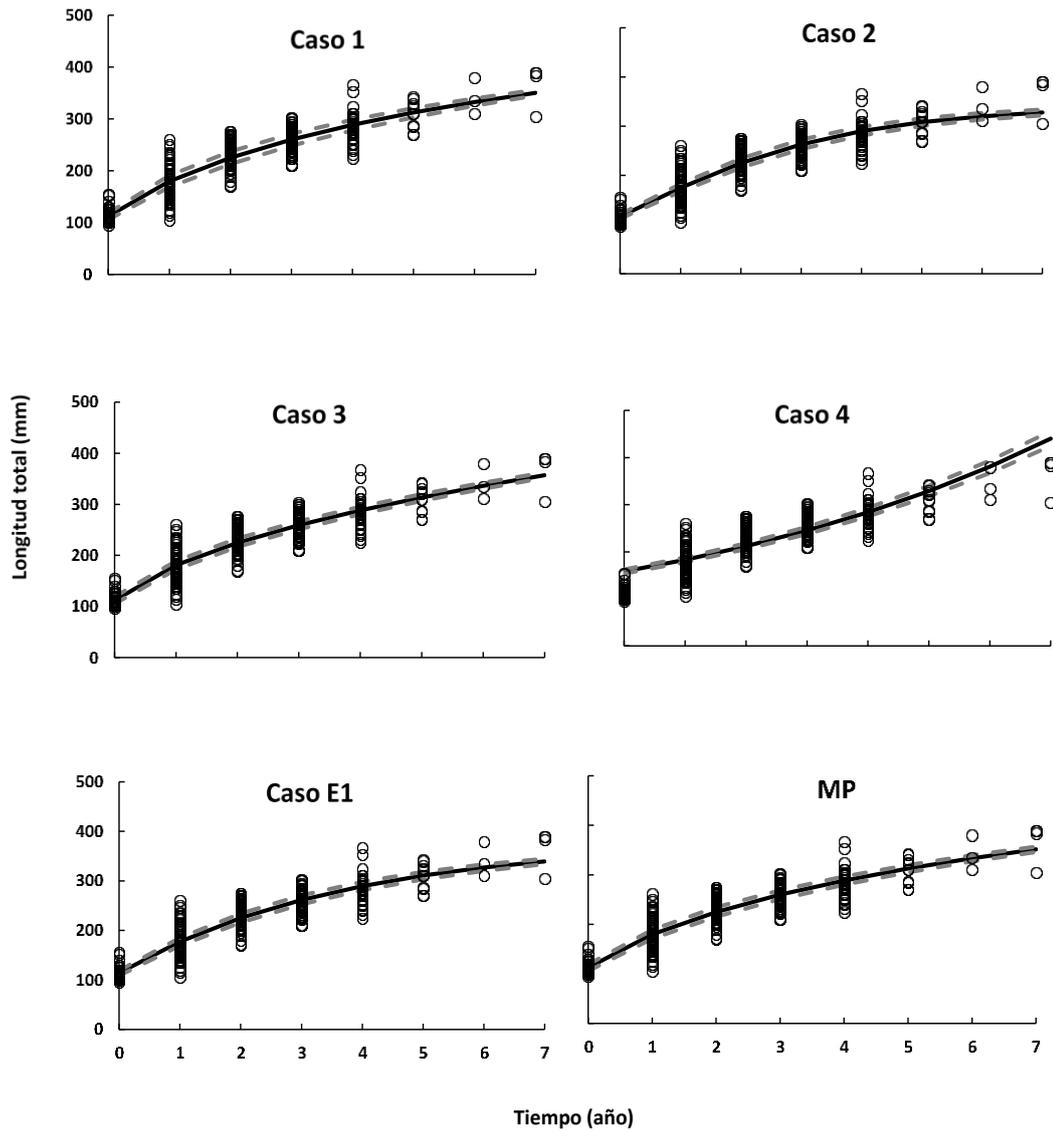


Figura 16. Ajuste de los modelos de crecimiento de Schnute (línea continua) por grupo de edad (círculos) para los machos de botete diana (*Sphoeroides annulatus*), línea discontinua indica el valor mínimo y máximo del intervalo de confianza 95% de cada modelo.

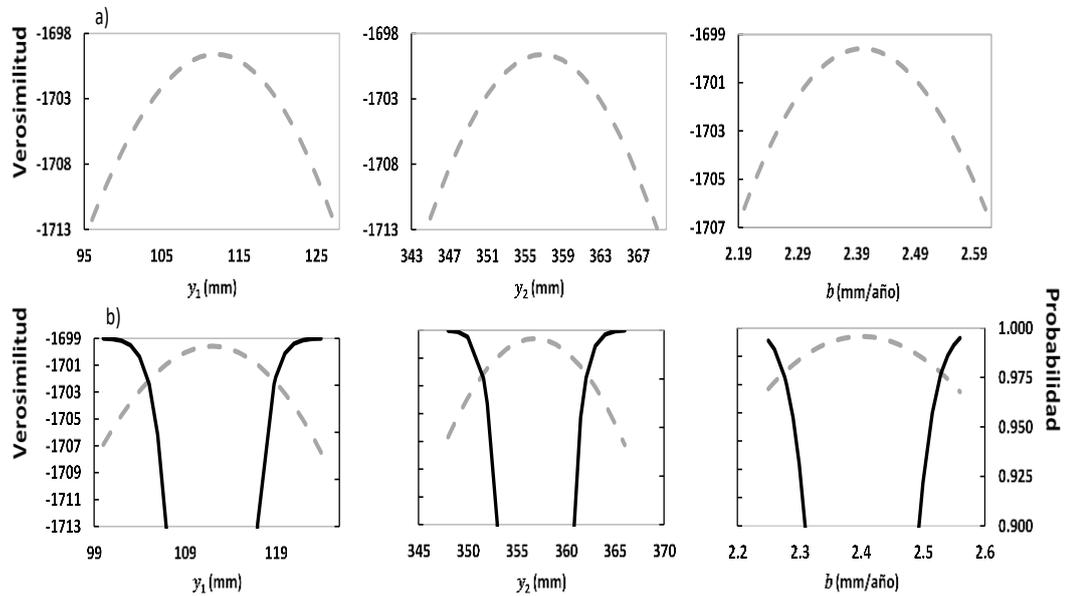


Figura 17. Perfiles de verosimilitud de los parámetros a) y su acercamiento para representar los intervalos de confianza al 95% b) del modelo Schnute 3 para machos de botete diana (*Sphoeroides annulatus*). Línea negra probabilidad Chi-cuadrada y línea discontinua gris verosimilitud.

Para las hembras de *S. annulatus* se observó un mejor ajuste en los 5 modelos de Schnute utilizando el error aditivo, en todos los modelos el valor de AIC es menor que con su correspondiente con el error multiplicativo. Al igual que en los machos, el Schnute 3 es el que presentó un mejor desempeño, obteniendo un $w_i = 67.33\%$, mientras que el Schnute 1 obtuvo buen soporte estadístico al presentar un Δi menor a 2 y un $w_i = 27.11\%$. En esta situación el Schnute especial presentó soporte estadístico moderado con un Δi de 5.01 y un $w_i = 5.51\%$, mientras que el Schnute 2 y 4 presentaron nulo soporte estadístico al presentar un $\Delta i > 10$. Mientras que la edad inicial (T_1) registrada que fue 0 y la edad final (T_2) fue de 8 años (Tabla 7).

Tabla 7. Parámetros de los modelos de crecimiento (a parámetro de crecimiento con unidades de años, b punto de inflexión de una curva de crecimiento sigmoideal, y_1 y y_2 LT al inicio y final del intervalo y T_1 y T_2 es la edad observada mínima y máxima), modelo promedio (MP), Criterio de Información de Akaike con error aditivo (AIC A) y

multiplicativo ($AIC M$) de hembras de botete diana (*Sphoeroides annulatus*). Δ_i ($AIC_i - AIC_{min}$), W_i (evidencia a favor del modelo).

