

Edad y crecimiento de la almeja chocolata *Megapitaria squalida* (Bivalvia: Veneridae) en la costa oriental del Golfo de California

Age and growth of the squalid callista *Megapitaria squalida* (Bivalvia: Veneridae) in the Eastern coast of the Gulf of California

Eugenio Alberto Aragón-Noriega

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Unidad Sonora. Km 2.35 Camino al Tular, Estero Bacochibampo, Guaymas, Sonora, 85454. México
e-mail: aragon04@cibnor.mx

Recibido: 14 de marzo de 2016.

Aceptado: 24 de mayo de 2017.

Aragón-Noriega E. A. 2017. Edad y crecimiento de la almeja chocolata *Megapitaria squalida* (Bivalvia: Veneridae) en la costa oriental del Golfo de California. *Hidrobiológica* 27 (2): 175-184.

RESUMEN

Antecedentes. La almeja chocolata, *Megapitaria squalida*, es un recurso pesquero importante en el Golfo de California, por lo que para su manejo sostenible es necesario determinar la estructura por edades y el patrón de crecimiento individual. Los estudios previos sobre el crecimiento de *M. squalida* sólo han utilizado el modelo de crecimiento de von Bertalanffy (MCVB). **Objetivos.** Analizar el crecimiento individual de la almeja chocolata mediante un enfoque de inferencia multimodelo. **Métodos.** Se pusieron a prueba tres modelos: logístico (ML), Gompertz y MCVB. Los parámetros de cada uno y sus respectivos intervalos de confianza (IC) fueron calculados con el método de máxima verosimilitud. Se seleccionó el mejor modelo a través del criterio de información de Akaike. **Resultados.** Se recolectaron 719 individuos en Yavaros, Sonora. Se obtuvo una talla mínima de 33 mm de longitud de concha (LC) y una LC máxima de 104 mm, con promedio de 68.9 ± 10.2 mm, coeficiente de variación (CV) 14.8%. Se encontraron organismos con un anillo de crecimiento como mínimo y máximo de 10 anillos, con promedio de 6±1 años, CV 22.9%. El valor de ponderación de Akaike para ML fue 92.4%, para L_{∞} , de 85.5 mm LT (95% IC: 85.0 - 86.2 mm) y para k, de 0.45 año⁻¹. La ponderación para el MCVB fue indetectable. **Conclusiones.** El crecimiento de *M. squalida* se detalla de mejor manera con la aplicación de un modelo sigmoideo; el MCVB no es adecuado para esta especie.

Palabras clave: Almeja chocolata, Golfo de California, modelos de crecimiento, teoría de información.

ABSTRACT

Background. The squalid callista *Megapitaria squalida* is an important fishery resource along the east coast of the Gulf of California. To manage this resource sustainably, we need to address its individual growth pattern. Previous studies on *M. squalida* growth have fitted the von Bertalanffy growth model (VBGM) without examining alternative models. **Goals.** In this study, the main objective was to analyze the individual growth of the squalid callista via a multi-model inference approach rather than simply applying the VBGM. **Methods.** Three growth models - Logistic (LM), Gompertz, and VBGM - were tested. The parameters of each model and their confidence intervals (CI) were computed using the maximum likelihood method. **Results.** Growth rings of 719 individuals collected in the littoral area of Yavaros, Sonora, were counted. The minimal size recorded was 33 mm of total shell length and the maximum was 104 mm; the average was 68.9 ± 10.2 mm, and the coefficient of variation (CV) was 14.8%. Individuals with a minimum of one growth ring year and maximum of 10 growth rings were recorded. The average growth rings were 6±1, CV 22.9%. The LM better described the individual growth of squalid callista since its Akaike weight value was 92.4% while it was undetectable for the MCVB. The value of L_{∞} , with LM was 85.5 mm (95% CI: 85.0-86.2 mm). **Conclusions.** We concluded that *M. squalida* growth is best described by a sigmoid model, and that the MCVB is not suitable for this species.

Key words: Information theory, growth models, Gulf of California, multi-model approach, squalid callista.

INTRODUCCIÓN

La almeja chocolata (*Megapitaria squalida*, Sowerby 1835) se explota como un recurso pesquero en las costas del noroeste de México; se aprovecha principalmente como alimento al consumirse la pulpa (músculos y vísceras), es comercializada entera-fresca y, en menor escala, sus valvas son utilizadas para la manufactura de artesanías (Castro-Ortiz *et al.*, 1992; López-Rocha *et al.*, 2010).

Su importancia para los pescadores radica en la gran demanda que tiene en el mercado regional, la capturan durante todo el año y funciona como un recurso alternativo cuando las especies de mayor valor comercial (e.g. camarón, langosta, abulón) no están disponibles debido a las regulaciones pesqueras como las vedas (Arellano-Martínez *et al.*, 2006).

Su importancia fue reconocida por las autoridades pesqueras mexicanas en la Carta Nacional Pesquera (CNP), con una ficha específica (DOF, 2012); en las versiones anteriores de la CNP aparecía solamente en el grupo de almejas en general. Los lineamientos de manejo establecidos en la CNP son: permisos de pesca, cuotas y talla mínima de captura (80 mm de longitud), pero la captura sólo está regulada en las costas de Baja California Sur y en la costa occidental del Golfo de California (aguas costeras de la península); en la costa oriental (aguas costeras del continente) no hay regulación explícita de la pesquería.

A pesar de su importancia social y comercial, se conoce poco sobre la edad y el crecimiento de esta almeja; el análisis de estos aspectos biológicos resulta necesario, ya que los métodos de evaluación de poblaciones requieren esencialmente de los parámetros de crecimiento individual y datos de composición por edades o tallas. El conocimiento de esta información es útil para analizar la respuesta poblacional que se puede esperar de la aplicación de diferentes estrategias de la administración pesquera.

El método más común para estimar la edad en bivalvos consiste en examinar los anillos de crecimiento que se registran en algunas partes de las conchas, y pueden verse en la parte exterior (anillos externos) o ser analizados con el microscopio al hacer un corte a una valva, lo que se conoce como anillos internos (Arnold *et al.*, 1998). El uso de las partes duras de moluscos bivalvos para determinar el crecimiento se conoce como esclerocranología y ha sido utilizada por muchos años (Davenport, 1938; Jones *et al.*, 1989). Consiste en el análisis químico de los tejidos duros (conchas); se debe tomar en cuenta al ambiente como agente forzante para especificar una respuesta funcional como el crecimiento. De hecho, existe una gran variedad de bandas que se crean como respuesta a efectos del ambiente y que se forman en períodos que van desde horas hasta meses (Arnold *et al.*, 1998), lo que las vuelve muy difíciles de interpretar. Las bandas anuales son relativamente fáciles de identificar en almejas de concha dura (Arnold *et al.*, 1998), como es el caso en la *M. squalida*. Lo que se percibe es una serie secuencial de bandas opacas alternadas con bandas translúcidas que responden a épocas de crecimiento rápido y lento respectivamente. A cada par de estas bandas se le conoce como anillo de crecimiento y ha sido exitosamente analizado en una gran cantidad y variedad de estudios (para mayor detalle, consultar a Jones *et al.*, 1989; Arnold *et al.*, 1998). Estos anillos son anuales, sin embargo, lo que varía es la época en que se forma cada banda, es diferente entre especies, pero también para la misma especie en diferentes sitios geográficos, como es el caso de *Mercenaria mercenaria* (Linnaeus) en la costa Atlántica de los Estados Unidos (Jones *et al.*, 1989; Arnold *et al.*, 1998).

