

Research Article

Crecimiento individual de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) y camarón azul *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874) (Decapoda: Penaeidae) con un enfoque multi-modelo

Eugenio Alberto Aragón-Noriega¹

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Unidad Sonora, Estero Bacochibampo
Guaymas, Sonora, México

Corresponding autor: Eugenio Aragón-Noriega (aaragon04@cibnor.mx)

RESUMEN. Se analizó el crecimiento individual de dos especies de camarones de la familia Penaeidae, el camarón blanco *Litopenaeus vannamei* y camarón azul *Litopenaeus stylirostris*, bajo la hipótesis de que ambas especies tendrían un crecimiento de tipo asintótico y de forma sigmoidea. Los datos provienen de cultivo en estanques de tierra descubiertos en una granja acuícola localizada en el Golfo de California. La densidad de siembra fue de 25 postlarvas m⁻² en estanques de 1,8 ha. A los datos de longitud promedio a la edad se aplicaron tres modelos asintóticos: von Bertalanffy, Gompertz y Logístico. Los parámetros se obtuvieron mediante iteraciones usando como función objetivo la máxima verosimilitud y se seleccionó el mejor modelo siguiendo el criterio de información de Akaike. La longitud total final de camarón blanco fue de 128,8 mm y la longitud asintótica calculada fue de 130 mm después de 140 días de cultivo. En camarón azul, la talla final a cosecha fue de 142,2 mm y la longitud asintótica de 174 mm, después de 158 días. Para ambas especies el modelo que mejor describió el crecimiento fue el de Gompertz, por lo tanto se concluyó que la forma de crecimiento de ambas especies debe ser sigmoidea.

Palabras clave: *Litopenaeus vannamei*, *Litopenaeus stylirostris*, Akaike, modelos de crecimiento, acuicultura.

Individual growth of white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) and blue shrimp *L. stylirostris* (Stimpson, 1874) (Crustacea: Penaeidae) by multi-model approach

ABSTRACT. Individual growth of two shrimp species of the family Penaeidae, the white shrimp *Litopenaeus vannamei* and blue shrimp *L. stylirostris* were analyzed. The hypothesis was that both species would have an asymptotic growth type with sigmoid shape. The data comes from shrimp farming in earthen ponds of an aquaculture farm located in the Gulf of California, density was 25 post-larvae m⁻² in ponds of 1.8 ha. Three asymptotic models were applied to averaged length at age data: von Bertalanffy, Gompertz, and logistic. The model's parameters were computed by maximum likelihood criterion. Best model was selected according to the Akaike information criterion. The final total length of white shrimp was 128.8 mm and the estimated asymptotic length was 130 mm, after 140 rearing days. The blue shrimp final size was 142.2 mm, and the asymptotic length was 174 mm, after 158 rearing days. For both species, the model which better described the growth was the Gompertz model; consequently the conclusion was that the growth of both species must be sigmoid shape.

Keywords: *Litopenaeus vannamei*, *Litopenaeus stylirostris*, Akaike, growth models, aquaculture.

INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo se ha reconocido que los patrones de crecimiento individual (cambios en el tamaño de un individuo con el tiempo) de los organismos juegan un papel importante en la evolución de las trayectorias de la edad de la fertilidad y mortalidad. La importancia del estudio de crecimiento individual la destaca Karkash (2006) cuando menciona

que los estudios de historia de la vida se beneficiarían de una mejor comprensión de las estrategias y mecanismos de crecimiento. Hay que reconocer que, cuando se quiere desarrollar modelos que representen el crecimiento individual hay que preocuparse de su cambio global a través del tiempo, pero no se tiene al detalle todo el complejo bioquímico y de los procesos fisiológicos (alimentación, digestión, asimilación, respiración, excreción, etc.) o modificaciones anató-

micas que conducen a esos cambios. Se requiere una buena comprensión de las distintas curvas de crecimiento, sus respectivas formas y propiedades, para la administración y manejo de especies sujetas a explotación pesquera o acuícola.

El crecimiento, caracterizado por una talla máxima, que conforme se va alcanzando va acompañado de una disminución en la tasa de crecimiento, que determina el crecimiento asintótico. Dentro del patrón de crecimiento asintótico se han destacado dos patrones distintos; uno sigmoideo y otro en forma de exponencial invertido (Fig. 1). Las curvas sigmoideas pueden ser representadas por los modelos de crecimiento de Gompertz y Logístico, mientras que el exponencial invertido es comúnmente representado por la ecuación de von Bertalanffy (MCVB). La descripción detallada de estos modelos se encuentran en Haddon (2001).