Modelo	y_1	y_2	a	b	L_∞	t_0	$AIC A$	Δ_i	W_i	$AIC M$
1	123.61	398.95	-0.041	2.300	678.68	-0.70	4241.03	1.82	27.11	4322.17
2	133.96	380.15	0.299		422.23		4253.49	14.29	0.05	4324.20
3	124.15	395.81		2.044			4239.21	0.00	67.33	4321.49
4	171.51	461.45					4391.17	151.96	0.00	4486.58
E1	128.93	387.25	0.154	1.000	493.07	-1.96	4244.21	5.01	5.51	4320.32
MP	124.28	396.18	0.00	2.05						
$T_1=$	0	$T_2=$	8							

Las curvas de crecimiento de las hembras fueron similares a la de los machos, con diferencia de que los modelos (1, 2 y E1) se pronuncia menos la asintótica, esto debido a que las hembras en el presente estudio estuvieron representadas por organismos de mayor edad y más grandes. Se observa también que a partir del año 6 las curvas de crecimiento del modelo 1 y 3 comenzaron a desempatar, mostrando un mayor crecimiento el modelo uno. Al no haber un modelo como claro ganador se hizo el modelo promedio (MP) mostrando una diferencia menor a 1 mm con respecto al modelo 3 y 1, que fueron los que mejor describieron el crecimiento en hembras de *S.annulatus* (Figura 18). Los intervalos de confianza para el modelo tres en hembras fue de: $y_1= 117.65 - 130.48$, $y_2= 390.09 - 401.52$ y $b= 1.9425 - 2.147$ (Figura 19).

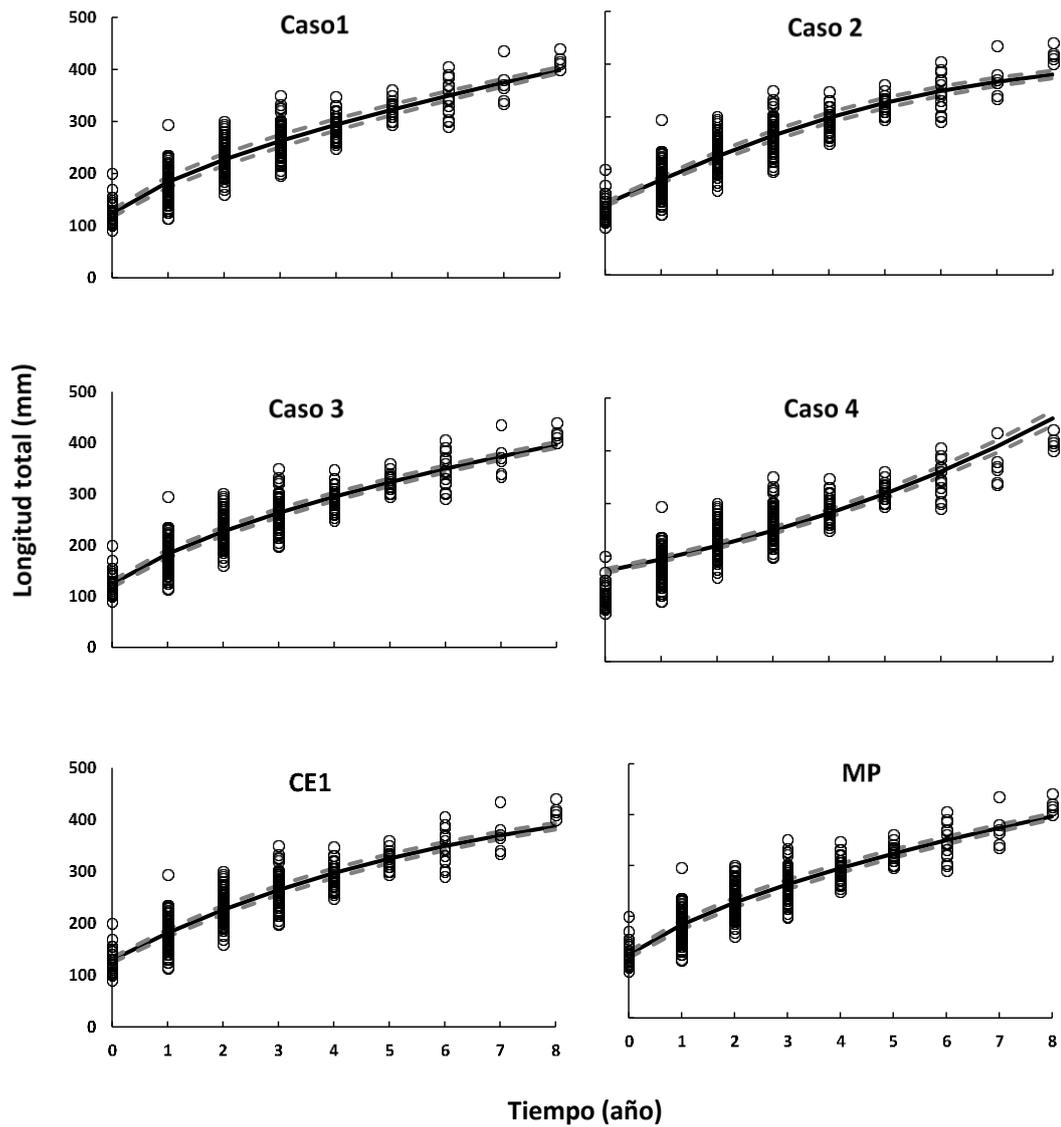


Figura 18. Ajuste de los modelos de crecimiento de Schnute (línea continua) por grupo de edad (círculos) para las hembras del botete diana (*Spherooides annulatus*), la línea discontinua indica el valor mínimo y máximo del intervalo de confianza 95% de cada modelo.

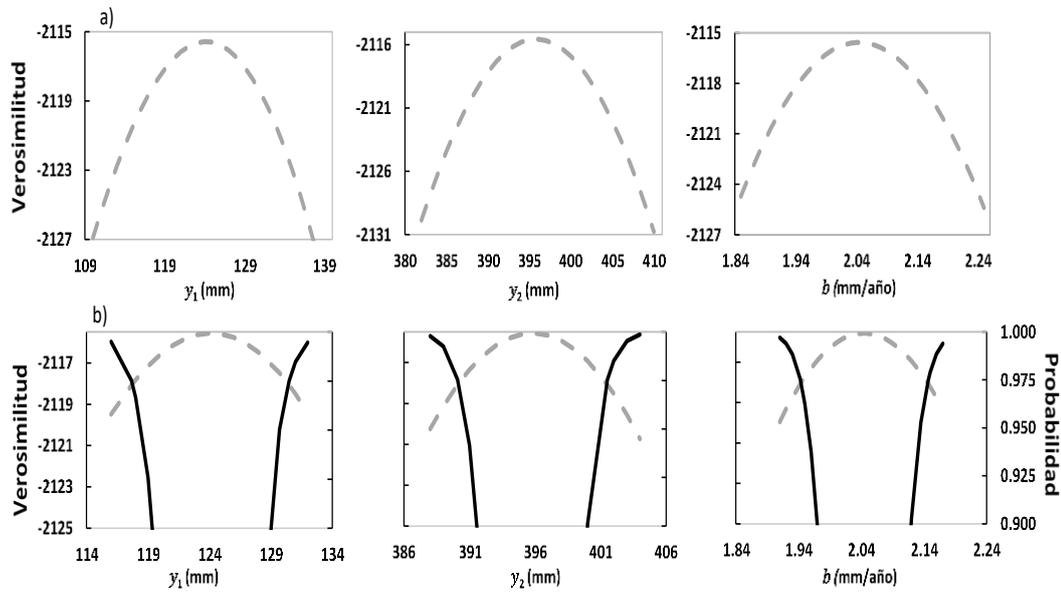


Figura 19. Perfiles de verosimilitud de los parámetros a) y su acercamiento para representar los intervalos de confianza al 95% b) del modelo Schnute 3 para hembras de botete diana (*Spherooides annulatus*). Línea negra probabilidad Chi-cuadrada y línea discontinua gris verosimilitud.