Tripp-Quezada (2008) analizó la edad y el crecimiento de *M. squalida* en la Bahía de La Paz. A través del método de marcado-recaptura, validó que las bandas translúcidas corresponden a períodos invernales (cuando la temperatura es baja: 19 °C promedio en marzo) con un crecimiento lento, y las bandas opacas se forman en verano y otoño. Por su parte Leyva-Vázquez (2015) encontró para esta misma especie, pero en la costa oriental del Golfo de California (Bahía de Navachiste, Sinaloa) que las bandas translúcidas se forman de junio a octubre (verano-otoño). Lo anterior confirma que para *M. squalida* los anillos de crecimiento son anuales, no obstante, las épocas de lento crecimiento son diferentes en cada costa del Golfo de California, similar a lo encontrado en *M. mercenaria* (Jones *et al.*, 1989; Arnold *et al.*, 1998).

Las investigaciones más antiguas sobre el crecimiento de *M. squalida* sólo mencionaron la ganancia en talla durante el periodo de estudio (Baqueiro-Cárdenas & Stuardo, 1977; Singh-Cabanillas *et al.*, 1991). En los trabajos realizados por Castro-Ortiz *et al.* (1992) y Schweers *et al.* (2006), se estimaron los parámetros de crecimiento con el modelo de von Bertalanffy (MCVB).

A partir del trabajo de Katsanevakis (2006), el uso de la teoría de la información y modelos múltiples se ha consolidado como una opción mucho más aceptada en los estudios de crecimiento individual. Al realizar una revisión de los artículos de crecimiento publicados después de esa fecha se observa un incremento en la implementación de este modelo, el cual también se ha utilizado en otros moluscos bivalvos (Aragón-Noriega, 2013; Aragón-Noriega *et al.*, 2015; Chávez-Villalba & Aragón-Noriega, 2015). Las alternativas más comunes al MCVB son el modelo de crecimiento de Gompertz y el modelo logístico, entre muchos otros.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue obtener los parámetros de crecimiento individual de *M. squalida* para una población de la costa oriental del Golfo de California con un enfoque de múltiples modelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de almejas. Los ejemplares de *M. squalida* fueron recolectados en la costa oriental del Golfo de California, específicamente en el sitio conocido como Yavaros, Sonora (26° 36' - 26° 48' N y 109° 42' - 109° 18' O). En la zona se practica la pesca de autoconsumo de esta especie, y en algunas épocas del año la captura es para proveer el mercado local, por lo que aún no existe una pesca comercial. Las almejas fueron recolectadas mediante buceo autónomo a una profundidad de dos a cuatro metros, en los meses de marzo y abril de 2015, por un buzo técnico no comercial. Cada almeja fue medida y pesada entera, se limpian las valvas y se asignó un número de identificación para su posterior conteo de anillos de crecimiento para determinar su edad.

Determinación de la edad. Primeramente se midió la longitud de concha (LC), esto es, la distancia entre el punto posterior y anterior de la almeja (Fig. 1). Además, se midió la altura de concha (AC): la distancia entre el umbo y la parte ventral de la concha. Se estimó la relación entre AC y LC, pero para el cálculo de los parámetros de crecimiento se usó el dato de LC. Posteriormente, se determinó la edad en el laboratorio mediante el conteo de anillos de crecimiento, cada par de bandas (translúcidas y opacas) se consideró como un año de edad. Las bandas fueron observadas al colocar cada valva a través de una fuente de luz intensa (Fig. 1), siguiendo el método descrito por Tripp-Quezada (2008)

y Leyva-Vázquez (2015), ya que ellos validaron la formación anual de anillos de crecimiento. Por consistencia se tomó el primer anillo como representante de un año de edad en cada concha y la estructura de edad se construyó de acuerdo con ello.

Modelos de crecimiento. Se seleccionaron tres modelos que se ajustaron a los datos de longitud para la edad, el MCVB, el modelo de Gompertz y el modelo logístico, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

MCVB:

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

Modelo logístico:

$$L(t) = L_{\infty}(1 + e^{-k_2(t-t^*)})^{-1}$$

Modelo de Gompertz:

$$L(t) = L_{\infty}(e^{-e^{-g(t-t_g)}})$$

Para todos estos modelos los parámetros evaluados se describen como:

$L(t)$ longitud para la edad t (mm)

t edad (años)

L_{∞} longitud asintótica (mm)

k coeficiente de crecimiento (unidades de año $^{-1}$)

t_0 edad hipotética a la cual la longitud del organismo es cero (unidad año)

k_2 tasa relativa de crecimiento (unidades de año $^{-1}$)

t^* punto de inflexión de la curva sigmoidea (unidad año)

t_g es λ/g

λ es la tasa de crecimiento relativa inicial teórica a la edad cero (unidades de año $^{-1}$)

g es la tasa de decaimiento exponencial de la tasa de crecimiento relativa (unidades de año $^{-1}$)

Los datos se ajustaron a cada uno de los diferentes modelos de crecimiento antes mencionados con la función de máxima verosimilitud:

$$\ln L(\theta | \text{datos}) = \sum_{i=1}^n \left[-\frac{1}{2} \ln(2\pi) - \left(\frac{1}{2} \ln(\sigma^2) - \frac{(\ln L_{\text{obs}} - \ln \hat{L})^2}{2\sigma^2} \right) \right]$$

Donde θ representa los parámetros de los modelos, y σ representa las desviaciones estándar de los errores calculados usando la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\ln L_{\text{obs}} - \ln \hat{L})^2}{n}}$$

Decisión del mejor modelo. La selección del mejor modelo se llevó a cabo con base en el criterio de información de Akaike (AIC), según Burnham & Anderson (2002). El modelo con el menor valor de AIC

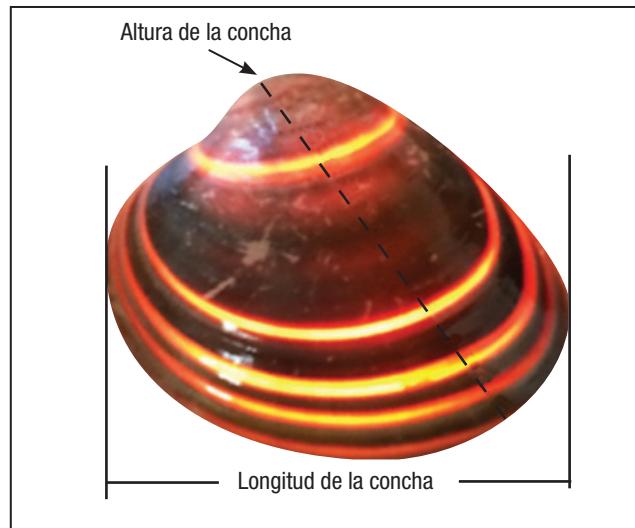


Figura 1. Anillos de crecimiento en una concha de *Megapitaria squalida*.

