



# Selección multimodelo en la estimación de los parámetros de crecimiento de la sardina crinuda azul *Opisthonema bulleri* en el sur del Golfo de California

Multi-model selection in growth parameters estimation of blue thread herring *Opisthonema bulleri* in the southern Gulf of California

Jorge Payan-Alejo<sup>1</sup>, Mercedes Laura Jacob-Cervantes<sup>2\*</sup> y Guillermo Rodríguez-Domínguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Paseo Claussen S/N, Mazatlán, Sinaloa, 82000, México.

<sup>2</sup> Centro Regional de Investigación Pesquera, Instituto Nacional de Pesca, Calzada Sábalo-Cerritos S/N. Contiguo Estero El Yugo, C.P. 82112, Mazatlán, Sinaloa, México.

## RESUMEN

La sardina crinuda azul (*Opisthonema bulleri*) es parte de los desembarques comerciales de peces pelágicos menores del sur del Golfo de California; la pesquería está certificada como sostenible por Marine Stewardship Council. Los parámetros de crecimiento de esta especie son de gran interés en la evaluación y manejo de la pesquería del complejo *Opisthonema*. En este estudio, se generó un conjunto de datos de edad a la talla de 367 lecturas de otolitos de los años 2005 y 2015 para completar los meses del año calendario con información continua e inferir la periodicidad de formación de la marca de crecimiento. Se utilizó un enfoque de selección multimodelo en cinco submodelos especiales del modelo de Schnute generalizado, incluido uno equivalente al modelo de von Bertalanffy. El tipo de borde mensual de los otolitos sugiere una marca de crecimiento anual. Se identificaron seis grupos de edad (0-5 años), con una APE y CV de 4,5 y 2,9 % respectivamente. El análisis de edad a la talla del conjunto de datos con la selección multimodelo es una garantía de que el caso uno de Schnute es el mejor para describir y estimar los parámetros de crecimiento de *O. bulleri* del sur del Golfo de California.

**Palabras clave:** *O. bulleri*, edad, crecimiento, selección multimodelo.

## ABSTRACT

The blue thread herring (*Opisthonema bulleri*) is part of the landing commercials of small pelagic fishes from the southern Gulf of California; the fishery is certified as sustainable by the Marine Stewardship Council. The growth parameters of this specie are of great interest in the assessment and management of *Opisthonema* complex fishery. In this study, a data set age-at-size was generated from 367 otolith reads from the years 2005 and 2015 to complete the monthly continuity of one year and infer the formation periodicity of the growth mark. A multi-model approach on five special submodels of the generalized Schnute model, including one equivalent to the von Bertalanffy model, was used. The monthly edge type of otoliths suggests an annual growth mark. Six age groups were identified (0 - 5 years), with an APE and CV of 4.5 and

2.9 %, respectively. The age-at-length analysis of the data set with multi-model selection is a guarantee that Schnute's case is the best to describe and estimate the growth parameters of *O. bulleri* from the southern Gulf of California.

**Key words:** *O. bulleri*, age, growth, multi-model selection.

## INTRODUCCIÓN

En el litoral de Sinaloa, Nayarit y Jalisco, el grupo de pelágicos menores de mayor importancia comercial está constituido por tres especies de peces del género *Opisthonema* (*Opisthonema libertate*, *O. medirastre* y *O. bulleri*) que en conjunto se denominan sardina crinuda (Jacob-Cervantes, 2010). La sardina crinuda *Opisthonema* spp. es actualmente el segundo recurso pesquero más importante en el Golfo de California y se encuentra certificada como sustentable por la Marine Stewardship Council, pero la evaluación de cada una de las especies del conjunto sardina crinuda debe ser continua y sistemática, lo que incluye modelar el crecimiento para cada especie.

El crecimiento de los organismos se puede estimar mediante métodos indirectos y directos. Los métodos indirectos son una forma más rápida de estimar el crecimiento a través del análisis de frecuencias de tallas, mientras que en los métodos directos se requiere de realizar lecturas de edad en alguna estructura ósea, por lo que se presenta el análisis del crecimiento de *O. bulleri* a través de un método directo, el cual se realiza por primera vez en esta especie. En los peces la estructura ósea más utilizada para la determinación de la edad son los otolitos y en las especies *O. libertate* y *O. medirastre* ya se han usado para la asignación de la edad (Carmona y Alexandres, 1994; Ruiz-Domínguez y Quiñones-Velázquez, 2018; Payán-Alejo *et al.*, 2020a; 2020b), aunque en otros peces también se usan escamas, vertebras y espinas (Campana, 2001).