También se ajustaron los modelos a los datos combinados (machos y hembras) obteniendo resultados similares a aquellos para machos y hembras. El modelo Schnute 3 fue el que presentó el menor valor de AIC y obteniendo un $w_i = 67.62\%$ (Tabla 8). El Schnute 1 presentó buen soporte estadístico con un valor de Δi de 1.48 y un $w_i = 32.32\%$. El resto de modelos (2, 4 y E1) no tuvieron soporte estadístico al presentar un valor de $\Delta i > 10$. Mientras que la edad inicial (T_1) registrada que fue 0 y la edad final (T_2) fue de 8 años. Al no haber un modelo como claro ganador, se hizo el modelo promedio mostrando una diferencia menor a 1 mm tanto para el Schnute 3 como el Schnute 1 (Figura 20). Los intervalos de confianza al 95% del modelo 3 fueron de: $y_1 = 112.58 - 122.1$, $y_2 = 384.4 - 392.45$, y $b = 2.1197 - 2.267$ (Figura 21).

Tabla 8. Parámetros de los modelos de crecimiento (a parámetro de crecimiento con unidades de años, b punto de inflexión de una curva de crecimiento sigmoïdal, y_1 y y_2 LT al inicio y final del intervalo y T_1 y T_2 es la edad observada mínima y máxima), modelo promedio (MP), Criterio de Información de Akaike con error aditivo ($AIC A$) y multiplicativo ($AIC M$) para el total de la muestra de botete diana (*Sphoeroides annulatus*). Δ_i ($AIC_i - AIC_{min}$), W_i (evidencia a favor del modelo).

Modelo	y_1	y_2	a	b	L_∞	t_0	$AIC A$	Δ_i	W_i	$AIC M$
1	117.02	392.87	-0.048	2.468	678.68	-0.70	7652.96	1.48	32.32	7734.05
2	126.20	364.30	0.356		422.23		7688.42	36.94	0.00	7742.66
3	117.38	388.42		2.193			7651.48	0.00	67.62	7734.71
4	166.15	476.38					8008.24	356.76	0.00	8143.58
E1	121.71	374.57	0.194	1.000	493.07	-1.96	7665.49	14.01	0.06	7732.91
MP	117.27	389.85	-0.02	2.28						
$T_1 =$	0	$T_2 =$	8							

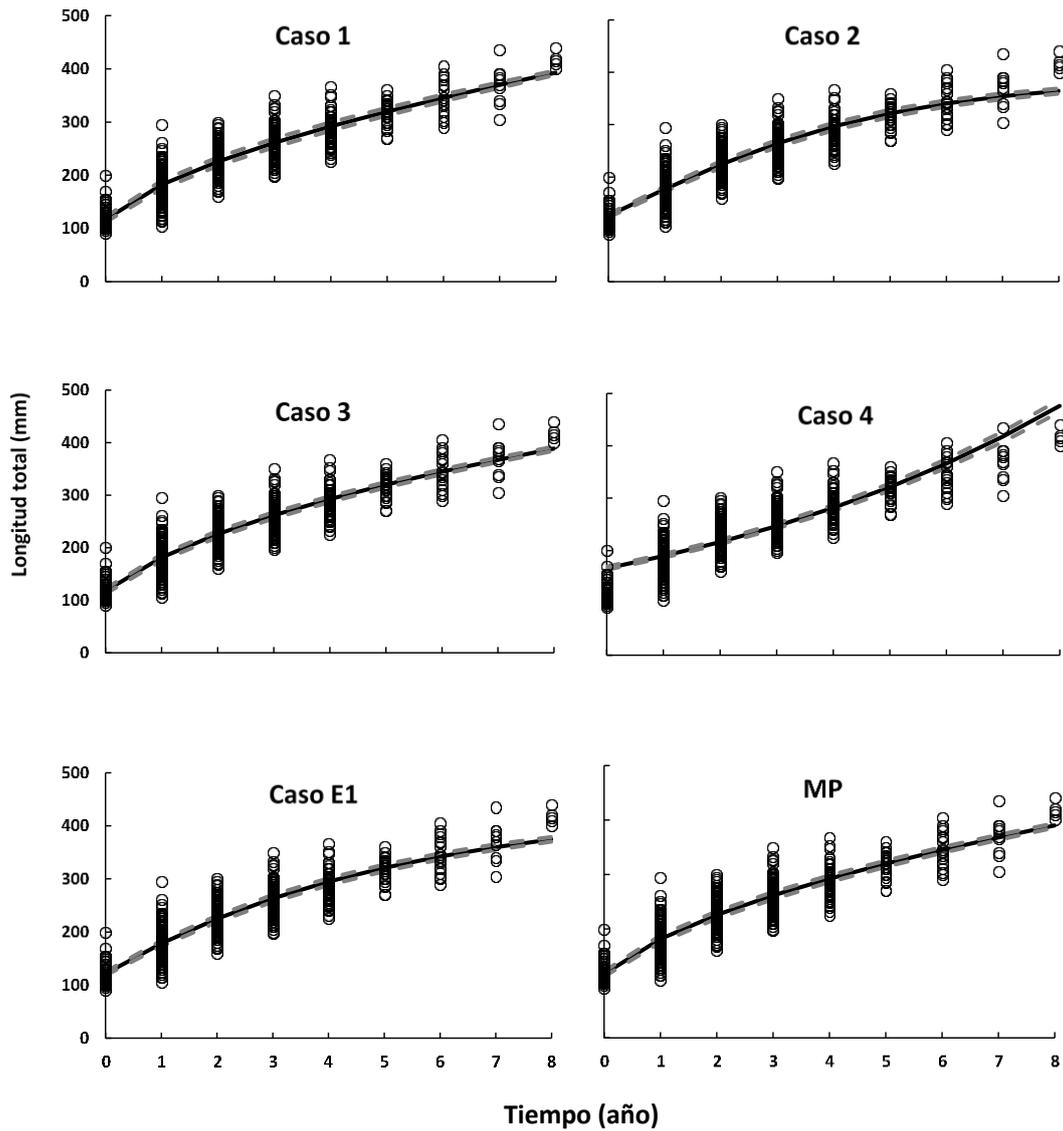


Figura 20. Ajuste de los modelos de crecimiento de Schnute (línea continua) por grupo de edad (círculos) para los datos totales (machos-hembras) de botete diana (*Sphaeroides annulatus*), la línea discontinua indica el valor mínimo y máximo del intervalo de confianza 95% de cada modelo.

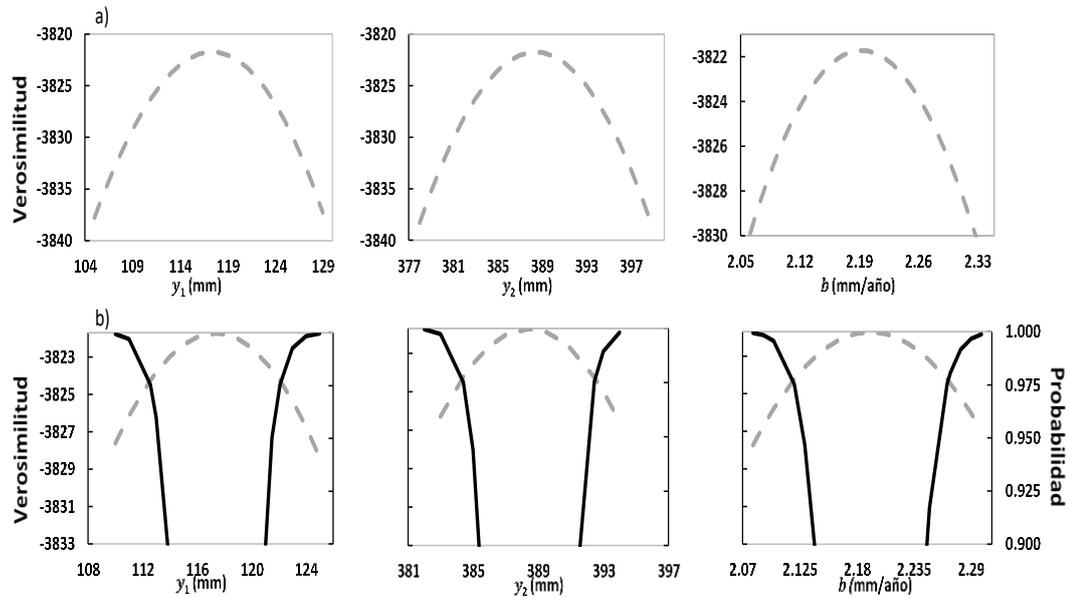


Figura 21. Perfiles de verosimilitud de los parámetros a) y su acercamiento para representar los intervalos de confianza al 95% b) del modelo Schnute 3 para el total de la muestra (machos-hembras) de botete diana (*Spherooides annulatus*). Línea negra probabilidad Chi-cuadrada y línea discontinua gris verosimilitud.