El modelo logístico de crecimiento individual, al igual que el de Gompertz, es representado por una curva sigmoidea y cuenta con un punto de inflexión. La diferencia es que en el modelo logístico la curva es simétrica mientras que en el de Gompertz no. Estos dos modelos, originalmente planteados para representar el crecimiento poblacional, se han aplicado al crecimiento individual en erizos (Ebert *et al.*, 1999), peces (Baer *et al.*, 2011) y moluscos (Cruz-Vásquez *et al.*, 2012; Aragón-Noriega, 2013). El MCVB (Von Bertalanffy, 1938, 1957) es el primer modelo de crecimiento diseñado específicamente para describir el crecimiento individual. Se basa en un simple análisis bioenergético. Un individuo es considerado como un reactor químico dinámico donde las entradas (anabolismo) compiten con las salidas (catabolismo). El resultado de estos dos flujos es el crecimiento. El MCVB no tiene ningún punto de inflexión. El crecimiento es más rápido desde el principio, disminuye gradualmente y finalmente llega a cero. El crecimiento es determinado y el tamaño no puede exceder la asíntota horizontal de la curva.

Para elegir el modelo que mejor describe el crecimiento individual se utiliza frecuentemente el procedimiento denominado inferencia del múltiple-modelo (IMM). Es un enfoque basado en la teoría de la información y es un paradigma relativamente nuevo en ciencias biológicas, y es muy diferente de los métodos tradicionales basados en probar una hipótesis nula (Schnute & Groot, 1992; Burnham & Anderson, 2002; Katsanevakis, 2006, 2007; Katsanevakis & Maravelias, 2008). Hay dos categorías de métodos para seleccionar entre modelos candidatos, los empíricos y los hipotéticos. Entre estos últimos se encuentra el Criterio de Información de Akaike (AIC por sus siglas en inglés). El AIC es un estimador simple, asintótico y no desviado de la distancia Kullback-Leibler desarrollado por Akaike (Burnham & Anderson, 2002), que selecciona

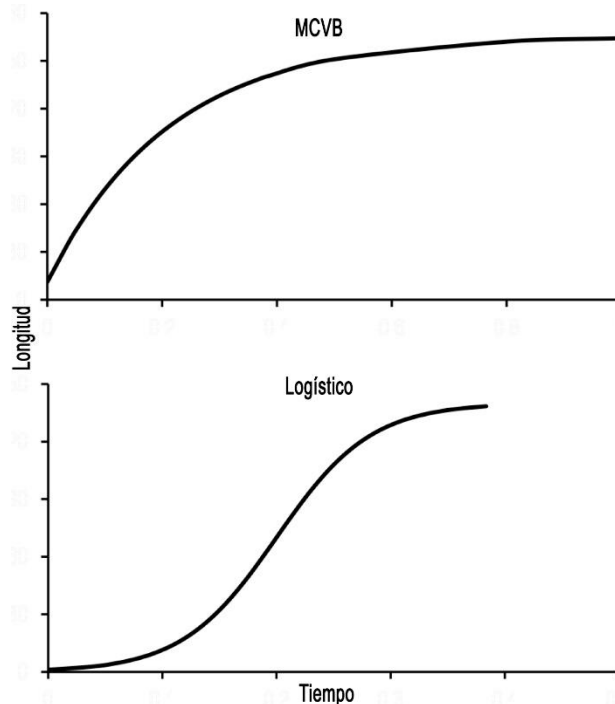


Figura 1. Ejemplo esquemático de las curvas de crecimiento. Exponencial invertida para el modelo de crecimiento de von Bertalanffy (MCVB) y sigmoidea con punto de inflexión para el modelo logístico.

el mejor modelo basado en el principio de simplicidad. Esto significa que ante dos modelos que se ajustan igual a los datos, se elige el más simple (menor número de parámetros y menor número de supuestos); el modelo con el menor AIC es el que se debe seleccionar. Al calcular el valor de AIC se establece un equilibrio entre la complejidad del modelo y la bondad de ajuste del modelo; es decir, penaliza a un modelo en proporción al número de parámetros. Esto implica que el modelo seleccionado se caracterizará por asegurar que tiene la complejidad y la bondad de ajuste óptimas.

En los estudios recientes sobre cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) (Ceballos-Vázquez *et al.*, 2010; Sookying *et al.*, 2011) y camarón azul *L. stylirostris* (Stimpson, 1874) (Acosta-Ruiz *et al.*, 2011; Suresh *et al.*, 2011), se ha encontrado que básicamente se reporta la talla o el peso al final del periodo de cultivo.