El modelo de von Bertalanffy ha sido históricamente utilizado para describir el crecimiento en peces, a pesar de que existen en la literatura otros modelos alternativos: Gompertz (1825), Logístico (Ricker, 1975), Schnute (Schnute, 1981). Con el nuevo paradigma de Selección e Inferencia Multimodelo (Burnham y Anderson, 2002; Katsanevakis, 2006; Beninger

\*Autor para correspondencia: Mercedes Laura Jacob-Cervantes  
Correo-e: mechejacob@yahoo.com

Recibido: 4 de septiembre de 2022

Aceptado: 18 de junio de 2023

Publicado: 1 de septiembre de 2023

*et al.*, 2012) no es necesario elegir a priori un modelo para describir el crecimiento, sino que se pueden proponer una serie de modelos candidatos y elegir el que mejor describa el crecimiento basado en Criterio de Información de Akaike (AIC). Este criterio selecciona el mejor modelo que se ajusta a los datos observados con base a la verosimilitud del modelo y el concepto de parsimonia, eligiendo el modelo con el mejor ajuste, pero también el más sencillo.

Entre los modelos alternativos para describir el crecimiento, el de Schnute es considerado un modelo versátil y generalizado que incluye como casos especiales, los modelos históricos (Schnute, 1981). De los cuatro casos especiales de este modelo, pueden generarse al menos ocho curvas de crecimiento diferentes. Por lo que el uso del modelo generalizado de Schnute para describir el crecimiento aumenta la probabilidad de que el modelo real esté incluido en los modelos candidatos evaluados a través del paradigma de Selección e Inferencia Multimodelo

En este trabajo se aborda la modelación del crecimiento de *O. bulleri* en el sur del Golfo de California a través de la lectura de edad en otolitos y un procedimiento de selección multimodelo a partir de los casos del modelo Schnute como modelos candidatos.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

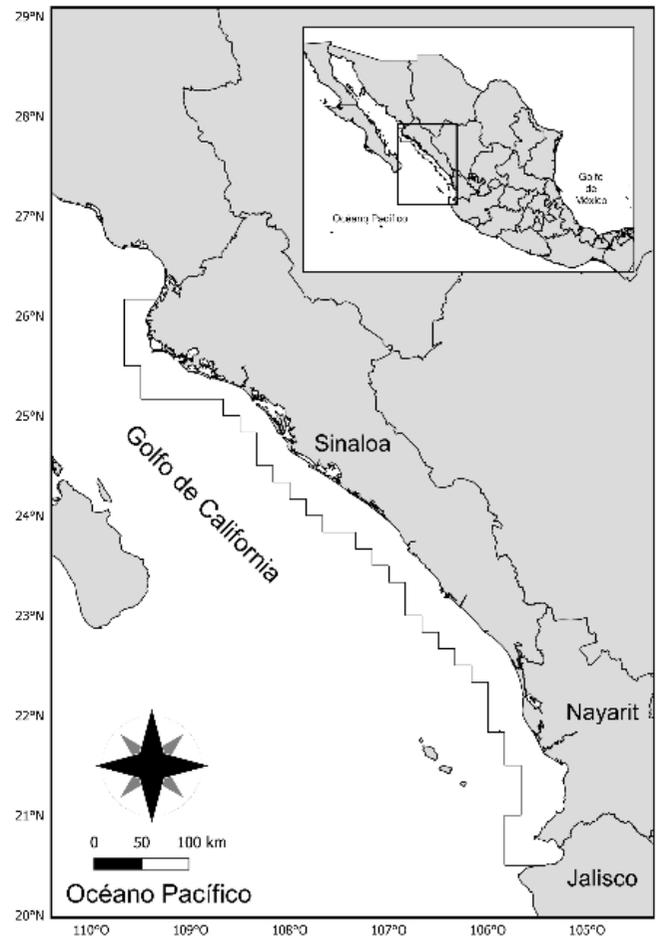
El área de pesca de la flota sardinera -cuyo puerto de descarga es Mazatlán, Sinaloa- comprende desde Punta Ahome, Sinaloa hasta Bahía Banderas, Jalisco. Está delimitada en el polígono incluido entre la Latitud 20 - 27 ° N, la Longitud 105 - 110 ° W y a un máximo de 37 km mar adentro (Figura 1).