Se realizó la prueba de Kimura para evaluar diferencias entre el crecimiento de machos y hembras, obteniendo una p de 0.01580 al comparar los errores de machos y hembras del Schnute 1 (Tabla 9, Figura 22). También se compararon los errores de machos y hembras del Schnute 3 dando como resultado una p de 0.01758 (Tabla 10, Figura 23). El cual nos indica que hay diferencias significativas en ambos modelos ya que $p < 0.05$.

Tabla 9. Prueba de Kimura para evaluar si existe crecimiento diferencial entre sexos de *S. annulatus*, probando el modelo 1 de Schnute.

Modelo 1	N	$\sum(\text{error})^2$	X_i^2	Probabilidad
Total	811	587961.91	10.35	1.58E-02
Machos	365	236382.71		
Hembras	446	344122.37		

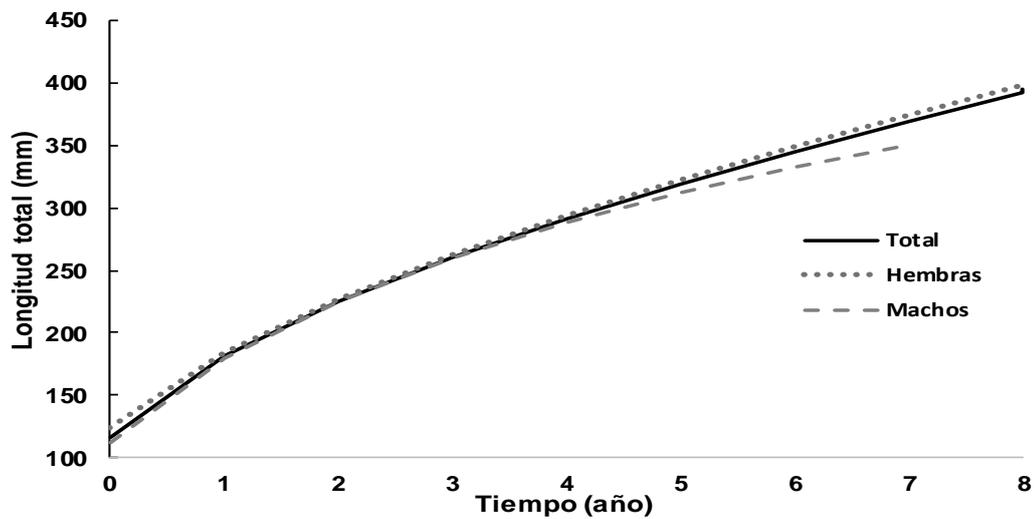


Figura 22. Comparación gráfica de los ajustes del modelo 1 de Schnute para los datos de hembras, machos y total de *S. annulatus*.

Tabla 10. Prueba de Kimura para evaluar si existe crecimiento diferencial entre sexos de *S. annulatus*, probando el modelo 3 de Schnute.

Modelo 3	N	$\sum(\text{error})^2$	X_i^2	Probabilidad
Total	811	588359.91	10.11	1.76E-02
Machos	365	236767.96		
Hembras	446	344296.97		

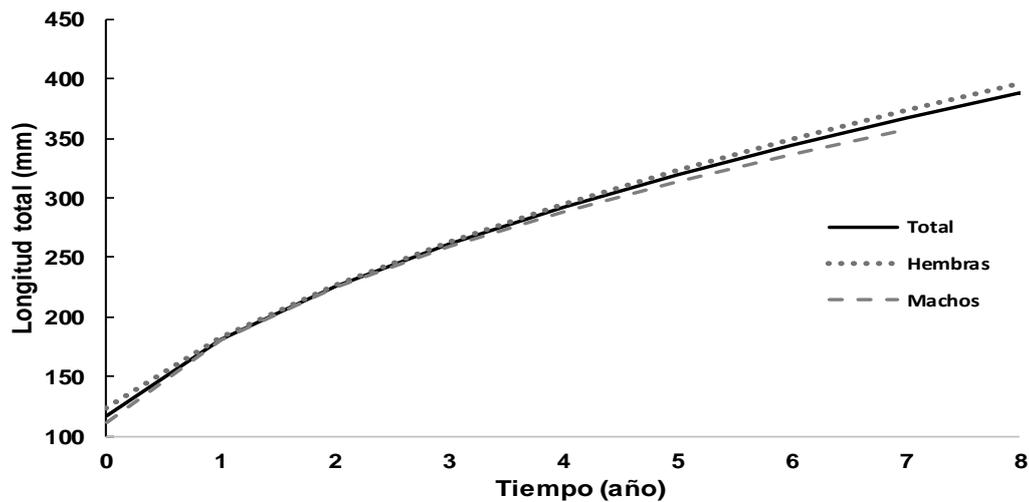


Figura 23. Comparación grafica de los ajustes del modelo 3 de Schnute para los datos de hembras, machos y total de *S. annulatus*.

X.- Discusión

X.1.- Composición de tallas

En el presente estudio el intervalo de tallas analizadas osciló de los 67 a 440 mm de LT, con la intención de tener lo mejor representada las tallas y estructura de edad, las muestras provinieron de dos fuentes, una de origen silvestre y otra pequeña parte de cultivo. Donde las tallas de mayor frecuencia (57%) fueron de los 205 a los 285 mm de LT. Para Teacapán, Sinaloa, en estudios de biología reproductiva de *S. annulatus* se ha observado un intervalo de tallas más estrecho proveniente de las capturas comerciales de la pesca artesanal, donde se reportan organismos con tallas que van de los 150 a 400 mm de LT (Valdez-Pineda *et al.*, 2014). Sánchez-Cárdenas *et al.* (2011) reportaron un intervalo de 195 a los 440 mm de LT, mientras que Salas-Singh *et al.* (2022) reportaron un intervalo de 81 a 440 mm LT.

En el presente trabajo se obtuvo un rango de tallas más amplio (67-440 mm LT) en el que se tuvieron que integrar datos de *S. annulatus* de cultivo para tener una mayor representación de los primeros años de edad (cero y uno). Salas-Singh *et al.* (2022) mencionan que esto es debido a que las muestras de origen

silvestre son representativas de la población bajo presión pesquera, principalmente en la estructura de edades y/o tallas que están condicionadas a las formas funcionales de selectividad asumidas para cada flota. Debido a estas características es difícil obtener muestras representativas a través de la estructura de tallas; rutinariamente la selectividad evita la captura de tamaños y especies no objetivo. Sin embargo, cuando se obtiene un recurso por distintas flotas (artesanal e industrial) el rango de tamaño de la muestra aumenta y se reduce el sesgo de selectividad.