(AIC_{\min}) fue el seleccionado como el mejor. $\text{AIC} = -2LL + 2\theta$; donde: LL es la verosimilitud logarítmica, θ es el número de parámetros en el modelo. Posteriormente, se calcularon, para los tres modelos las diferencias entre los AIC_i de cada uno y el AIC_{\min} ; $\Delta_i = \text{AIC}_i - \text{AIC}_{\min}$. Y con esto se jerarquizaron los modelos (se aclara que el mejor modelo, que tiene el AIC_{\min} , tiene un $\Delta_i = 0$). Luego a cada modelo se le calculó la ponderación o plausibilidad (el peso de la evidencia a favor del modelo i) a través de la “ponderación del AIC” como se describe a continuación:

$$w_i = \frac{\exp(-0.5\Delta_i)}{\sum_{i=1}^3 \exp(-0.5\Delta_i)}$$

Intervalos de confianza. Se determinaron los intervalos de confianza con base en los perfiles de verosimilitud y la distribución χ^2 (Venzon & Moolgavkar, 1988). El intervalo de confianza se definió como todos los valores de θ que satisfacen la siguiente desigualdad:

$$2(L(Y | \theta) - L(Y | \theta_{\text{best}})) \chi^2_{1-\alpha}$$

Donde $L(Y | \theta_{\text{best}})$ es la log verosimilitud del valor más probable de θ y $\chi^2_{1-\alpha}$ es el valor de χ^2 con un grado de libertad al nivel de confianza $1-\alpha$. Así, el intervalo de confianza al 95% de θ abarca todos los valores de θ que son dos veces la diferencia entre la log verosimilitud de un θ dado y la log verosimilitud de la mejor estimación de θ que sea menor que 3.84. Para obtener el intervalo de confianza de dos valores conjuntos (en este caso L_{∞} y k) y evitar el problema de la correlación del parámetro, se debe satisfacer la desigualdad asociada con la distribución con dos grados de libertad, donde el valor de referencia es menor de 5.99 para dos parámetros (Cerdeñares-Ladrón de Guevara *et al.*, 2011).

RESULTADOS

En total se analizaron 719 individuos de *M. squalida*. La talla mínima fue de 33 mm LC y la máxima de 104 mm LC, con un promedio de 68.9 ± 10.2 mm LC, CV 14.8%. La figura 2 muestra que la mayor frecuencia (24%) correspondió a la talla de 75-80 mm LC. El segundo intervalo más abundante es el de 70-75 mm LC (20%), el tercer grupo presentó una frecuencia del 16% y estuvo compuesto por los organismos de 65-70 mm LC.

Las marcas de crecimiento que se apreciaron en la parte exterior de la concha resaltaron al colocarlas sobre una fuente de luz intensa (Fig. 1). Las marcas opacas se observaron de un color café oscuro y las marcas translúcidas adquirieron un color naranja. El primer par de bandas opacas y translúcidas fueron tomadas como año 1 de edad y así se construyó la estructura de edad. Los tres lectores coincidieron al 100% en contar la misma cantidad de bandas en cada concha. Se encontraron organismos con una edad mínima de 1 año y máxima de 10 años, con un promedio de 6 ± 1 , CV 22.9%. Los organismos de 6 años representaron el 35%, los de 5 años, el 24% y los de 7 años, el 21% (Fig. 2). Estos datos representan el 80% de las edades encontradas, lo que da una apariencia de una estructura unimodal de la población.

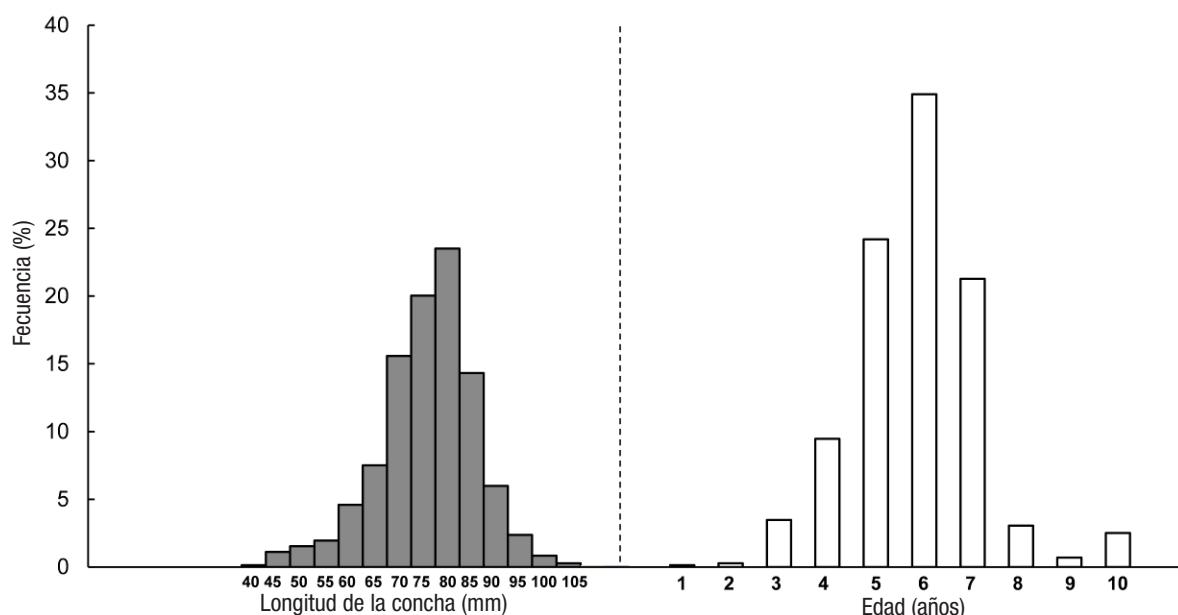
Los parámetros estimados para generar cada una de las curvas de crecimiento con los valores de longitud para la edad de *M. squalida* de Yavaros, Sonora, de los tres modelos aplicados, se presentan en la Tabla 1. El modelo logístico resultó ser el mejor para describir el crecimiento individual de los organismos de *M. squalida* de la costa oriental del Golfo de California (Tabla 1); incluso su valor de ponderación de Akaike (W_i) es muy alto (92.4%). La jerarquización de los otros dos modelos ubicó a Gompertz en segundo lugar y al MCVB en último. El valor de Δ_i del modelo de Gompertz fue de 5 por lo que, siguiendo el criterio de inferencia multimodelo, puede ser empleado para describir el crecimiento individual de la población en estudio, pero la W_i calculada fue de 7.6 %. El MCVB no se debe utilizar para describir el crecimiento *M. squalida*, ya que con el valor de Δ_i no tiene soporte y debe descartarse.

La curva generada con el MCVB se presenta en la figura 3a y el intervalo de confianza para el valor de L_{∞} se observa en la figura 3b con valores que van de 90.5 a 92 mm LC. El intervalo de confianza para k fue de 0.243-0.251 año $^{-1}$ (Fig. 3c). Los contornos de verosimilitud para los parámetros L_{∞} y k se presentan en la figura 3d. La curva de crecimiento ajustada con el modelo Gompertz (Fig. 4a) con un intervalo de confianza para L_{∞} fue de 89.5-90.7 mm LC (Fig. 4b). El intervalo

Tabla 1. Parámetros de crecimiento obtenidos por diferentes modelos para *M. squalida* de las costas de Yavaros, Sonora. También se muestran los valores de AIC, Δ_i , W_i .

Modelo	L_{∞}	$k(\text{año}^{-1})$	$k_2(\text{año}^{-1})$	G	t_0	t_*	t_g	AIC	Δ_i	W_i
Logístico	85.5 mm		0.449			2.4		-1260	0.00	92.4%
Gompertz	90.1 mm			0.316			1.5	-1255	5.01	7.6%
von Bertalanffy	91.3 mm	0.247			0			-1230	29.75	0.0%

AIC = criterio de información de Akaike. Δ_i = diferencia de los valores de AIC_i respecto del valor mínimo de AIC en los modelos puestos a prueba. W_i = Ponderación de Akaike.



Figuras 2a-b. Estructura de tallas (a) y edad (b) de *Megapitaria squalida* de las costas de Yavaros, Sonora.