La información analizada procede de los muestreos biológicos de las capturas comerciales de la sardina crinuda, realizados por el personal del Programa de Pelágicos Menores del CRIAP Mazatlán, INAPESCA, AGRICULTURA.

Se tomaron muestras al azar de 12 kg de la captura total de un barco y se seleccionaron aleatoriamente diez individuos de cada intervalo de talla de 5 mm, a los que se les midió longitud patrón (mm), peso (gr), sexo, se les extrajeron los otolitos sagitta para la determinación de la edad y el primer arco branquial para la identificación taxonómica de acuerdo a los criterios de Berry y Barret (1963). Se eligieron los datos de los años 2005 en los meses de marzo a septiembre (n = 215) y en 2015 en los meses de enero a septiembre y noviembre a diciembre (n = 152), porque al agruparse se completa el ciclo anual de información continua (excepto octubre) con un mayor tamaño de muestra.

Se evaluó la validez de la estructura para determinar la edad por medio de la relación radio del otolito (RO) versus longitud patrón.

Los otolitos se limpiaron y se sumergieron en agua purificada durante cinco minutos y en seguida se tomaron fotos digitales con la ayuda de un microscopio estereoscopio Carl Zeiss (Stemi 508) equipado con una cámara AxioCam ERc 5s. Entonces se contó el número de bandas opacas y hialinas de cada otolito (Beckman y Howlett, 2013) por tres lectores de manera independiente.



**Figura 1.** Área de pesca de la flota sardinera de Mazatlán.  
**Figure 1.** Fishing area of thread herring from the Mazatlan Fleet.

Para estimar la precisión de las lecturas entre lectores se utilizó el error promedio porcentual (APE) (Beamish y Fournier, 1981) y el coeficiente de variación (CV) (Chang, 1982).

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

$$CV = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sqrt{\frac{\frac{1}{R} \sum_{i=1}^R (X_{ij} - X_j)^2}{R-1}}{X_j} * 100$$

Dónde: N es el tamaño de muestra, R número de lecturas por estructura, X<sub>ij</sub> es la i-ésima lectura de la j-ésima estructura, X<sub>j</sub> es el promedio del número de marcas de crecimiento para la j-ésima estructura.

Cada par de bandas opacas y hialinas se consideró en un año de edad.

Para describir el crecimiento de *O. bulleri* con base a datos de edad – longitud patrón se evaluaron cinco casos del modelo de Schnute como se describen a continuación:

Schnute caso 1, a ≠ 0 and b ≠ 0  $Y(t) = \left[ Y_1^b + (Y_2^b - Y_1^b) \frac{1 - e^{-\alpha(t-\tau_1)}}{1 - e^{-\alpha(\tau_2-\tau_1)}} \right]^{\frac{1}{b}}$

Schnute caso 2,  $a \neq 0$  and  $b = 0$   $Y(t) = Y_1 \exp \left[ \text{Log} \left( \frac{Y_2}{Y_1} \right) \frac{1 - e^{-\alpha(t-\tau_1)}}{1 - e^{-\alpha(\tau_2-\tau_1)}} \right]$

Schnute caso 3,  $a = 0$  and  $b \neq 0$   $Y(t) = \left[ Y_1^b + (Y_2^b - Y_1^b) \frac{t - \tau_1}{\tau_2 - \tau_1} \right]^{\frac{1}{b}}$

Schnute caso 4,  $a = 0$  and  $b = 0$   $Y(t) = Y_1 \exp \left[ \text{Log} \left( \frac{Y_2}{Y_1} \right) \frac{t - \tau_1}{\tau_2 - \tau_1} \right]$

Schnute caso 5,  $a > 0$  and  $b = 1$   $Y(t) = \left[ Y_1 + (Y_2 - Y_1) \frac{1 - e^{-\alpha(t-\tau_1)}}{1 - e^{-\alpha(\tau_2-\tau_1)}} \right]$

Donde:  $Y(t)$  es longitud patrón a la edad  $t$ ,  $Y_1$  y  $Y_2$  son la mínima y máxima longitud patrón,  $\alpha$  es un parámetro de crecimiento con unidades de años,  $b$  está relacionado con el punto de inflexión de una curva de crecimiento en forma de "S" y  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  son la edad mínima y máxima del conjunto de datos. Los valores de  $a$ ,  $b$ ,  $Y_1$ ,  $Y_2$  son los parámetros que fueron estimados durante el ajuste a los datos maximizando la función objetivo del logaritmo de la verosimilitud (Hilborn y Mangel, 1997) con el algoritmo de búsqueda de Newton (Neter et al., 1996).