Los organismos silvestres capturados por la pesca comercial, estuvieron mayormente representados por organismos juveniles, mientras que para la fase adulta fue disminuyendo la proporción conforme iban aumentando los años. Bolser *et al.* (2018) mencionan que es imperativo muestrear suficiente cada tamaño y clase de edad de peces para construir modelos que reflejen con precisión los patrones de crecimiento biológico, pero también mencionan que esto puede ser complicado, ya que para hacer este tipo de estudios en especies altamente explotadas se vuelve desafiante el encontrar peces “viejos”. La falta de representación de individuos grandes y ancianos podría resultar en una subestimación de la esperanza de vida y la longevidad, lo que hace que las medidas de ordenación pesquera sean menos efectivas (Campana, 2001).

X.2.- Proporción sexual

Al analizar la proporción sexual (H:M) de manera mensual, para el 2014 no se detectaron diferencias significativas con una proporción de 1:1.17, mientras que para 2015 la proporción obtenida fue de 1:0.7 detectándose diferencias significativas. En cambio, al analizar ambos años en conjunto la proporción fue de 1:0.8 encontrándose diferencias significativas. Para el estudio de Valdez-Pineda *et al.* (2014) en las costas de Teacapán se reportó una proporción sexual de 0.98:1 sin obtener diferencias significativas, lo mismo sucede para la costa de Mazatlán, donde se reportó una proporción sexual 1:1.25 sin obtener diferencias significativas (Sánchez-Cárdenas *et al.*, 2011). Para este estudio el año 2015 fue

el que tuvo una mayor representación, tanto de organismos como meses muestreados, en este año se pudo observar que en los meses de abril, julio, agosto y diciembre hubo diferencias significativas en la proporción H:M. Un factor importante a tomar en cuenta en la proporción por sexos es la época reproductiva, ya que en los meses de época reproductiva se encontró un mayor número de machos, mientras que para el resto de los meses se presentó un mayor número de hembras. Lo mismo sucede en el estudio de Sánchez-Cárdenas *et al.* (2007) reportando que la proporción sexual mostró diferencias significativas en el mes de junio (1:2.1) el cual coincide con la época reproductiva reportada (Sánchez-Cárdenas *et al.*, 2011). Estas diferencias en la proporción sexual con respecto a los meses también se han reportado en otras especies de la misma familia, como es el caso de *S. testudineus* que reporta una proporción sexual de 1:2 en el inicio del desove (Rocha *et al.* 2002) y de *S. greeleyi* donde se reporta un mayor número de hembras durante la mayor parte del año, igualándose la proporción solo en los meses de enero, febrero y marzo que corresponde al final del periodo reproductivo (Schultz *et al.* 2002).

X.3.- Relación del diámetro vertebral y longitud total

Se encontró una relación lineal positiva entre el diámetro vertebral y la longitud total de *S. annulatus*, obteniendo una alta correlación ($R^2 = 0.87$). Officer *et al.* (1997) menciona que las vértebras son estructuras adecuadas para la estimación de la edad y descripción del crecimiento somático, debido a que su crecimiento es un proceso continuo de la depositación de calcio y no existe evidencia de reabsorción o modificación interna. En el estudio de edad, crecimiento y reproducción de *Sphoeroides maculatus* (Laroche y Davis, 1973) se reporta una correlación lineal entre la longitud total y la longitud vertebral, obteniendo un coeficiente de correlación significativo de 0.98. Lo mismo sucede para el estudio del atún rojo (*Thunnus thynnus*) reportando una relación lineal significativa entre el radio del cono vertebral y la longitud furcal, obteniendo una R^2 de 0.99, en este mismo estudio también se evaluaron las bandas de crecimiento en otolitos encontrando una relación lineal significativa entre la

longitud del otolito y la longitud furcal, obteniendo una R^2 de 0.93 (Lee *et al.* 1983).

X.4.- Periodicidad de la formación de bandas de crecimiento

La periodicidad de la formación de bandas (hialino-opaco) de crecimiento en la vértebra de *S. annulatus* es anual. La banda hialina se presenta en la época de mayor reproducción (Sánchez-Cárdenas *et al.*, 2007; Sánchez-Cárdenas *et al.*, 2011; Castellanos-Rodríguez *et al.*, 1982, Salas-Singh *et al.*, 2022) que es entre abril-mayo, enfocando su energía a las gónadas, por lo cual la vértebra presenta una menor densidad ósea dando paso a su formación, mientras que el mayor porcentaje de banda opaca se registró para los meses de agosto-septiembre, el cual coincide con los niveles más altos de clorofila-a y temperatura superficial del mar, indicando que hay una mayor producción en el sistema, por lo tanto mayor alimento disponible y un metabolismo más acelerado, aumentando la densidad ósea en vértebras dando paso a su formación. Esto mismo ha sido reportado para varias especies ícticas (Granado, 2002; Holden y Raitt ,1975).

Lo mismo sucede con el estudio de Laroche y Davis (1973) en *S. maculatus* el cual reportan la formación de un par de bandas (opaco-hialino) como un ciclo anual, pero ellos hacen mención que en un pequeño porcentaje de vértebras con un solo par de bandas y un amplio incremento marginal, estos ya tenían dos años de edad, a lo que deducen que la formación de bandas en vértebras puede llevar más tiempo ya que es más grande y estructuralmente más compleja que escamas y otolitos.

La estimación de la edad y crecimiento de *S. annulatus* por medio de vértebras ha demostrado ser una herramienta adecuada para este tipo de análisis, mostrando una fuerte relación entre el diámetro vertebral y la longitud total del organismo, aunado a esto la banda hialina se presenta en mayor proporción durante la época reproductiva mientras que la banda opaca se presenta en época de verano, que es cuando se presenta la mayor producción primaria en el medio.

X.5.- Verificación y precisión de las lecturas

En el presente estudio se obtuvo un APE de 4.49%, un CV de 4.0% y un porcentaje de acuerdo de 76.6%. Mientras que la regresión lineal entre lecturas mostró concordancia entre lecturas, mayormente entre la lectura 2 y 3. La lectura 1 mostro una buena correlación, pero fue menor. Campana (2001) menciona que para estudios de edad en tiburones en función de las vértebras reportan un CV mayor al 10%, mientras que para otolitos se reporta un CV de 5%. Haciendo mención de que un CV del 5% sirve como punto de referencia para muchos peces de longevidad moderada y complejidad de lectura. Morison *et al.* (1998) reportan que para este tipo de estudios los valores de APE generalmente son menores al 5%, mientras que valores arriba de este por ciento indican que el material es muy difícil de interpretar.

La lectura uno del par de bandas en vértebras de *S. annulatus* fue la que menos correlación tuvo con las otras 2 lecturas, ya que no se contaba con la suficiente experiencia. Es importante mencionar que para este trabajo se realizaron 3 lecturas para obtener una final, únicamente por el autor ya que es parte del proceso de aprendizaje, siendo que la literatura menciona que mínimo deben de ser dos lectores para que la lectura de estructuras duras (vértebra, otolitos, escamas) pueda ser reproducible (Campana, 2001; Goldman y Cailliet, 2004). También se contó con asesoría de un experto para mejorar las lecturas. Morison *et al.* (1998) menciona que la precisión es altamente influenciada por las especies y la naturaleza de la estructura, aunado a esto sucede que los lectores tienen poca experiencia y es por eso que resulta difícil interpretar el número de bandas. Se reporta otro estudio donde únicamente se han hecho lecturas por un solo lector, pero converge en la misma idea, haciendo mención que el uso de un solo lector limita la capacidad de las estimaciones de la edad (Radtke y Hurley, 1983), dejando claro que lo más adecuado para este tipo de estudios es que la lectura se haga mínimo por dos lectores.