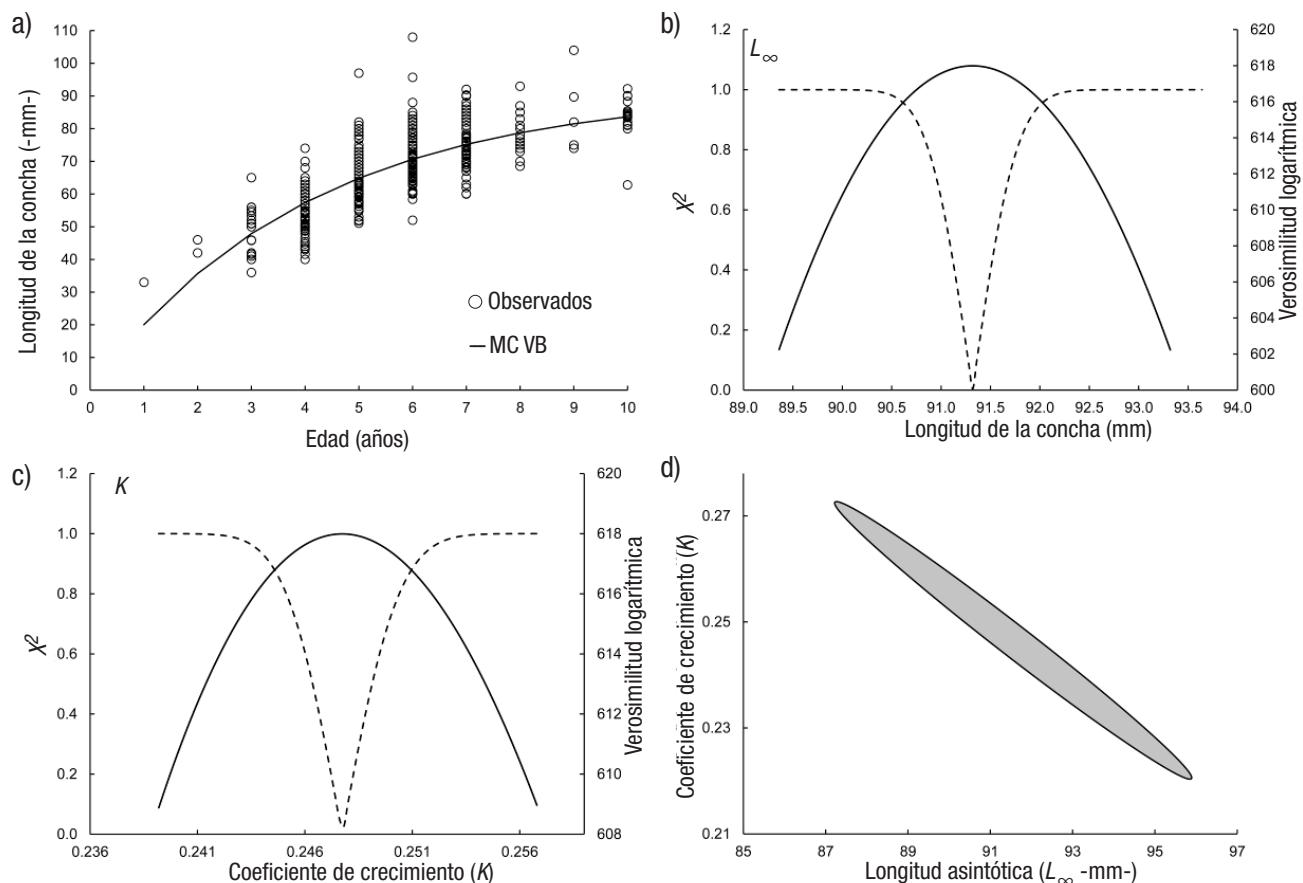


Figura 3a-d. Curva de crecimiento del modelo de von Bertalanffy ajustado a los datos de longitud para la edad de *Megapitaria squalida*: a) modelo, b) perfil de verosimilitud del parámetro L_∞ , c) perfil de verosimilitud del parámetro k , d) contorno de verosimilitud para los parámetros L_∞ y k . El área en negro representa los intervalos de confianza conjuntos.

de confianza de k fue de $0.312-0.324 \text{ año}^{-1}$ (Fig. 4c). Los contornos de verosimilitud para los parámetros L_∞ y k se exponen en la figura 4d. La figura 5a presenta la curva ajustada del modelo Logístico con una longitud asintótica (L_∞) menor de los tres modelos utilizados (85.5 mm LC) y el intervalo de confianza de 85-86.17 mm LC (Fig. 5b), mientras para el valor de k fue de $0.43-0.46 \text{ año}^{-1}$ (Fig. 5c). Los contornos de verosimilitud para los parámetros L_∞ (82-89 mm LC) y k ($0.37-0.53 \text{ año}^{-1}$) aparecen en la figura 5d. Se aprecia que cuando se obtienen contornos, el intervalo de cada valor es más amplio que cuando se calculan individualmente.

Finalmente se presenta la relación entre las variables LC y AC (Fig. 6), que resultó lineal y con un coeficiente de determinación superior al 0.8.

DISCUSIÓN

Aunque las poblaciones de *M. squalida* del Golfo de California son el objeto de una pesquería que crece rápidamente (López-Rocha *et al.*, 2010), y la comprensión de los parámetros de crecimiento de la población se hace necesaria para desarrollar estrategias de aprovechamiento sostenible, sólo hay tres documentos científicos que abordan este