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

Donde: LL es el logaritmo de verosimilitud,  $n$  es el tamaño de muestra y  $\sigma$  es la desviación estándar, la cual se estimó con las siguientes funciones, considerando error aditivo:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Yt_i - \hat{Y}t_i)^2}{n}}$$

Donde:  $Yt_i$  es la longitud patrón observada,  $\hat{Y}t_i$  es la longitud calculada y  $n$  el tamaño de muestra.

Una vez seleccionado el mejor modelo, se estimaron los intervalos de confianza de los parámetros por el procedimiento de perfiles de verosimilitud (Hilborn y Mangle, 1997).

Con el fin de evaluar los modelos candidatos y seleccionar el mejor, se adoptó la selección multimodelo (SMM), en donde varios modelos compiten y simultáneamente son confrontados con los datos (Johnson y Omland, 2004; Hobbs y Hilborn, 2006). Para tal efecto se utilizó el índice de información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc, por sus siglas en inglés) que incorpora información sobre el ajuste, la complejidad del modelo y el tamaño de la muestra (Akaike, 1981; Burnham y Anderson, 2002, Johnson y Omland, 2004).

$$AIC = AIC + \frac{2K(K + 1)}{n - K - 1}$$

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

Donde:  $n$  es el número total de observaciones,  $k$  es el número total de parámetros estimados y LL es la máxima logverosimilitud.

Para cada modelo la plausibilidad fue estimada con el peso de Akaike (PAIC) lo que indica la importancia de cada modelo en la descripción de la información observada.

$$PAIC = \frac{\exp(-0.5\Delta_i)}{\sum_{k=1}^n \exp(-0.5\Delta_i)}$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis entre el radio del otolito (RO) y la longitud patrón (LP) de *O. bulleri* muestra una relación lineal (Figura 2), con un coeficiente de correlación positiva y significancia ( $r = 0.823$ ,  $t = 21.4$   $p < 0.001$ ) que indica que el radio del otolito incrementa con el tamaño del pez; el coeficiente de determinación indica que el 67.8 % de la variación de la talla se explica por el tamaño del otolito, mientras que el 32.3 % es explicado por otro factor independiente. El crecimiento proporcional del otolito con respecto a la talla del pez es importante cuando se requiere hacer un retro-cálculo de tallas pretéritas y entre mayor precisión se tenga es mejor, especialmente porque en especies longevas se presenta reabsorción de anillos (Fenómeno de Lee), sin embargo, en este estudio no se realizó el retro-cálculo, debido a que se tuvieron bien representadas los organismos de las primeras edades. Los otolitos solo fueron examinados para observar las bandas de crecimiento hialinas y opacas, las cuales se pueden presentar independiente de la proporcionalidad del otolito con la talla del pez. Además, los otolitos ya se han usado para la determinación de edad en especies de *O. libertate* y *O. medirastre* (Carmona y Alexandres, 1994; Ruiz-Domínguez y Quiñones-Velázquez, 2018; Payán-Alejo et al., 2020a; 2020b), por lo que la determinación de la edad a través de otolitos en *O. bulleri* es fiable.

La estacionalidad en las capturas y discontinuidad en la aparición de *O. bulleri* durante los muestreos han dificultado la determinación de la edad, pero se logró completar una continuidad de once meses (excepto de octubre) con muestras de otolitos, para registrar mensualmente el tipo de borde del otolito (borde opaco y hialino), al agrupar los meses de los años 2005 y 2015. La mayor proporción mensual de otolitos con bordes opacos (banda de crecimiento rápido) se presentó de enero a abril y la menor proporción de junio a septiembre, mientras que los porcentajes de bordes hialinos