X.6.- Estructura de edades

La estructura de edades en machos estuvo representada por organismos desde los 0 años, hasta los 7 años. Mientras que las hembras mostraron una estructura de edad mayor que va de los 0 a los 8 años de edad. En ambos sexos se obtuvo mayor representación para los primeros años de edad, esto debido a que se tenían 3 fuentes de datos (pesca artesanal, industrial y cultivo) ya para el cuarto año comenzó a disminuir la cantidad de organismos encontrados, así fue con el resto de años subsiguientes, encontrando menos organismos al aumentar el número de años. Encontrando para el año 7 en machos solamente 4 organismos y para el año 8 en hembras 5 organismos. Es importante mencionar que no se han hecho estudios de edad y crecimiento para *S. annulatus*, por el cual se tiene que comparar con otras especies del mismo género, tal es el caso del estudio de edad, crecimiento y reproducción de *Sphoeroides maculatus* realizado en la bahía de Chesapeake, Virginia, Estados Unidos (Laroche y Davis, 1973) donde se encontraron únicamente 5 grupos de edad pero es importante mencionar que este organismos es mucho más pequeño y en dicho estudio no encontraron organismos de mayor longitud, reportando una longitud máxima en una hembra de 274 mm de LT, siendo que para este organismo se reporta una LT máxima de 360 mm (Robins y Ray, 1986) observando una falta de representación de individuos más longevos y grandes. La falta de representación de individuos grandes y viejos podría resultar en una subestimación de la esperanza de vida y la longevidad, lo que hace que las medidas de gestión pesquera sean menos efectivas (Campana 2001). Salas-Singh *et al.* (2022) menciona que es difícil obtener muestras representativas a lo largo de la estructura de tallas, esto debido a la selectividad del arte de pesca, evitando así tallas y especies no deseadas. Pero cuando la muestra proviene de dos diferentes flotas (artesanal e industrial) el rango del tamaño de la muestra aumenta y el sesgo de selectividad se reduce.

X.7.- Crecimiento individual e inferencia multi-modelo

El crecimiento en *S. annulatus* tanto en hembras como en machos se vio mejor representado por el modelo 3 de Schnute, que presenta una curva de crecimiento no asintótica siendo este el que obtuvo un menor valor de AIC. Hubo modelos

como el 1 y el especial 1 que también mostraron buen soporte estadístico a los datos en machos, obteniendo un valor de Δi por debajo de 2. De acuerdo a Burnham y Anderson (2002): los modelos con $\Delta i < 2$ tienen un alto soporte estadístico, mientras que valores de valores de $\Delta i > 2 < 7$ tienen soporte estadístico moderado y valores de $\Delta i > 10$ no tienen soporte estadístico. Para hembras nada más se obtuvo buen soporte estadístico a los datos para el modelo 1, mientras que el especial 1 (similar al modelo de Von Bertalanffy) obtuvo un Δi mayor a 2. Esto nos indica que no siempre es lo mejor trabajar con el modelo de Von Bertalanffy. Estas diferencias son debido a la naturaleza de los datos, ya que para machos únicamente se encontraron organismos de 7 años y una LT de 390 mm, mientras que las hembras reportaron hasta 8 años y una LT de 440 mm. Ricker (1975) plantea que el crecimiento de los peces varía en las distintas etapas de su vida y debido a la discontinuidad en el desarrollo, madurez, cambios en el comportamiento o cambios en el hábitat, lo cual podría reflejarse en que para dos stocks de la misma especie deban evaluarse con diferentes modelos de crecimiento.

El modelo promedio para machos no presentó gran diferencia con respecto al modelo 3 (< 1mm) pero si una mayor diferencia con respecto al especial 1 (von Bertalanffy) mostrando una diferencia de hasta 12 mm en los organismos de mayor edad, mientras que para hembras no hubo gran diferencia del modelo promedio con respecto al modelo 3 ya que mostró buen soporte estadístico, mientras que el especial 1 no se hizo la comparación debido al poco soporte que presentaba con respecto a los datos. Burnham y Anderson (2002) mencionan que el uso simultáneo de varios modelos de crecimiento junto con un enfoque de inferencia de modelos múltiples, basado en la teoría de la información es un enfoque más sólido para estudiar el crecimiento absoluto y lidiar con la incertidumbre de la selección del modelo. Akaike (1983) menciona que con la inferencia multimodelo, la variable de respuesta se promedia según el modelo en función de los pesos de Akaike, que pueden interpretarse como una distribución de probabilidad posterior sobre el conjunto de modelos candidatos.

Los parámetros de crecimiento de *S. annulatus* no habían sido evaluados, hasta ahora. A modo de poder hacer la comparación con otros estudios de otras especies se obtuvieron los valores de L_{∞} y t_0 obteniendo para el modelo especial 1 (igual al modelo de von Bertalanffy) una $k = 0.27$, $t_0 = -1.31$ y una $L_{\infty} = 378.33$ mm para machos, para hembras una $k = 0.15$, $t_0 = -1.96$ y una $L_{\infty} = 493.07$ mm y para el total de la muestra una $k = 0.19$, $t_0 = -1.65$ y una $L_{\infty} = 442.57$ mm. Trabajos que han evaluado el crecimiento en especies del mismo género *Sphoeroides* utilizando métodos directos como lo es el conteo de par de bandas en vértebras son Laroche y Davis (1973), evaluando el crecimiento de *S. maculatus*, modelando únicamente el modelo de von Bertalanffy, obteniendo valores de una $k = 0.62$, $t_0 = -0.16$ y una $L_{\infty} = 245$ mm para machos, mientras que para hembras una $k = 0.60$, $t_0 = -0.06$ y una $L_{\infty} = 282$ mm, mostrando una subestimación en sus datos ya que no llegaron a integrar en su modelo organismos más longevos o con una LT máxima, ya que para esta especie su LT máxima reportada es de 360 mm (Robins y Ray, 1986). Otras especies de la familia Tetraodontidae también han sido evaluados utilizando métodos indirectos como lo es la frecuencia de tallas, Bonilla *et al.* (2012) reportan para *S. testudineus* una $k = 0.77$, $t_0 = -0.16$ y una $L_{\infty} = 295$ mm. Aydin (2011) reporta el crecimiento de *Lagocephalus sceleratus* (familia Tetraodontidae) con el modelo de Von Bertalanffy obteniendo una $k = 0.09$, $t_0 = -1.43$ y una $L_{\infty} = 1261$ mm. En dichos estudios únicamente se trabajó con el modelo de von Bertalanffy y como se puede observar en lo obtenido en el presente estudio, no siempre suele ser el mejor modelo a los datos obtenidos, por lo cual resulta mejor trabajar con distintos modelos. Flinn y Midway (2021) evaluaron las tendencias en el modelado de crecimiento en ciencias pesqueras encontrando que el modelo de Von Bertalanffy es el más utilizado en los últimos años, por lo que mencionan en sus resultados que el modelo de von Bertalanffy funciona bastante bien cuando se prueba contra otros modelos candidatos y parece un buen modelo general para usar, argumentando que los parámetros de dicho modelo deben informarse junto con los parámetros del modelo con mejor ajuste, ya que la larga historia del uso del modelo de von Bertalanffy ofrece la capacidad de comparar entre estudios.

XI. Conclusiones

- El intervalo de tallas de organismos silvestres de *S. annulatus* estuvo representado por organismos de 71 a 440 mm de LT.
- La proporción Hembra:Macho para el total de la muestra fue de 1:0.8 mostrando diferencias significativas.
- La relación del diámetro vertebral con respecto a la longitud total de *S. annulatus* fue lineal evidenciando una alta correlación entre ambas variables.
- La periodicidad de formación de bandas de crecimiento depositadas en las vértebras de *S. annulatus* es anual.
- La estructura de edades en machos fue de 0 a 7 años y para hembras de 0 a 8 años. El APE encontrado fue de 4.53%, con un CV de 4.03% y un PA de 76.3%.
- El crecimiento individual en machos, hembras y para el total de la muestra de *S. annulatus* se vio mejor representado por el modelo 3 de Schnute.
- Se encontraron diferencias significativas entre el crecimiento de machos y hembras de *S. annulatus*. Mostrando un crecimiento más rápido en machos.