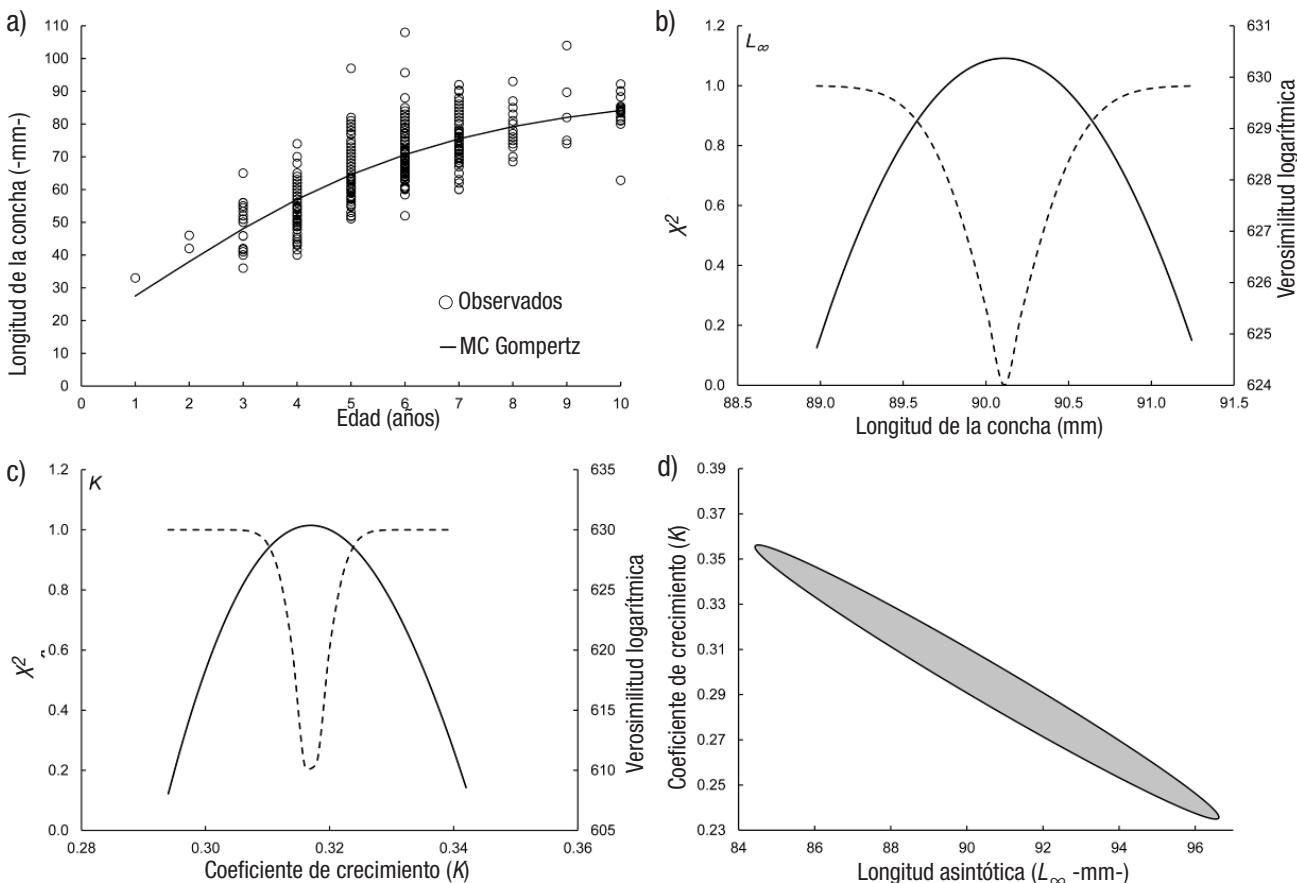
tema (Castro-Ortiz *et al.*, 1992; Tripp-Quezada, 2008; Leyva-Vázquez 2015). Sin embargo, para deducir los parámetros de crecimiento se requiere de pares de datos de edad-longitud, por lo que el principal reto radica en la correcta interpretación de la edad. La validación de la edad, definida como la periodicidad con que se forman los anillos de crecimiento, se vuelve crucial. Anualmente la formación de anillos de crecimiento, ligada a la temperatura, se ha observado en otras almejas que habitan en aguas poco profundas como *M. mercenaria* (Jones *et al.*, 1990, Arnold *et al.*, 1991) o *Macoma balthica* (Linnaeus) (Beukema *et al.*, 1985). La baja temperatura que causa inhibición del crecimiento en *M. mercenaria* fue aludido como patrón clásico por Jones *et al.* (1990), pero sostiene que las diferencias geográficas en este patrón básico parecen tener un componente latitudinal. Tanto para *M. mercenaria* como para *M. balthica*, la banda translúcida se deposita en invierno en latitudes norteñas y en verano en latitudes sureñas (Arnold *et al.*, 1998). Algo similar parece ocurrir con *M. squalida* del Golfo de California, el crecimiento lento sucede en invierno, en la costa peninsular y en la costa continental sobreviene en verano-otoño. Una posible explicación es la cantidad de alimento disponible, según Lluch-Cota *et al.* (2007) las surgencias, ricas en nutrientes, se presentan en verano-otoño en la costa peninsular y en invierno-primavera, en la costa continental, lo que coincide con los períodos de mayor crecimiento (banda opaca en

cada sitio. Arnold *et al.* (1998) destacan que aunque a la temperatura se le atribuye la influencia directa e indirecta sobre la deposición de las bandas translúcidas, otro factor ambiental es la cantidad de alimento.

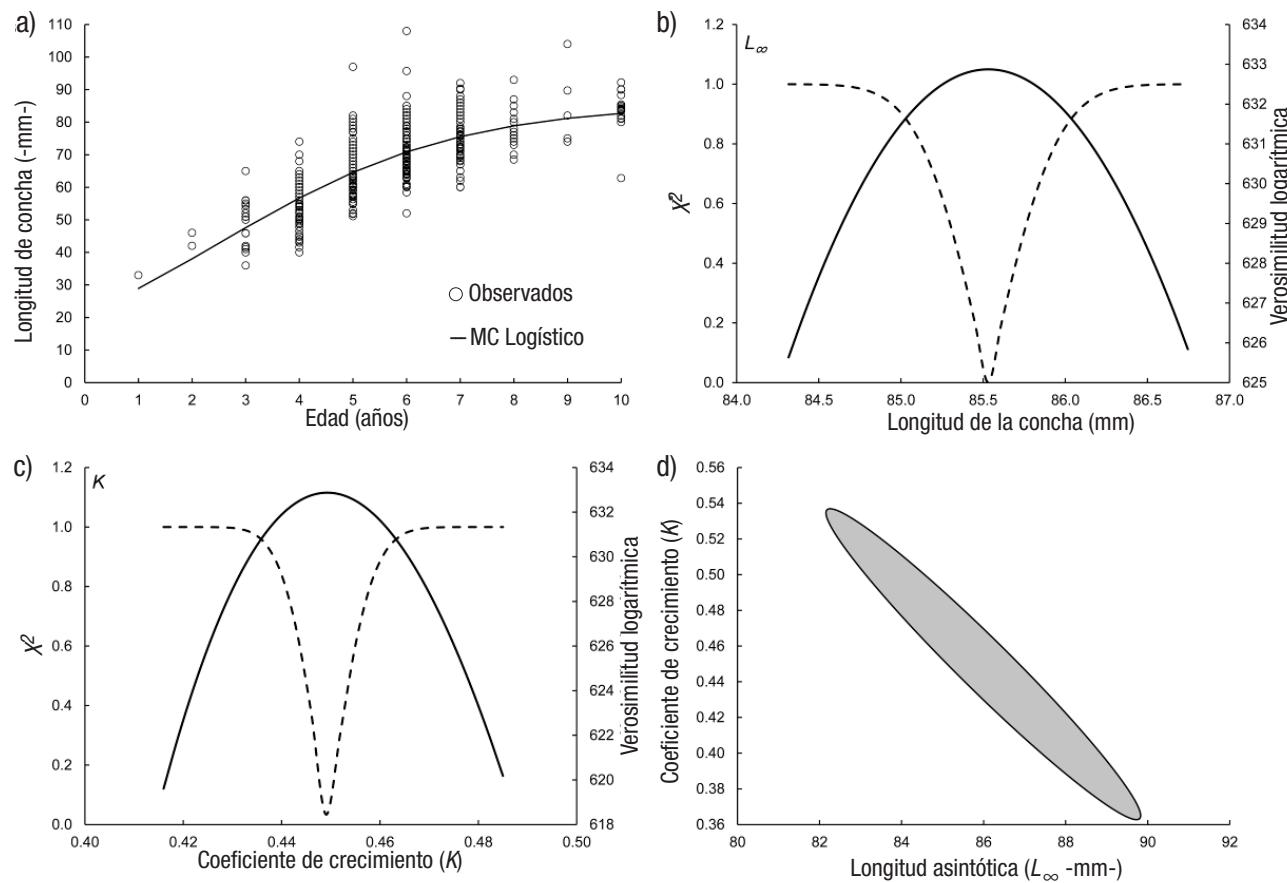
Con los estudios previos que validaron la formación de anillos anuales de crecimiento en *M. squalida* del Golfo de California (Tripp-Quezada, 2008; Leyva-Vázquez 2015) se da certeza de que los anillos de la misma especie, pero en la zona de Yavaros, son anuales, independientemente de que la deposición de las bandas opacas o translúcidas sean en épocas distintas para cada costa del Golfo de California. El objetivo del trabajo no es captar información sobre los períodos en que se depositan las bandas translúcidas u opacas, sino conocer los parámetros de crecimiento a partir de la interpretación de los anillos de crecimiento anuales, esto último usado en esta investigación para determinar pares de datos edad-longitud que pudieran utilizarse en el modelado de crecimiento individual. Las edades encontradas superan a las previamente registradas debido a que en el sitio de muestreo se obtuvieron organismos de 1 a 10 años y los estudios previos habían reportado a un organismo de 7 años como el más longevo (Castro-Ortiz *et al.*, 1992; Tripp-Quezada, 2008). Esta estructura de edades posiblemente se relacione con la actividad pesquera, ya que en la costa oriental