Estas dos especies son muy importantes en las prácticas acuícolas a nivel mundial (Alfaro-Montoya, 2010; Andriantahina *et al.*, 2013; Pérez-Velázquez *et al.*, 2013). En las pesquerías de lagunas costeras el camarón blanco representa hasta el 97% de la captura (Del Valle & Martín, 1995; Ramos-Cruz, 2000). Para camarón blanco silvestre se ha descrito el crecimiento solamente con el MCVB (Chávez, 1973; Ramos-Cruz, 2000; Rivera-Velázquez *et al.*, 2010). En otras especies

de camarones (*e.g.*, *Metapenaeus macleayi*, *Plesionika izumiae*) se han utilizado modelos de crecimiento alternativos al MCVB, como el modelo de Gompertz, Pauly y Gaschütz, y Schnute (Montgomery *et al.*, 2010; Ahamed & Ohtomi, 2012) y se ha concluido que es importante el uso de modelos alternativos al MCVB para describir el crecimiento de camarones tropicales de la familia Penaeidae.

El problema que se aborda en este trabajo parte de la situación en que, bajo condiciones de cultivo, el crecimiento solo se representa graficando la ganancia en talla o peso a la edad (tiempo de cultivo) y no ajustando un modelo de crecimiento. Esto, principalmente, porque el objetivo de los cultivos comerciales de las especies como camarones o peces es lograr las tallas comerciales en el menor tiempo posible. Se entiende que este objetivo es muy diferente al ajustar modelos de crecimiento en especies silvestres sujetas a pesca, pero el beneficio que se puede lograr para la acuicultura, al ajustar modelos de crecimiento, radica en que se pueden realizar predicciones de crecimiento más acertadas para programar una cosecha e incrementar las ganancias del cultivo comercial. El tema fue planteado por Ansah & Frimpong (2015) de la siguiente manera: “Si el crecimiento de los organismos bajo cultivo es sobreestimado, puede resultar en pérdidas inesperadas de ingresos comerciales, mientras que subestimar el crecimiento podría resultar en una pobre planificación del cultivo con respecto a la asignación de mano de obra, alimentación óptima y tiempo de cosecha”

El objetivo principal del presente estudio fue examinar el crecimiento individual de dos especies de camarones de la familia Penaeidae, el camarón blanco *L. vannamei* y camarón azul *L. stylirostris*, que son importantes para la pesca y la acuicultura en todo el Pacífico tropical, partiendo de la hipótesis que ambas especies tendrían un crecimiento de tipo asintótico y de forma sigmoidea.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos provienen de un cultivo realizado en estanques de tierra descubiertos en una granja de cultivo de camarón localizada en el Golfo de California, México. La densidad de siembra fue de 25 postlarvas m^{-2} en estanques de 1,8 ha. El peso y talla inicial en camarón blanco fue de 0,03 g y 11,32 mm respectivamente. En camarón azul el peso inicial fue 2,1 g y la longitud 46 mm. Fueron mantenidos con alimento comercial con 35% de proteína, suministrados dos veces al día durante los primeros 20 días y posteriormente cuatro veces al día. Para medir el crecimiento se realizaron muestreos semanales durante 140 días para

el camarón blanco y 158 en el caso del camarón azul. Para la captura de los ejemplares se utilizó una atarraya de 5 m de diámetro y 1 cm de luz de malla. Los lances se realizaron en las esquinas encontradas del estanque hasta completar un total de 100 a 120 individuos.

Para obtener la longitud total de los individuos se midieron desde la punta del rostro hasta la punta del telson con una precisión de 0,1 cm. Es necesario aclarar que los datos utilizados corresponden a todos los datos sin separar por sexos ya que en las etapas iniciales de los camarones la separación por sexos es difícil de realizar y una vez que las características para separar los sexos son evidentes se tendría que asumir cual fue la proporción sexual en las etapas anteriores. También es importante mencionar que a pesar que existen variadas formas de representar el crecimiento de los organismos en condiciones de cultivo, Ansah & Frimpong (2015) sugieren que los datos promedios son más adecuados que el uso de datos “crudos” para la modelación de crecimiento individual de los organismos cultivados.