XIII. Bibliografía.

- Aguirre-Villaseñor, H., Osuna-Peralta, Y., Hernández-Covarrubias, V., Paredes-Mellado, R., Salas-Singh, C., y Rafael-Aguilar S. 2018. Pesquería del tamborillo, *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) en el centro sur del estado, Sinaloa. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. 40.
- Akaike, H., 1983. Information measures and model selection. *Int. Stat. Inst.*, 44: 277–291.
- Álvarez-Cadena, J., Cortés-Altamirano, N. R., y Mussot-Pérez, G. A. 1987. Composición y abundancia de las larvas de peces en el sistema lagunar Huizache-Caimanero, Parte II Tapo Botadero. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.* 15: 143-157.
- Álvarez-Rubio, M. 1986. Ecología y estructura de las comunidades de peces en el sistema lagunar Teacapán-Agua Brava, Nayarit, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.* 13: 185-242.
- Amezcuca-Linares, F. 1996. Peces demersales de la plataforma continental del Pacífico central de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. 155.
- Arizmendi-Rodríguez, D.I., Abitia-Cárdenas, L.A., Galván-Magaña, F. y Trejo-Escamilla, I. 2006. Food habits of sailfish *Istiophorus platypterus* off Mazatlán, Sinaloa, Mexico. *B. Mar. Sci.*, 79(3): 777-791.
- Aydin, M. 2011. Growth, Reproduction and Diet of Pufferfish (*Lagocephalus sceleratus* Gmelin, 1789) from Turkey's Mediterranean Sea Coast. *Turkish J. Fish. Aquat. Sci.*, 11: 569-576.
- Barbarino, A., Taphorn, D. y Winemiller, K.O. 1998. Ecology of coporo *Prochilodus mariae* (Characiformes: Prochilodontidae) and statuts of annual migrations in western Venezuela. *Environ. Biol. Fishes.*, 53: 33-46.
- Beamish, R.J. y Fournier, D.A. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38(8): 982-983.
- Beckman, D.W. y Howlett, D.T. 2013. Otolith annulus formation and growth of two redhorse suckers (Moxostoma: Catostomidae). *Cop.*, 2013(3): 390-395.

- Bolser, D. G., Grüss, A., Lopez, M. A., Reed, E. M., Mascareñas-Osorio, I., y Erisman, B. E. 2018. The influence of sample distribution on growth model output for a highly-exploited marine fish, the Gulf Corvina (*Cynoscion othonopterus*). *PeerJ.*, 6, e5582.
- Bonilla, J.L., Tzeek, J., Badillo, M. y Chiappa, X. 2012. Growth and mortality of *Sphoeroides testudineus* (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) in a tropical coastal lagoon in northwestern Yucatán Peninsula. *Rev. Mex. Biodivers.*, Vol. 83: 1237-1240.
- Brillantes, S., Samosorn, W., Faknoi, S. y Oshima, Y. 2003. Toxicity of puffers landed and marketed in Thailand. *Fish. Sci.*, 69: 1224-1230.
- Burnham, K.P. y Anderson, D.R. 2002. Model selection and multi-model inference: a practical information-theoretic approach. Springer. New York, EE.UU. 488.
- Campana, S.E., Annand, M.C. y Smith, J.N. 1995. Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determination. *Trans. Am. Fish. Soc. Sci.*, 124: 131-138.
- Campana, S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J. Fish. Biol.*, 59: 197-242.
- Castellanos-Rodríguez, S., García-Rendón, J. L., Guevara-Osuna, J. L. y Franco-Aramburo, F. C. 1982. Aportación al conocimiento de la especie *Sphoeroides annulatus* (Jenyns). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, México. 62.
- Castro-Aguirre, J.L., Espinoza-Pérez, H. y Schmitter-Soto, J.J. 1999. Ictiofauna estuarina, lagunar y vicaria de México, México.: Limusa-Noriega. 666.
- Chang, W. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39: 1208–1210. Doi: 10.1139/f82-158.
- Cohen, J. 1988. Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd ed. Hillsdale, N.J: L. Erlbaum Associates. 567.

- Cook, J.G. 1984. Glossary of technical terms. *En* R.M. May (ed.) Exploitation of marine communities. Springer-Verlag. Nueva York. 348.
- Coronado-Molina, C. y Amezcua-Linares, F. 1988. Distribución y abundancia de los peces demersales de la costa de Guerrero en el Pacífico de México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. UNAM, 15: 67-93.
- DeVries, D.R. y Frie, R.V. 1996. Determination of age and growth. p 483-512. *En* B. Murphy y D. Willis (eds.). Fisheries Techniques. American Fisheries Society. 732.
- Díaz-Guevara, R., Ceballos-Vázquez, B.P. y Arellano-Martínez, M. 2005. Biología reproductiva del botete diana *Sphoeroides annulatus* (Pisces: Tetraodontidae) en la bahía de La Paz, B. C. S. México. Resúmenes del X Congreso de Investigadores del Mar de Cortés, A.C. y IV Simposium Internacional sobre el Mar de Cortés. FACIMAR-UAS, Mazatlán, Sinaloa, México. *En* Reproductive aspects of *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1843) (Tetraodontiformes, Tetraodontidae) inhabiting the Mazatlán coast, Sinaloa, México. *Rev. Biol. Mar. Oceanog.*, 42(3): 385-392.
- Everhart, W.H. y Youngs, W.D. 1981. Principles of Fishery Science. Segunda edición. Cornell University Press. 350.
- FAO. 1995. Código de conducta para la pesca responsable. FAO, Roma. 53. (también disponible en línea: <https://www.fao.org/3/v9878s/v9878s.pdf>).
- Fischer, W., F. Frupp, W. Schnsider, C. Sommer, K.E. Carpenter y V.H. Niem. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para fines de la pesca. FAO, Roma. 3: 1629-1637.
- Flinn, S.A. y Midway, S.R. 2021. Trends in Growth Modeling in Fisheries Science. *Fishes*. 6: 1-18.
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N. y R. van der Laan. 2022. Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera, Species, References. (<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>). Electronic version accessed 3/8/ 2022.
- Giovanni NASA Earthdata. 2023. Aqua MODIS Global Mapped 11µm Daytime Sea Surface Temperature (SST) Data, version R2019.0 (Consultado 25 de septiembre de 2023, <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).

- Giovanni NASA Earthdata. 2023. Aqua MODIS Global Mapped Chlorophyll (CHL) Data, version R2022.0 (Consultado 25 de septiembre de 2023, <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).
- Goldman, K., y Cailliet, G. 2004. Age determination and validation in chondrichthyan fishes. p 399-439. *En* Carrier, J. C., Musick, J. A., y Heithaus, M. R. (eds.). *Biology of sharks and their relatives* CRC press. 603.
- Gómez-Márquez, J.L., Peña-Mendoza, B., Guzmán-Santiago, J.L., Salgado-Ugarte, I.H., Cervantes-Sandoval, A., Bautista-Reyes, A. y Alejo-Plata, M.C. 2020. Determinación de la edad y crecimiento de organismos acuáticos con énfasis en peces. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. 192.
- Gompertz, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Phil. Trans.*, 115: 513-583. Doi: 10.1098/rstl.1825.0026.
- González, L.W. 1977. Aspectos técnicos de preparación de otolitos para estudios de edad de algunas especies del género *Cynoscion* (Pisces: Sciaenidae). *Lagena*: 39: 43-48.
- González-Becerril, A., Espino-Barr, E., Ruiz-Luna, A., y Cruz-Romero, M. 2006. La pesca ribereña: descripción, problemática y alternativas para su manejo. p 611-622. *En* M.C. Jiménez-Quiroz y E. Espino-Bar (eds.). *Los recursos pesqueros y acuícolas de Jalisco, Colima y Michoacán*. INAPESCA, SAGARPA, México, 622.
- Granado, L.C. 2002. *Ecología de peces*. Universidad de Sevilla. Secretariado de Publicaciones, España. 353.
- Gulland, J.A. 1971. *Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces*. Editorial Acribia, Zaragoza. 193.
- Haddon, M. 2001. *Modelling and quantitative methods in fisheries*. Chapman and Hall. Boca Raton, Florida, EEUU. 406.
- Helfman, G.S., Collette, B.B. y Facey, D.E. 1997. *The diversity of fishes*. Blackwell Science, Oxford. 528.