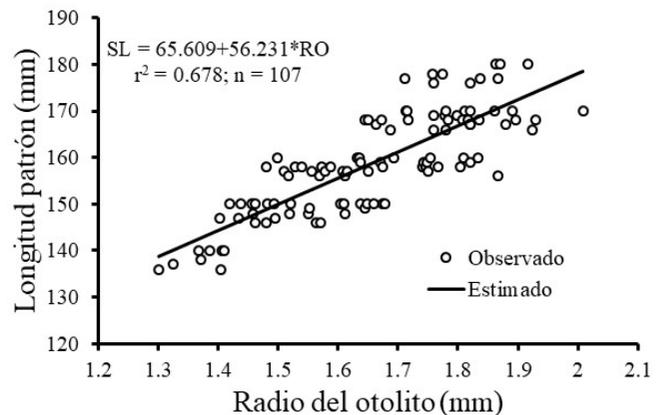
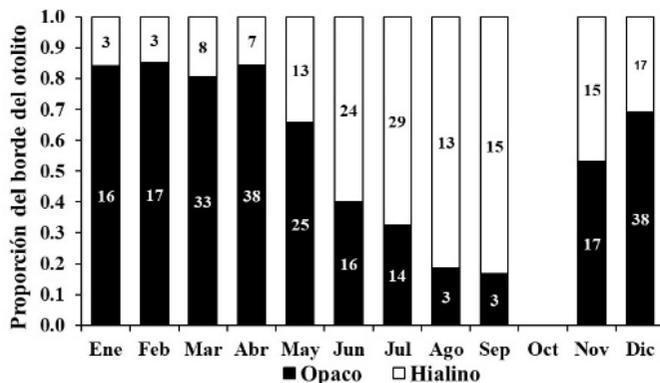


Figura 2. Relación radio del otolito (RO) versus longitud patrón de *O. bulleri*.  
 Figure 2. Relationship of otolith radius (OR) versus standard length (SL) of *O. bulleri*.

(banda de crecimiento lento) presentaron una tendencia inversa. Esto sugiere que cada año se forma una banda opaca y una hialina, esta última en los meses de verano, pero puede variar interanualmente, dado que la proporción mensual del tipo de borde analizada en este trabajo representa un promedio de dos años (2005 y 2015). La periodicidad de la formación de la banda hialina de crecimiento anual concuerda con las descritas en las especies *O. libertate* y *O. medirastre* (Ruiz-Domínguez y Quiñónez-Velázquez, 2018; Payán-Alejo *et al.*, 2020a, b), lo que soporta los resultados obtenidos. La mayor proporción de bordes hialinos (banda de crecimiento lento) durante los meses de verano (Figura 3), se asocia a la actividad reproductiva de las especies del complejo *Opisthonema* que se presenta de mayo a agosto (Jacob-Cervantes, 2010), dado que los organismos destinan mayor energía a la maduración de las gónadas y disminuye el aporte energético destinado al crecimiento corporal.

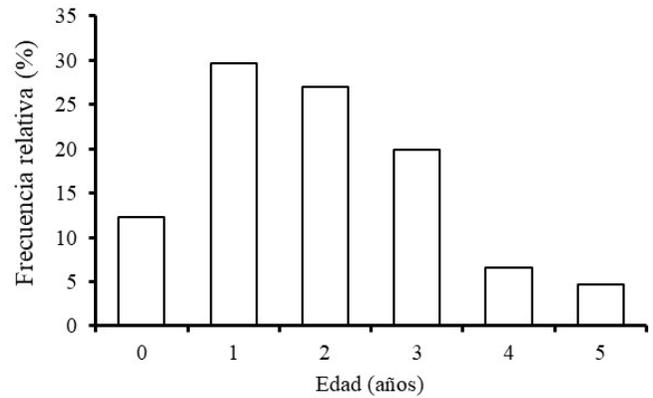


**Figura 3.** Proporción mensual del tipo de borde en los otolitos de *O. bulleri* del sur del golfo de California.

**Figure 3.** Monthly proportion of edge otoliths type in *O. bulleri* from the southern Gulf of California.

El conteo de bandas de crecimiento permitió conocer la estructura de edad de las capturas e identificar seis grupos de edad para *O. bulleri* (Figura 4). El APE y el CV de las lecturas fue 4.5 y 2.9 % respectivamente. Aunque no hay puntos de referencia para la precisión de lecturas de edad en los peces, los valores de ambos índices utilizados aquí, fueron menores a la mediana de los estudios de edad de 117 peces (APE = 5.5 %, CV = 7.6 %) y que fueron recomendados como límite máximo para organismos de vida corta (Campana, 2001). En estudios de edad en *O. libertate* y *O. medirastre* se obtuvieron valores de APE entre 2.7 y 4.8 % y un CV entre 2.4 y 6.1 % (Ruiz-Domínguez y Quiñónez-Velázquez, 2018; Payán-Alejo *et al.*, 2020a; 2020b). Los valores de APE y CV de este estudio indican entonces una lectura de edad aceptable de *O. bulleri*, al encontrarse entre los límites de APE y CV reportados para las especies *O. libertate* y *O. medirastre*.