Una vez obtenidos los datos de longitud promedio, de cada muestreo, se graficaron aplicando tres modelos asintóticos: von Bertalanffy (MCVB), Gompertz y Logístico (Ricker, 1975) cuyas formulas se describen a continuación:

El modelo de MCVB que se representa por la ecuación:
 $L(t) = L_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)})$

El modelo Logístico: $L(t) = L_{\infty}/(1 + e^{-k_2(t-t_1)})$

El modelo de Gompertz: $L(t) = L_{\infty}e^{-e^{-k_3(t-t_2)}}$

Para todos estos modelos los parámetros evaluados se describen como:

$L(t)$: longitud a la edad t

t : edad a la longitud $L(t)$,

L_{∞} : longitud promedio de un organismo muy viejo (longitud asintótica),

k : determina la rapidez para alcanzar L_{∞} (parámetro de curvatura),

t_0 : edad hipotética a la cual la longitud del organismo es cero,

k_2 : tasa relativa de crecimiento,

t_1 : punto de inflexión de la curva sigmoidea,

t_2 : es $\ln \ln K_3$,

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

k_3 : es la tasa de decaimiento exponencial de la tasa de crecimiento relativa (unidades de año^{-1}).

Los parámetros de los modelos se obtuvieron mediante iteraciones utilizando el paquete computacional Excel. Para ajustar los modelos se utilizó el

criterio de máxima verosimilitud con el algoritmo de Newton (Haddon, 2001). Se consideró solamente el error de tipo aditivo. La ecuación de máxima verosimilitud que se utilizó como función objetivo fue:

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

donde Φ representa los parámetros de cada modelo y σ representa la desviación estándar de los errores que fueron calculados con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\sum \frac{(Lt_{obs} - Lt_{esp})^2}{n}} \text{ para error aditivo}$$

Selección del mejor modelo

El criterio de información de Akaike fue seleccionado como el criterio de bondad de ajuste ya que tiene mayores ventajas estadísticas que los criterios tradicionales como el coeficiente de determinación (R^2). Además el uso de R^2 ha sido criticado en estudios de crecimiento individual de organismos en condiciones de cultivo porque sus resultados son poco confiables cuando se usan modelos no lineales (Ansah & Frimpong, 2015). La selección del modelo se efectuó mediante una forma corregida del AIC_c (Burnham & Anderson 2002). Esta corrección se realiza si la razón $n k^{-1}$ es menor a 40. Para eso, se considera el modelo con la mayor cantidad de parámetros y se asume que las desviaciones están normalmente distribuidas con varianza constante. El modelo con el menor valor de AIC_c ($AIC_{c,min}$) fue el seleccionado como el mejor.

$$AIC_c = AIC + (2 \Phi (\Phi + 1)/n - \Phi - 1)$$

$$AIC = -2LL + (2\Phi)$$

donde LL es la verosimilitud logarítmica, n es el número de observaciones, Φ es el número de parámetros en el modelo.

Se calcularon las diferencias entre los AIC_c de cada modelo y el AIC_c menor o mínimo:

$$\Delta_i = AIC_{c,i} - AIC_{c,mínimo}$$

Además de la plausibilidad (el peso de la evidencia a favor del modelo i) mediante la “ponderación del criterio de información Akaike” como se describe a continuación:

$$W_i = e^{(-0.5 \Delta_i)} / \sum e^{(-0.5 \Delta_i)}$$

RESULTADOS

Se observó un comportamiento distinto para ambas especies. El camarón blanco presenta mayores tallas promedio en los primeros días de cultivo, pero a partir de los tres meses aparentemente disminuye la tasa de crecimiento. El camarón azul presenta un crecimiento casi en línea recta y no se observa que disminuya su tasa de crecimiento hasta el momento de la cosecha

(Fig. 2). Al ajustar los tres modelos de crecimiento al camarón blanco se aprecia que las curvas no pasan tan alejadas de los datos observados, pero los modelos de Gompertz y Logístico si representan la forma sigmoidea (Fig. 3). En el camarón azul los modelos de Gompertz y Logístico no reflejan la misma forma que en camarón blanco. Arbitrariamente se prolongaron las curvas calculadas hasta los doce meses para observar las trayectorias, pero aun así no se observa la forma sigmoidea (Fig. 4). Con ambas especies el MCBV presenta claramente su forma exponencial invertida.

El valor de AIC mínimo lo obtuvo el modelo de Gompertz en ambas especies (Tabla 1), sin embargo el valor Δ_i para MCVB y Logístico fue muy diferente según la especie. En camarón blanco está por arriba de 4 y con camarón azul por debajo de 2. Por lo que el valor de ponderación para el modelo de Gompertz en el caso de camarón blanco es 89,9% y en el caso de camarón azul 48%.