- Hilborn, R. y Walters, C.J. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall. Nueva York. 570.
- Holden, M.J. y Raiit, D.F.S. 1975. Manual de ciencia pesquera. Parte 2. Metodos para investigar los recursos y su aplicación. FAO Documento tecnico de pesca No. 115 Roma, Italia. 255.
- Katsanevakis, S. 2006. Modelling fish growth: Model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fish. Res.*, 81(2-3): 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 Fish.*, 9(2): 178-187.
- Kimura, D.K. 1980. Likelihood methods for the Von Bertalanffy growth curve. *Fish. Bull.*, 77: 765-776.
- King, M. 2007. Fisheries Biology. Assessment and Management. Blackwell Science. 382.
- Laroche, J. L. y Davis, J. 1973. Age, growth, and reproduction of the northern puffer, *Sphoeroides maculatus*. *Fish. Bull.*, 71(4): 955–963.
- Lee, D.W., Prince, E.D. y Crow, M.E. 1983. Interpretation of growth bands on vertebrae and otoliths of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). p 61-69. En E. E. Prince y L. M. Pulos (Eds.). Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes and Sharks. Miami, Florida. 228.
- Mariscal-Romero, J., Aguilar-Palomino, B., Lucano-Ramírez, G., Raymundo-Huizar, A.R., Rodríguez-Ibarra, L.E., Ruiz-Ramírez S. y González-Sansón, G. 1998. Asociaciones de peces demersales de la plataforma continental de Colima y Jalisco, México (Primavera 1995). *Cienc. Mar.*, 24: 35-54.
- Morales-Nin, B. 1991. Determinación de crecimiento de peces óseos en base a la microestructura de los otolitos. FAO Doc Tec. Pesca. 58.
- Morison, A.K., Robertson, S.G. y Smith, D.G. 1998. An integrated system for production fish aging: image analysis and quality assurance. *N. Am. J. Fish. Manag.*, 18:587-598.

- Nelson, J.S. 1994. Fishes of the world. 3th ed. John Wiley and Sons, New York. 600.
- Nuñez-Vázquez, E.J., Yotsu-Yamashita, M., Sierra-Beltrán, A.P., Yasumoto, T. y Ochoa, J.L. 2000. Toxicities and distribution of tetrodotoxin in the tissues of puffer fish found in the coast of the Baja California Peninsula, Mexico. *Toxicon*, 38: 729-734.
- Ocampo-Peraza, D. 1983. El botete (*Sphoeroides annulatus*), características y origen como alimento humano. *Cienc. Mar.*, 5: 9-11.
- Officer, R.A., Day, R.W., Clement, J.G. y Brown, L.P. 1997. Captive gummy sharks, *Mustelus antarcticus*, form hypermineralized bands in their vertebrae during Winter. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 54: 2647-2683.
- Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Mar. Sci.*, 39(3): 175-192.
- Polacheck, T., Hilborn, R. y Punt, A. E. 1993. Fitting surplus production models: comparing methods and measuring uncertainty. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50(12): 2597-2607.
- Radtke, R.L. y Hurley, P.C. 1983. Age estimation and growth of broadbill swordfish, *Xiphias gladius*, from the Northwest Atlantic. p 145-150. *En* E. Prince y L. M. Pulos (eds.), Proceedings of the International Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes and Sharks. U.S. Miami, Florida. 228.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *J. Fish. Res. Board Can.*, 191: 1-382.
- Robins, C. R., y Ray, G. C. 1986. A field guide to Atlantic coast fishes: North America. Peterson Field Guide Series, Houghton Mifflin, Boston, 354.
- Rocha, C., Favaro, L.F. y Spach, H.L. 2002. Biología reproductiva de *Sphoeroides testudineus* (Linneus) (Pisces, Osteichthyes, Tetraodontidae) da gamboa do Banguaçu, Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil. *Revta. Bras. Zool.* 19(1): 57-63.
- Rodríguez-Domínguez, G., Castillo-Vargasmachuca, S.G., Ramírez-Pérez, J.S., Pérez-González, R. y Aragón-Noriega, E.A. 2014. Modelos múltiples para

- determinar el crecimiento de organismos juveniles de jaiba azul *Callinectes arcuatus* en cautiverio. *Cienc. Pesq.*, 22(1): 29-35.
- Rosales-Casián, J.A. 2004. Composición, importancia y movimiento de los peces de bahía de San Quintín, Baja California, México. *Cienc. Mar.*, 30(1): 119-127.
- Salas-Singh, C., Morales-Bojórquez, E., y Aguirre-Villaseñor, H. 2022. Reproductive biology of the bullseye puffer *Sphoeroides annulatus*: Gonadosomatic index and its suitability for estimating length at maturity. *J. Fish. Biol.*, 101(5): 1119-1133.
- Sánchez-Cárdenas, R. 2005. Aspectos reproductivos del botete diana *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Pisces: Tetraodontidae), en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, México. 86.
- Sánchez-Cárdenas, R., Ceballos-Vásquez, B.P., Arellano-Martínez, M., Valdez-Pineda, M.C. y Morán-Angulo, R.E. 2007. Reproductive aspects of *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1843) (Tetraodontiformes, Tetraodontidae) inhabiting the Mazatlán coast, Sinaloa, México. *Rev. Biol. Mar. Oceanog.*, 42(3): 385-392.
- Sánchez-Cárdenas, R., Arellano-Martínez, M., Valdez-Pineda, M.C., Morán-Angulo, R.E. y Ceballos-Vásquez, B.P. 2011. Reproductive cycle and sexual maturity of *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Tetraodontiformes, Tetraodontidae) from the coast of Mazatlán, Sinaloa, México. *J. Appl. Ichthyol.*, 27: 1190-1196.
- Schnute, J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38: 1128-1140.
- Schultz, Y.D., Favaro, L.F. y Spach, H.L. 2002. Aspectos reproductivos de *Sphoeroides greeleyi* (Gilbert), Pisces, Osteichthyes, Tetraodontidae, da gamboa do Baguaçu, Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil. *Revta. Bras. Zool.* 19(1): 65-76.
- SIPESCA. 2023. Sistema de Información de Pesca y Acuicultura (SIPESCA). Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). Fecha de consulta: 7/2/2023.

- Sokal, R. R. y Rohlf, F. J. 1969. Biometry. WH Freeman & Company. San Francisco: 776.
- Thomson, D.A. y McKibbin, N. 1978. Peces del golfo de California. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora, México. 68.
- Thomson, D.A., Findley, L.T. y Kerstitch, A.N. 1979. Reef Fishes of the Sea of Cortez: The Rocky-Shore Fishes of Gulf of California. Wiley Interscience, New York. 302.
- Valdez-Pineda, M.C, Moran-Angulo, R.E., Voltolina, D. y Castillo-Vargasmachuca, S. 2014. Population structure and reproductive aspects of puffer fish *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Osteichthyes: Tetraodontidae), landed in Teacapán, Sinaloa, Mexico. *Lat. Am. J. Aquat.*, 42(1): 121-126.
- Valeiras, X., Macías D., Gómez, M.J., Lema, L., Godoy, D., Ortiz de Urbina, J.M. y de la Serna J.M., 2008. Age and growth of Atlantic little tuna (*Euthynnus alletteratus*) in the western mediterranea sea. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 62 (5): 1638-1648 pp.
- Von Bertalanffy. 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). *Hum. Biol.*, 10 (2): 181-213.
- Yañez-Arancibia, A. 1977. Patrones ecológicos y variación cíclica de la estructura trófica de las comunidades neotónicas en lagunas costeras del Pacífico de México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*, 5: 287-307.
- Weldon, J.P. y Vallarino, P. 1988. Wound on the yellow-bellied sea snake (*Pelamis platurus*) from Panama: evidence of would be predators? *Biotropica* 20: 174-176.
- WORMS. 2023. World Register of Marine Species.[Consultado 16 de octubre de 2023, <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=126241&allchildren=1>].