del Golfo de California la pesca de almeja chocolata es incipiente y en la costa de la península de Baja California los volúmenes de captura superan anualmente las mil toneladas y tiene más de tres décadas de explotación (López-Rocha *et al.*, 2010). Además, la regulación pesquera prohíbe la extracción de organismos menores a 80 mm, esto hace pensar que la actividad pesquera ha capturado a organismos grandes y por tanto con edades mayores. Por otro lado la zona de captura (intermareal u submareal) también parece influir en las estructuras de edades que se han registrado en diferentes zonas. Tanto en las investigaciones de Castro-Ortiz *et al.* (1992), Tripp-Quezada (2008) como en este estudio, se hicieron las recolectas de almejas en el submareal con las edades arriba comentadas, pero Schweers *et al.* (2006) y Leyva-Vázquez (2015) lo hicieron en el intermareal y los ejemplares más longevos no superaron los 5 años.

Cuando se analizan los parámetros de crecimiento de moluscos bivalvos la longitud asintótica es uno de los más citados, por lo que es importante destacar la parte de la concha en donde se ha realizado la medición para estimar dicho parámetro. En cinco estudios (Castro-Ortiz *et al.*, 1992; Arellano-Martínez *et al.*, 2006; Schweers *et al.*, 2006; Tripp-Quezada, 2008; Leyva-Vázquez, 2015), donde se calculó la lon-



Figuras 4a-d. Curva de crecimiento del modelo Gompertz ajustado a los datos de longitud de la edad de *Megapitaria squalida*: a) modelo, b) perfil de verosimilitud del parámetro L_∞ , c) perfil de verosimilitud del parámetro k , d) contorno de verosimilitud para los parámetros L_∞ y k . El área en negro representa los intervalos de confianza conjuntos.



Figuras 5a-d. Curva de crecimiento del modelo logístico ajustado a los datos de longitud para la edad de *Megapitaria squalida*: a) modelo, b) perfil de verosimilitud del parámetro L_{∞} , c) perfil de verosimilitud del parámetro k , d) contorno de verosimilitud para los parámetros L_{∞} y k . El área en negro representa los intervalos de confianza conjuntos.

gitud asintótica para *M. squalida*, se usó la longitud de concha (LC) como se describe en la sección de material y métodos (Fig. 1). Salvo el de Arellano-Martínez *et al.* (2006), los otros cuatro resaltan de manera explícita que la medición es de la parte posterior a la anterior de la almeja, pero se entiende que usa LC no sólo porque así la menciona, sino porque aplica valores de Castro-Ortiz *et al.* (1992) para su propio análisis. Lo anterior se vuelve importante, puesto que autores como Sephton & Bryan (1990), quienes examinaron el crecimiento de *Spisula solidissima* (Dillwyn, 1817), utilizan el término LC, pero aclaran que la medición es la realizada desde el umbo a la parte ventral de la concha, lo que se conoce como altura de concha (AC) (Fig. 1). Hashiguchi *et al.* (2014), en su investigación de crecimiento de *Meretrix lusoria* (Roeding, 1798), usan el término LC, pero no hace referencia a la forma en que lo obtuvieron. En especies como *M. mercenaria*, *M. campechiensis*, *M. balthica* y *M. arenaria*, se ha usado la altura de concha (AC) para averiguar los parámetros de crecimiento, y explícitamente se destaca que se midió desde el umbo a la parte ventral de la concha (Beukema *et al.*, 1985; Jones *et al.*, 1990; Arnold *et al.*, 1991, 1998; Henry & Nixon, 2008; Ridgway *et al.*, 2011). En otros estudios similares, se calcularon tanto AC como LC y aunque se destaca haber utilizado AC para conseguir los parámetros de crecimiento, se hace énfasis en la relación lineal

entre estas dos variables. El resultado es similar al de este trabajo de investigación con *M. squalida*. Quizás lo más importante es resaltar que LC es tan válida como la AC para modelizar el crecimiento y no que una sea mejor que la otra.

En el presente trabajo la máxima longitud asintótica estimada fue 91.3 mm LC con el MCVB y en segundo lugar fue 90.1 mm, resultado alcanzado con el modelo de Gompertz. Estos valores están fuera del intervalo encontrado para *M. squalida* en las costas de Baja California Sur, tanto del Golfo de California como del océano Pacífico, donde se encontró una longitud asintótica de 80.9 a 86.2 mm (Castro-Ortiz *et al.*, 1992; Schweers *et al.*, 2006; Tripp-Quezada, 2008). Sin embargo, con el modelo seleccionado como el mejor por el AIC (modelo Logístico) se obtuvo una L_{∞} dentro de los límites encontrados previamente. Este resultado realza la importancia del estudio con un enfoque de modelos múltiples, de la misma forma que Schäffer & Zettler (2007) lo reportaron para *Mya arenaria* Linnaeus, 1758, pues ellos emplearon Gompertz ($L_{\infty} = 62.6$ mm) y MCVB ($L_{\infty} = 87.4$ mm) y concluyeron que este modelo fue el mejor para describir el crecimiento. La diferencia que ellos encontraron con cada modelo supera los 24 mm, y de allí la importancia de no aplicar solamente el MCVB como única alternativa.

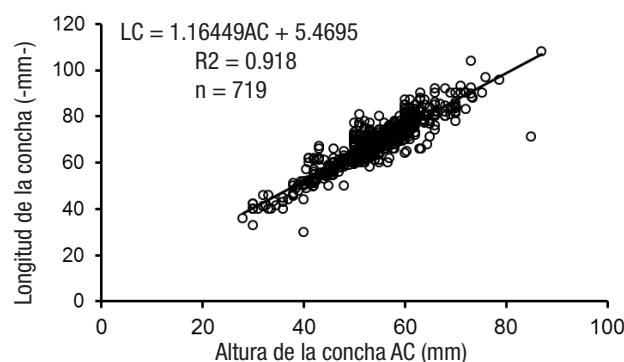


Figura 6. Relación entre altura y longitud de la concha de *Megapitaria squalida* de las costas de Yavaros, Sonora.

Es importante apuntar que los parámetros de crecimiento de una especie en particular pueden tener diferentes valores de acuerdo con su distribución geográfica y también cohortes que pueden crecer de forma diferente según las condiciones ambientales (Sparre & Venema, 1995). En particular, con *M. squalida*, se tiene un resultado que remarca el efecto de los microhabitats, ya que Castro-Ortiz *et al.* (1992) estimaron valores de L_{∞} de 80.99 y 86.20 en Bahía Concepción, pero en dos sitios distintos. Otra posible explicación radica en lo encontrado por Anguas-Vélez y Castro-Ortiz (1990), quienes concluyen que para esta especie pudieran existir al menos dos ecotipos en la misma costa occidental del Golfo de California.