La talla final de camarón blanco fue de 128,8 mm en 140 días de cultivo. La longitud asintótica calculada con el modelo logístico fue de 130 mm. En el caso del camarón azul la talla final a cosecha fue de 142,2 mm y la longitud asintótica, determinada mediante la inferencia del multi-modelo (IMM) fue de 174 mm.

DISCUSIÓN

Tanto los cultivos comerciales como los experimentales se realizan en periodos menores a un año, de hecho los cultivos de camarón rara vez sobrepasan los seis meses

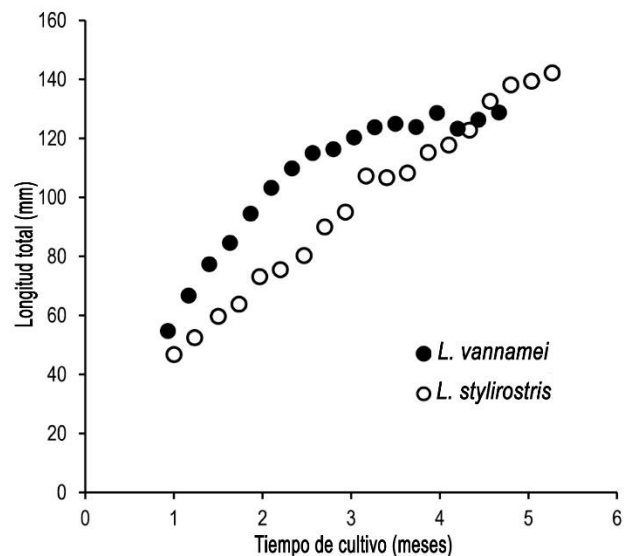


Figura 2. Datos de longitud promedio al tiempo de cultivo para las dos especies analizadas. Nótese que los crecimientos de ambas especies se comportan diferentes siendo el mismo medio ambiente.

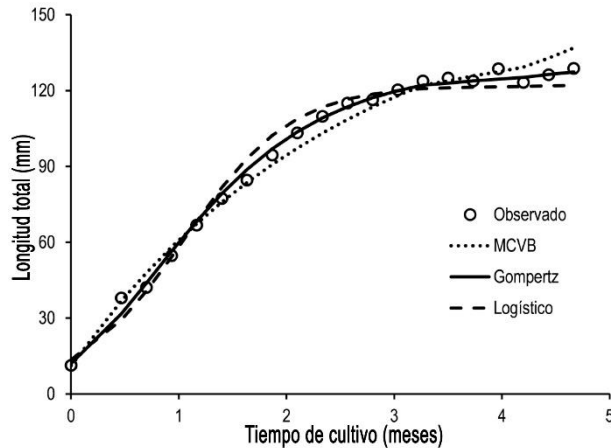


Figura 3. Curvas de crecimiento generadas para los tres modelos aplicados a datos de longitud promedio de acuerdo al tiempo de cultivo en *Litopenaeus vannamei*.

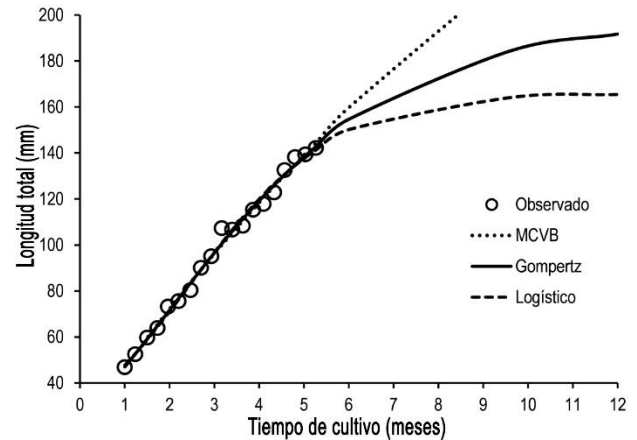


Figura 4. Curvas de crecimiento generadas para los tres modelos aplicados a datos de longitud promedio de acuerdo al tiempo de cultivo de *Litopenaeus stylirostris*.

antes de cosechar el producto. La talla determinada en camarón blanco cultivado durante 12 semanas fue de ~130 mm (Andriantahina *et al.*, 2013). Para un cultivo en el que se varió la densidad de siembra de 15 a 65 camarones m^{-2} y desarrollado durante diez semanas se obtuvo una talla final de 120-130 mm (Sookying *et al.*, 2011). En un estudio donde se cultivaron los camarones para obtener reproductores, las tallas obtenidas a 6 y 12 meses fueron 152 y 172 mm para hembras, y 142 y 166 mm para machos, respectivamente (Ceballos-Vázquez *et al.*, 2010). En este estudio la talla final de camarón blanco fue de 128 mm en 140 días de cultivo y se puede considerar dentro del crecimiento esperado y obtenido en otros estudios.