Este es el primer trabajo sobre edad y crecimiento de *O. bulleri*, el principal inconveniente para la estimación de los parámetros de crecimiento en esta especie es la poca representatividad de organismos en el ciclo anual durante los muestreos. Vega-Corrales (2010) intentó estimar los pa-



**Figura 4.** Frecuencia relativa de marcas de crecimiento de *O. bulleri* del sur del golfo de California.

**Figure 4.** Growth-marks relative frequency of *O. bulleri* from the southern Gulf of California.

rámetros de crecimiento de *O. bulleri* mediante el análisis de frecuencia de tallas, pero al encontrar poca representatividad de datos, sugirió que los parámetros de crecimiento eran poco confiables, debido a que existía alta probabilidad de obtener un sesgo importante en los valores estimados y optó por evitar inferir los parámetros de crecimiento de *O. bulleri*.

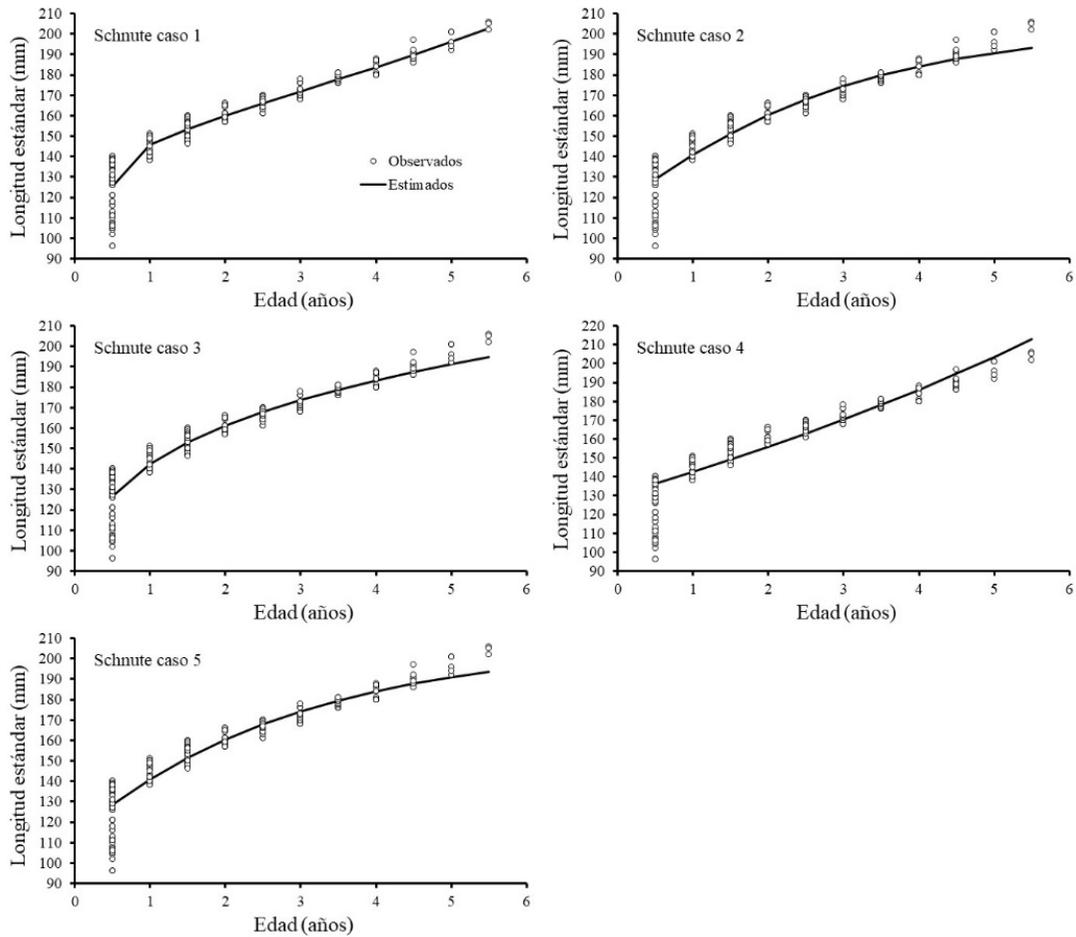
Al comparar los diferentes casos del modelo Schnute en la descripción del crecimiento de *O. bulleri*, el modelo Schnute caso 1 resultó el mejor, dado que obtuvo el menor AIC (2294.9) y con el soporte del PAIC = 100.0 % (Tabla 1), indica que este es un claro ganador (> 90 %) que puede describir adecuadamente el crecimiento de *O. bulleri*.