En el presente estudio los parámetros de crecimiento calculados con el MCVB tienen una marcada diferencia con los de Castro-Ortiz *et al.* (1992), para la misma especie, en Bahía Concepción, donde: $L_{\infty} = 80.99$ mm LC, una k de 0.551 año^{-1} y la t_0 de -0.023. Los resultados de Tripp-Quezada (2008), en Bahía La Paz, fueron: L_{∞} de 81.97 mm LC, k de 0.488 año^{-1} y t_0 de -0.097; si se comparan esos valores con la presente investigación se tiene: L_{∞} de 91.31 mm LC, k de 0.247 año^{-1} y $t_0 = 0$, que expresa una diferencia entre los valores determinados, específicamente respecto al valor de k reportado por Castro-Ortiz *et al.* (1992), que significa una mayor rapidez de crecimiento que la observada en este estudio. Schweers *et al.* (2006) obtuvieron como resultado L_{∞} de 83.00 mm LC y la k de 0.655 año^{-1} en Bahía Magdalena, pero con organismos menores a 60 mm LC. La posible explicación para un valor alto de k es que trata de organismos que están en su fase rápida de crecimiento en comparación con lo reportado aquí, donde se encontraron organismos de hasta 104 mm LC y 10 años de edad. Pero ahora es necesario mencionar que Castro-Ortiz *et al.* (1992) también evaluaron parámetros de L_{∞} (86.2 mm) y k (0.15 año^{-1}) en organismos con una estructura de tallas de 7 a 89 mm LC y un intervalo de edad de 1-7 años.

Estudios anteriores estimaron los parámetros de crecimiento de la almeja chocolata en otras regiones utilizando un algoritmo basado en el método de cuadrados mínimos (Castro-Ortiz *et al.*, 1992; Schweers *et al.*, 2006; Tripp-Quezada, 2008). Aquí, en su lugar, se aplicó como criterio la máxima verosimilitud, que representa una mejor solución para estimar adecuadamente los parámetros de los modelos de crecimiento individual (Katsanevakis, 2006), además de ser una prueba más ro-

busta. La selección de modelos basada en la teoría de la información ha sido recomendada como una alternativa mejor que los enfoques tradicionales (Katsanevakis, 2006; Cerdáres-Ladrón de Guevara *et al.*, 2011; Aragón-Noriega *et al.*, 2015). La ventaja de emplear el AIC es que los modelos pueden ordenarse jerárquicamente, según se ajuste a los datos, y pueden valorarse los parámetros promedio para un modelo, en este caso de crecimiento individual. Sin embargo, el parámetro promedio deseado, como la longitud asintótica, se estima calculando la ponderación de Akaike (Burnham & Anderson, 2002), es decir, la contribución de cada parámetro es ponderada antes de obtener la media del parámetro deseado. Según el AIC, se encontró que el mejor modelo fue el Logístico, mientras que el menos compatible fue el MCVB.

Castro-Ortiz *et al.* (1992), Schweers *et al.* (2006) y Tripp-Quezada (2008) sólo se basaron en el modelo MCVB y claramente se ajustó el modelo. El resultado de la presente investigación está en concordancia con otros estudios basados en el enfoque multimodelo y AIC para otras especies. Cruz-Vásquez *et al.* (2012) realizaron un análisis de *Panopea globosa* Dall, 1898, en Guaymas, Sonora, y consideraron este enfoque, cuyo resultado arrojó que el modelo logístico fue el que más se ajustó y que el MCVB no está bien soportado. Baer *et al.* (2011) concluyó que el MCVB no es el modelo óptimo para calcular el crecimiento de lenguado (*Psetta maxima*, Linnaeus); Flores *et al.* (2010), para el erizo de mar (*Loxechinus albis*, Molina 1872), obtuvo resultados similares.

El aporte del presente estudio es la descripción de los parámetros de crecimiento y el hallazgo de una estructura de tallas y edades de *M. squalida* en la costa oriental del Golfo de California; difiere de lo reportado en la costa occidental y oriental de la península de Baja California. Se recomienda que para describir el crecimiento individual se utilicen herramientas o algoritmos con soporte estadístico robusto.

En conclusión, para *M. squalida* en la costa oriental del Golfo de California, el crecimiento individual fue descrito adecuadamente por una curva tipo sigmoidal (modelo logístico), mientras que el MCVB no fue soportado estadísticamente de acuerdo con la teoría de la información.

AGRADECIMIENTOS

Alejandro Leal colaboró con la recolección de almejas en el campo. Edgar Alcántara editó las figuras. Diana Dorantes revisó y corrigió los textos en inglés.

REFERENCIAS

- ANGUAS-VÉLEZ, B. & J. L. CASTRO-ORTIZ. 1990. Probable existencia de dos ecofenotipos de *Megapitaria squalida* (Sowerby, 1835) en Bahía Concepción Baja California Sur, México. *Investigaciones Marinas CICIMAR* 5: 79-81.
- ARAGÓN-NORIEGA, E. A. 2013. Modelación del crecimiento individual del callo de hacha *Atrina maura* (Bivalvia: Pinnidae) a partir de la inferencia multi modelo. *Revista de Biología Tropical* 61 (3): 1167-1174. DOI: 10.15517/rbt.v61i3.11911
- ARAGÓN-NORIEGA, E. A., L. E. CALDERÓN-AGUILERA & S. A. PÉREZ-VALENCIA. 2015. Modeling growth of the cortez geoduck *Panopea globosa* from unexploited and exploited beds in the northern Gulf of California. *Journal of Shellfish Research* 34(1): 129-135. DOI: 10.2983/035.034.0115