Para el camarón azul se obtuvo una talla final de 142 mm en 158 días de cultivo. En el caso de esta especie, Pusceddu *et al.* (2011) cosecharon camarones de 140 mm en 122 días de cultivo. Acosta-Ruiz *et al.* (2011) hicieron su experimento tan sólo por 5 semanas y obtuvieron 52 mm de longitud total. En el presente estudio se lograron 59 mm a las cinco semanas de cultivo. Al igual que con camarón blanco, en este estudio el crecimiento de camarón azul está dentro del crecimiento esperado.

Es importante señalar que el valor de longitud así como la curva que describe el crecimiento promedio del camarón blanco, representa las dimensiones corporales hacia las que tiende *L. vannamei* en los sistemas lagunares o estuarinos, antes de emigrar a mar abierto para completar su ciclo de vida. Este parámetro de crecimiento es muy similar al encontrado por Rivera-Velázquez *et al.* (2010) y Ramos Cruz (2000) en lagunas costeras de Pacífico mexicano. Sin embargo, los valores estimados en los estudios de campo fueron ajustados a la función de crecimiento de von Bertalanffy (MCVB).

Tabla 1. Valores de AIC, Δ_i , W_i obtenidos de los modelos ajustados con los datos promedios de longitud a la edad, para camarón blanco y azul. AIC: Criterio de información de Akaike, Δ_i : diferencias entre AICc de cada modelo y el AICc mínimo, W_i : peso de evidencia.

Especie	Modelo	AIC	Δ_i	W_i
<i>L. vannamei</i>				
	Gompertz	95.28	0	89.9
	Logístico	99.66	4.38	10.1
	MCVB	120.16	24.89	0
<i>L. stylirostris</i>				
	Gompertz	95.55	0	48
	MCVB	95.76	0.22	32
	Logístico	97.05	1.5	20

Lo importante de los estudios previos, tanto de campo como de cultivo, es que demuestran que el crecimiento obtenido en el presente estudio está dentro de lo esperado y se pueden considerar resultados confiables para el propósito de la presente investigación.

Según el valor obtenido de AIC, se encontró el modelo de Gompertz como el mejor, mientras que el menos compatible fue el MCVB en el caso del camarón blanco. En el caso del camarón azul, el modelo Logístico como el MCVB puede ser considerado adecuado para describir su crecimiento (Burnham & Anderson, 2002). Aunque el MCVB es el más estudiado y comúnmente aplicado entre todos modelos de longitud a la edad, su uso como el único modelo de crecimiento no está bien soportado en el caso de camarón blanco. Con respecto a otros estudios en diferentes especies de camarón tampoco se seleccionó el MCVB como el mejor para describir su crecimiento (Montgomery *et al.*, 2010; Ahamed & Ohtomi, 2012). En otras especies sujetas a explotación el resultado ha

sido similar; Baer *et al.* (2011) concluyeron que el MCVB no es el modelo óptimo para calcular el crecimiento del pez plano (*Psetta maxima*). Resultados similares fueron encontrados por Flores *et al.* (2010) en el erizo de mar (*Loxechinus albus*). Una crítica completa de la aplicación *a priori* del MCVB en el callo de hacha *Pinna nobilis* se puede consultar en Katsanevakis (2007). En el caso del camarón azul en el presente estudio se encontró que los tres modelos Gompertz, MCVB y Logístico fueron seleccionados como buenos modelos (en ese orden jerárquico).

La forma de crecimiento de ambas especies debe ser sigmoidea ya que el mejor modelo en ambos casos fue el de Gompertz. Los estudios en lagunas costeras con camarón blanco solo han ajustado el MCVB, que representa una curva exponencial invertida, sin que necesariamente sea la verdadera forma en que crece el camarón blanco. Simplemente, no se ajustó otro modelo porque los objetivos de los estudios tanto de Rivera-Velázquez *et al.* (2010), como Ramos-Cruz (2000) fueron motivados por razones de manejo pesquero y no de interés en una descripción de comportamiento biológico. Los estudios de biología pesquera obvian el uso de otros modelos de crecimiento por que el MCVB es un sub-modelo de otros modelos de manejo pesquero. Es importante resaltar que solamente se está abordando una parte del ciclo total del camarón, pues tanto en estuarios como en cultivos de menos de seis meses el camarón no ha alcanzado su etapa adulta ni su madurez.