El principio de AIC en la selección multimodelo penaliza el número de parámetros de cada modelo para discrimina entre modelos simples y complejos. En este caso el modelo de Schnute caso 1 tiene un mayor número de parámetros, pero aun así fue el mejor modelo, ya que cuando se analizaron los modelos ajustados a los datos, se observó que el modelo Schnute caso 1 pasa por la parte central de los datos observados, a diferencia del resto de los modelos (Schnute caso 2, 3 y 5) que subestiman la talla para los datos observados en las edades avanzadas (Figura 5). En la tabla 1 se observa el orden jerárquico de los modelos ( $\Delta AIC$ ), en este análisis, el Schnute caso 5, que es el equivalente al modelo de crecimiento de von Bertalanffy, fue colocado en tercer lugar sin soporte en los datos, por lo que el uso a priori de este modelo tradicional para describir el crecimiento en *O.*

**Tabla 1.** Parámetros de crecimiento, AICc,  $\Delta AIC$  y PAIC de los casos del modelo Schnute ajustados a los datos edad-talla de *O. bulleri*.

**Table 1.** AICc,  $\Delta AIC$  and PAIC growth parameters of Schnute model cases fitted to data set age-at-size of *O. bulleri*.

Caso	$Y_1$	$Y_2$	a	b	AICc	$\Delta AIC$	PAIC
1	125.53	202.65	-1.21	18.7	2294.9*	0	100
2	128.85	193.05	0.43	0	2383	88.17	0
3	126.61	194.6	0	5.2	2338.2	43.32	0
4	136.31	212.96	0	0	2543.9	249.09	0
5	128.47	193.55	0.34	1	2373.9	79.01	0
* Mejor modelo	$T_1 = 0.5$		$T_2 = 5.5$				



**Figura 5.** Curvas de crecimiento de *O. bulleri* del sur del golfo de California.  
**Figure 5.** Growth curves of *O. bulleri* from the southern Gulf of California.

**Tabla 2.** Intervalos de confianza de los parámetros al 95 %.  
**Table 2.** Parameters confidence intervals at 95 %.

Valor del Parámetro	Caso 1		Caso 2		Caso 3		Caso 4		Caso 5	
	inferior	superior								
$y_1$	123.905	127.148	128.834	128.865	126.589	126.629	136.297	136.329	128.456	128.488
$y_2$	201.781	203.512	193.029	193.067	194.588	194.617	212.919	212.991	193.537	193.573
$a$	-1.241	-1.184	0.434	0.436	0	0	0	0	0.344	0.346
$b$	18.316	19.088	0	0	5.193	5.200	0	0	1	1

*bulleri* sería un error porque se podría perder información, por ejemplo, la diferencia entre la talla estimada entre el mejor modelo y el Schnute caso 5 en las edades de un año es 4.6 mm, mientras que en edades de cinco años las diferencias se incrementa hasta 9 mm.

En el análisis de los parámetros de crecimiento del mejor modelo Schnute caso 1 (Tabla 1), se observa que la sardina *O. bulleri* presenta un crecimiento acelerado en el primer año de vida, dado que alcanza una longitud patrón de 145.63 mm, que corresponde al 71.86 % del valor de talla máxima ( $y_2$ ); sin embargo, *O. bulleri* es la especie de los tres componentes del complejo *Opisthonema* del sur del Golfo de California que presenta el crecimiento más lento comparado con *O. libertate*

y *O. medirastre* que alcanzan el 73.79 y 76.8 % respectivamente, al primer año de vida en relación a la talla máxima ( $y_2$ ) (Payán-Alejo et al., 2020a; 2020b).