- ARELLANO-MARTÍNEZ, M., M. QUIÑONES-ARREOLA, B. P. CEBALLOS-VÁZQUEZ & M. VILLEJO-FUERTE. 2006. Reproductive pattern of the squalid callista *Megapitaria squalida* from northwestern Mexico. *Journal of Shellfish Research* 25: 849-855. DOI: 10.2983/0730-8000(2006)25[849:RPOTSC]2.0.CO;2
- ARNOLD, W. S., T. M. BERT, I. R. QUITMYER, D.S. JONES. 1998. Contemporary deposition of annual growth bands in *Mercenaria mercenaria* (Linnaeus), *Mercenaria campechiensis* (Gmelin), and their natural hybrid forms. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 223: 93-109. DOI: 10.1016/S0022-0981(97)00152-4
- ARNOLD, W. S., D. V. MARELLI, T. M. BERT, D. S. JONES I. R. QUITMYER. 1991. Habitat-specific growth of hard clam *Mercenaria mercenaria* (L.) from the Indian River, Florida. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 147: 245-265. DOI: DOI: 10.1016/0022-0981(91)90185-Y
- BAER, A., C. SCHULZ, I. TRAULSEN & J. KRIETER. 2011. Analysing the growth of turbot (*Psetta maxima*) in a commercial recirculation system with the use of three different growth models. *Aquaculture International* 19: 497-511. DOI: 10.1007/s10499-010-9365-0
- BAQUEIRO-CÁRDENAS, E. & J. STUARDO 1977. Observaciones sobre la biología, ecología y explotación de *Megapitaria aurantiaca* (Sowerby, 1831), *M. squalida* (Sowerby, 1835) y *Dosinia ponderosa* (Gray, 1838) (Bivalvia; Veneridae) de la Bahía de Zihuatanejo e Isla de Ixtapa, Guerrero, México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología* 4: 161-208.
- BEUKEMA, J. J., E. KNOL & G. C. CADÉE. 1985. Effects of temperature on the length of the annual growing season in the tellinid bivalve *Macoma balthica* (L.) living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 90:129-144. DOI: 10.1016/0022-0981(85)90115-7
- BURNHAM, K. P. & D. R. ANDERSON. 2002. *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. 2^{da} ed. Springer, Nueva York. 490 p.
- CASTRO-ORTIZ, J. L., A. TRIPP-QUEZADA & B. ANGUS-VELEZ. 1992. Crecimiento de la almeja chocolata *Megapitaria squalida* (Sowerby, 1835) en Bahía Concepción, Baja California Sur México. *Investigaciones Marinas CICIMAR* 7: 1-7.
- CERDENARES-LADRÓN DE GUEVARA, G., E. MORALES-BOJÓRQUEZ & R. RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ. 2011. Age and growth of the sailfish *Istiophorus platypterus* (Istiophoridae) in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Marine Biology Research* 7(5): 488-499. DOI: 10.1080/17451000.2010.528201
- CHÁVEZ-VILLALBA, J. & E. A. ARAGÓN-NORIEGA. 2015. Modeling the individual growth of the Cortez oyster *Crassostrea corteziensis* (Bivalvia: Ostreidae) from central Gulf of California. *Cahiers de Biologie Marine* 56: 231-236.
- CRUZ-VÁSQUEZ, R., G. RODRÍGUEZ-DOMÍNGUEZ, E. ALCÁNTARA-RAZO & E. A. ARAGÓN-NORIEGA. 2012. Estimation of Individual growth parameters of the Cortes Geoduck *Panopea globosa* from the Central Gulf of California using a multimodel approach. *Journal of Shellfish Research* 31(3): 725-732. DOI: 10.2983/035.031.0316
- DAVENPORT, C. B. 1938. Growth lines in fossil pectens as indicators of past climates. *Journal of Paleontology* 12: 514-515.
- DOF (DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN). 2012. Acuerdo mediante el cual se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. México. 24 de agosto. También disponible en la página web http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5265388&fecha=24/08/2012
- FLORES, L., B. ERNST & A. M. PARMA. 2010. Growth pattern of the sea urchin, *Loxechinus albus* (Molina, 1782) in southern Chile: evaluation of growth models. *Marine Biology* 157: 967-977. DOI: 10.1007/s00227-009-1377-9
- HENRY, K. M. & S. W. NIXON. 2008. A Half Century Assessment of Hard Clam, *Mercenaria mercenaria*, Growth in Narragansett Bay, Rhode Island. *Estuaries and Coasts* 31:755-766. DOI: 10.1007/s12237-008-9060-9
- HASHIGUCHI, M., J. YAMAGUCHI & Y. HENMI. 2014. Distribution and movement between habitats with growth of the hard clam *Meretrix lusoria* in the Shirakawa-Midorikawa estuary of the Ariake Sea. *Fisheries Science* 80: 687-693. DOI: 10.1007/s12562-014-0748-4
- JONES, D.S., M. A. ARTHUR & D. J. ALLARD. 1989. Sclerochronological records of temperature and growth from shells of *Mercenaria mercenaria* from Narragansett Bay, Rhode Island. *Marine Biology* 102: 225-234. DOI: 10.1007/BF00428284
- JONES, D. S., I. R. QUITMYER, W. S. ARNOLD & D.C MARELLI. 1990. Annual shell banding, age, and growth rate of hard clams (*Mercenaria* spp.) from Florida. *Journal of Shellfish Research* 9: 215-225.
- KATSANEVAKIS, S. 2006. Modelling fish growth: Model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research* 81: 229-235. DOI: 10.1016/j.fishres.2006.07.002
- LEVÁ-VÁZQUEZ, Y. 2015. Evaluación biológica de un banco de almeja chocolata *Megapitaria squalida*, en la Bahía de Navachiste, Guasave, Sinaloa, México. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mexico.
- LLUCH-COTA, S. E., E. A. ARAGÓN-NORIEGA, F. ARREGUÍN-SÁNCHEZ, D. AURIOLLES-GAMBOA, J. J. BAUTISTA-ROMERO, R. C. BRUSCA, R. CERVANTES-DUARTE, R. CORTÉS-ALTAMIRANO, P. DEL-MONTE-LUNA, A. ESQUIVEL-HERRERA, G. FERNÁNDEZ, M. E. HENDRICKX, S. HERNÁNDEZ-VÁZQUEZ, H. HERRERA-CERVANTES, M. KAHRU, M. LAVÍN, D. LLUCH-BELDA, D. B. LLUCH-COTA, J. LÓPEZ-MARTÍNEZ, S. G. MARINONE, M. O. NEVÁREZ-MARTÍNEZ, S. ORTEGA-GARCÍA, E. PALACIOS-CASTRO, A. PARÉS-SIERRA, G. PONCE-DÍAZ, M. RAMÍREZ-RODRÍGUEZ, C. A. SALINAS-ZAVALA, R. A. SCHWARTZLOSE & A. P. SIERRA-BELTRÁN. 2007. The Gulf of California: review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress in Oceanography* 73 (1): 1-26. DOI: 10.1016/j.pocean.2007.01.013
- LÓPEZ-ROCHA, J. A., B. P. CEBALLOS-VÁZQUEZ, F. A. GARCÍA-DOMÍNGUEZ, M. ARELLANO-MARTÍNEZ, M. VILLEJO-FUERTE & A. K. ROMO-PÍNERA. 2010. La pesquería de la almeja chocolata *Megapitaria squalida* (Bivalvia: Veneridae) en Baja California Sur, México. *Hidrobiología* 20: 230-237.
- RIDGWAY, I. D., C. A. RICHARDSON, E. ENOS, Z. UNGVARI, S. N. AUSTAD, E. E. R. PHILIP & A. CSISZAR. 2011. New species longevity record for the Northern Quahog (= Hard Clam), *Mercenaria mercenaria*. *Journal of Shellfish Research* 30: 35-38. DOI: 10.2983/035.030.0106
- SCHÄFFER, F. & M. L. ZETTLER. 2007. The clam siphon as indicator for growth indices in the soft-shell clam *Mya arenaria*. *Helgoland Marine Research* 61: 9-16. DOI 10.1007/s10152-006-0049-0

- SCHWEERS, T., M. WOLFF, V. KOCH & F. SINCEL-DUARTE. 2006. Population dynamics of *Megapitaria squalida* (Bivalvia: Veneridae) at Magdalena Bay, Baja California Sur, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 54: 1003-1017. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v54i3.13973>
- SEPHTON, T. W. & C. F. BRYAN. 1990. Age and growth rate determinations for the Atlantic surf clam, *Spisula solidissima* (Dillwyn, 1817), in Prince Edward Island, Canada. *Journal of Shellfish Research* 9: 177-185.
- SINGH-CABANILLAS, J., J. A. VÉLEZ-BARAJAS & M. C. FAJARDO-LEÓN. 1991. Estudio poblacional de la almeja chocolata *Megapitaria squalida* (Sowerby, 1835) en punta Coyote, Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Ciencia Pesquera* 8: 1-22.
- SPARRE, P. & S. C. VENEMA. 1995. *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Manual FAO, Documento técnico de pesca*.
- FAO, Roma, Italia. 376 p. También disponible en la página web <http://www.fao.org/docrep/008/w5449s/w5449s00.htm>
- TRIPP-QUEZADA, A. 2008. *Comunidades de moluscos asociados a ambientes de carbonatos modernos en el Golfo de California*. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B.C.S., México. 149 p.
- VENZON, D. J. & S. H. MOOLGAVKAR. 1988. A method for computing profile-likelihood-based confidence intervals. *Applied Statistics* 37 (1): 87-94. DOI: 10.2307/2347496
- WATANABE, S. & S. KATAYAMA. 2010. Relationships among shell shape, shell growth rate, and nutritional condition in the manila clam (*Ruditapes philippinarum*) in Japan. *Journal of Shellfish Research* 29: 353-359. DOI: 10.2983/035.029.0210