Lo anterior es más evidente en el caso de camarón azul donde a los 158 días de cultivo su crecimiento aún mostraba la fase de crecimiento lineal, por esa razón y de acuerdo al criterio propuesto por Burnham & Anderson (2002), cualquiera de los tres modelos puede ser utilizado para representar el crecimiento de *L. stylirostris*. De hecho, en el caso particular del crecimiento de camarón azul se probó un cuarto modelo, el potencial y resultó con el mejor ajuste (AIC = -43). El modelo potencial describe un crecimiento infinito sin restricciones, y eso no es una hipótesis realista. En la práctica, el crecimiento está limitado por los recursos disponibles (espacio, alimento y la competencia por ellos). Por esa razón se propuso un modelo que contenga un término de auto limitación (asintótico). Es necesario mencionar que el modelo potencial fue elegido con el valor de AIC tan bajo que los Δ_i de los restantes tres modelos fueron superiores a 30 y el valor de ponderación de Akaike fue de 100% para el modelo potencial. Indudablemente, la conclusión para camarón azul es que se cultivó en condiciones en que aún no se alcanzaron las limitaciones para su crecimiento y que la etapa analizada puede ser solo una fracción del ciclo total de la especie.

Está claro que este nuevo enfoque estadístico basado en la teoría de la información se ha vuelto cada vez más popular en la inferencia matemática, pero es muy reciente en estudios biológico-pesqueros, donde ha sido usado al menos durante una década. A pesar de ello, Mundry (2011) sugiere usarlo con precaución en estudios de ecología y propone una mezcla de la utilización de pruebas de hipótesis nula y criterios de teoría de información en circunstancias específicas. Por lo tanto, se espera que en los estudios pesqueros (especialmente en especies acuáticas tropicales), el uso de AIC se convierta en una herramienta común en la selección de modelos, pero todavía se pueden utilizar pruebas de hipótesis nula con suficiente justificación.

La conclusión de este estudio es que la forma de crecimiento de ambas especies debe ser sigmoidea. Sin embargo, se debe aclarar que en camarón blanco sí se pudo demostrar con mucha seguridad, pero que faltaría un periodo más largo de datos de longitud a la edad en camarón azul para incrementar la probabilidad de este resultado.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio forma parte del programa de ordenamiento pesquero del noroeste de México. El autor recibió financiamiento del proyecto CIBNOR EP0.01. Edgar Alcántara-Razo del Laboratorio de Ecología Aplicada y Pesquerías de la Unidad Sonora del CIBNOR mejoró las figuras. Se agradece a los revisores anónimos que hicieron importantes mejoras al manuscrito.

REFERENCIAS

- Acosta-Ruiz, M.J., J. Paniagua-Michel, J. Olmos-Soto & E. Paredes-Escalona. 2011. Primer registro de la utilización de harinas de *Salicornia bigelovii* y *Scomber japonicus* en dietas prácticas para el cultivo súper-intensivo de camarón *Litopenaeus stylirostris*. Lat. Am. J. Aquat. Res., 39(3): 409-415.
- Ahamed, F. & J. Ohtomi. 2012. Growth patterns and longevity of the pandalid shrimp *Plesionika izumiae* (Decapoda: Caridea). J. Crustacean Biol., 32(5): 733-740.
- Alfaro-Montoya, J. 2010. The reproductive conditions of male shrimps, genus *Penaeus*, sub-genus *Litopenaeus* (open thelyca penaeoid shrimps): a review. Aquaculture, 300: 1-9.
- Andriantahina, F., X. Liu, H. Huang & J. Xiang. 2013. Selection for growth performance of tank-reared Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Chin. J. Oceanol. Limnol., 31(3): 534-541.
- Aragón-Noriega, E.A. 2013. Modelación del crecimiento individual del callo de hacha *Atrina maura* (Bivalvia:

- Pinnidae) a partir de la inferencia multi modelo. Rev. Biol. Trop., 61(3): 1167-1174.
- Ansah, Y.B. & E.A. Frimpong. 2015. Using model-based inference to select a predictive growth curve for farmed tilapia. N. Am. J. Aquacult., 77(3): 281-288.
- 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. Aquacult. Int., 19: 497-511.
- Burnham, K.P. & D.R. Anderson. 2002. Model selection and multi-model inference: a practical information-theoretic approach. Springer, Nueva York, 488 pp.
- Ceballos-Vázquez, B.P., E. Palacios, J. Aguilar-Villavicencio & I.S. Racotta. 2010. Gonadal development in male and female domesticated white leg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in relation to age and weight. Aquaculture, 308: 116-123.
- Chávez, E.A. 1973. Estudio sobre la tasa de crecimiento del camarón blanco (*Penaeus vannamei* Boone) de la región sur del Golfo de California. Ciencia, Mex., 28(2): 79-85.
- 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. J. Shellfish Res., 31(3): 725-732.
- Del Valle, I. & P. Martin. 1995. Interannual variation in the catch and mean length of penaeid shrimp in the lagoons and coastal waters of Sinaloa, NW Mexico, and their possible link with environmental factors. ICES Mar. Sci. Symp., 199: 370-378.
- Ebert, T.A., J.D. Dixon, S.C. Schroeter, P.E. Kalvass, N.T. Richmond, W.A. Bradbury & D.A. Woodby. 1999. Growth and mortality of red sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus*) across a latitudinal gradient. Mar. Ecol. Prog. Ser., 190: 189-209.
- 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. Mar. Biol., 157: 967-977.
- Haddon, M. 2001. Modelling and quantitative methods in fisheries. Chapman & Hall/CRC, New York, 406 pp.
- Karkach, A.S. 2006. Trajectories and models of individual growth. Demogr. Res., 15: 347-400.
- Katsanevakis, S. 2006. Modelling fish growth: model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. Fish. Res., 81: 229-235.
- Katsanevakis, S. 2007. Growth and mortality rates of the fan mussel *Pinna nobilis* in Lake Vouliagmeni (Korinthiakos Gulf, Greece): a generalized additive modeling approach. Mar. Biol., 152: 1319-1331.
- Katsanevakis, S. & D. Maravelias. 2008. Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to *a priori* using von Bertalanffy equation. Fish Fish, 9: 178-187.
- Montgomery, S.S., C.T. Walsh, M. Haddon, C.L. Kesby & D.D. Johnson. 2010. Using length data in the Schnute Model to describe growth in a metapenaeid from waters off Australia. Mar. Freshwater Res., 61: 1435-1445.
- Mundry, R. 2011. Issues in information theory-based statistical inference a commentary from a frequentist's perspective. Behav. Ecol. Sociobiol., 62: 57-68.
- Pérez-Velázquez, M., M.L. González-Félix, D.A. Davis, L.A. Roy & X. Zhu. 2013. Studies of the thermal and haline influences on growth and survival of *Litopenaeus vannamei* and *Litopenaeus setiferus*. J. World Aquacult. Soc., 44(2): 229-238.
- Pusceddu, A., L. Della-Patrona & B. Beliaeff. 2011. Trophic status of earthen ponds used for semi-intensive shrimp (*Litopenaeus stylirostris* Stimpson, 1874) farming in New Caledonia (Pacific Ocean). Mar. Environ. Res., 72: 160-171.
- Ramos-Cruz, S. 2000. Composición por tallas, edad y crecimiento de *Litopenaeus vannamei* (Natantia: Penaeidae), en la laguna Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, Mexico. Rev. Biol. Trop., 48(4): 873-882.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Fish. Res. Bd. Can. Bull., 191: 1-382.
- Rivera-Velázquez, G., I. Salgado-Ugarte, L. Soto & E. Naranjo. 2010. Un estudio de caso en el análisis de la distribución de frecuencias de tallas de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) mediante el uso de estimadores de densidad por Kernel. Lat. Am. J. Aquat. Res., 38(2): 201-209.
- Schnute, J. & K. Groot. 1992. Statistical analysis of animal orientation data. Anim. Behav., 43: 15-33.
- Sookying, D., F.S.D. Silva, D.A. Davis & T.R. Hanson. 2011. Effects of stocking density on the performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* cultured under pond and outdoor tank conditions using a high soybean meal diet. Aquaculture, 319: 232-239.
- Suresh, A.V., K.P. Kumaraguru-Vasagam & S. Nates. 2011. Attractability and palatability of protein ingredients of aquatic and terrestrial animal origin, and their practical value for blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* fed diets formulated with high levels of poultry byproduct meal. Aquaculture, 319: 132-140.
- Von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries of growth laws II). Hum. Biol., 10(2): 181-213.
- Von Bertalanffy, L. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. Quart. Rev. Biol., 32(3): 217-231.