### CONCLUSIONES

Este trabajo es pionero para entender la dinámica poblacional de *O. bulleri* y las diferencias que pudieran existir entre las especies simpátricas del complejo *Opisthonema* spp. en el sur del Golfo de California. La caracterización del tipo de borde en los otolitos de los años 2005 y 2015 sugiere una marca hialina de crecimiento con periodicidad de formación anual. Se identificaron 6 grupos de edad; en los datos edad-talla analizados la selección multimodelo garantiza que el modelo

Schnute caso 1 es el mejor para estimar el crecimiento de *O. bulleri* del sur del Golfo de California.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al personal de Maz Sardina S.A. de C.V. por las facilidades otorgadas para el estudio de este recurso, al Programa de Pelágicos Menores del Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera de Mazatlán del INAPESCA, AGRICULTURA, por la obtención de la información, al Dr. Felipe Amezcua del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL, UNAM) por las facilidades otorgadas para la digitalización de imágenes. Al Consejo Nacional de Humanidades y Tecnología (CONAHCyT) por la beca otorgada para la realización de estudios de Posgrado.

## REFERENCIAS

- Akaike, H. 1981. Likelihood of a model and information criteria. *Journal of Economics*, 16: 3-14.
- Berry, D.H. y Barret, I. 1963. Gillraker analysis and speciation in the thread herring genus *Opisthonema*. *Bulletin of Inter-American Tropical Tuna Commission*, 7(2): 137-190.
- Beamish, R.J. y Fournier, D.A. 1981. A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38: 982-983.
- Beckman, D.W. y Howlett, D.T. 2013. Otolith annulus formation and growth of two redhorse suckers (*Moxostoma*: *Catostomidae*). *Copeia*, 2013(3): 390-395.
- Burnham, K.P. y Anderson, D.R. 2002. *Model selection and multi-model inference: a practical information-theoretic approach*. Springer, New York.
- Campana, S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology*, 59: 197-242.
- Carmona, R. y Alexandres, F. 1994. Determinación del crecimiento de *Opisthonema libertate* (Clupeiformes: Clupeidae) mediante lecturas de otolitos. *Revista de Biología Tropical*, 42(1-2): 233-238.
- Chang WB. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determinations. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 39: 1208-1210.
- Hilborn, R. y Mangel, M. 1997. *The ecological detective. Confronting models with data*. Princeton, New Jersey.
- Hobbs, N.T. y Hilborn, R. 2006. Alternatives to statistical hypothesis testing in ecology: a guide to self-teaching. *Ecological Applications*, 16(1): 5-19. <https://www.jstor.org/stable/40061776>
- Johnson, J.B. y Omland, K.S. 2004. Model selection in ecology and evolution. *Trends Ecology and Evolution*, 19(2): 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2003.10.013>
- Katsanevakis, S. 2006. Modelling fish growth: model selection, multi-model inference, and model selection uncertainty. *Fisheries Research*, 81: 229-235.
- Katsanevakis, S. y Maravelias, C.D. 2008. Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using the Von Bertalanffy equation. *Fish and Fisheries*, 9: 178-187.
- Neter, J., Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J. y Wasserman, W. 1996. *Applied linear statistical model*. McGraw-Hill, New York.
- Payán-Alejo, J., Jacob-Cervantes M.L. y Rodríguez-Domínguez, G. 2020a. Age and growth of thread herring *Opisthonema libertate*, in the southern Gulf of California. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 48(1):15-22.
- Payán-Alejo, J., Jacob-Cervantes M.L. y Rodríguez-Domínguez, G. 2020b. Age and growth of middling thread herring *Opisthonema medirastre* (Berry y Barrett, 1963) in the southern Gulf of California. *Revista Bio Ciencias*.7:1-13.
- Ruiz-Domínguez, M. y Quiñonez-Velázquez, C. 2018. Edad, crecimiento y mortalidad de *Opisthonema libertate* en las costas del noroeste de México. *Ciencias Marinas*, 44(4): 235-250.
- Schnute, J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *California Cooperative Oceanic Fisheries*
- Vega-Corrales L.A. 2010. Evaluación poblacional del stock explotable del complejo *Opisthonema* (Pisces: Clupeidae) en el golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 2: 83-94.
- Von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology*, 10: 181-213.