

Modelos múltiples para determinar el crecimiento de organismos juveniles de jaiba azul *Callinectes arcuatus* en cautiverio

Guillermo Rodríguez-Domínguez^{*,**Δ}, Sergio G. Castillo-Vargasmachuca^{***}, Jorge S. Ramírez-Pérez^{****}, Raúl Pérez-González^{****} y Eugenio Alberto Aragón-Noriega^{*****}

Se utilizó el enfoque multimodelo para seleccionar el que mejor describa el crecimiento de organismos juveniles de la jaiba azul *Callinectes arcuatus* en cultivo utilizando como candidatas cinco casos del modelo de Schnute y el modelo oscilatorio (MOVB) de Somers. A pesar de la naturaleza oscilante de los datos de crecimiento en ambos sexos, el MOVB no tuvo un adecuado soporte en los datos. El mejor modelo en los machos fue el caso 3, mientras que en las hembras fue el caso 1. El índice de Akaike penaliza con mayor severidad el MOVB porque requiere estimar cinco parámetros, mientras que en los mejores modelos se estimaron cuatro y dos parámetros. Seleccionar *a priori* el modelo de von Bertalanffy para describir el crecimiento de organismos juveniles de *C. arcuatus* tendría como consecuencia estimados irreales de ancho de cefalotórax (AC) máximo. Pero tampoco los mejores modelos estimados son útiles para estimar este parámetro porque sólo se incluyen ejemplares juveniles en el análisis. Los resultados acerca del mejor modelo obtenidos en este estudio sólo son aplicables para el intervalo de 25 a 80 mm de AC.

Palabras clave: *Callinectes arcuatus*, crecimiento, selección de modelo, inferencia multimodelo.

Multi-models to determine growth of blue crab *Callinectes arcuatus* juveniles in captivity

A multi-model approach was used for select the best growth model for juvenile blue crab *Callinectes arcuatus* under culture conditions. Five variations of Schnute model and the oscillatory model (MOVB) of Somers were used as candidate models. Despite the oscillatory nature of growth data, the MOVB was not an adequate support for the data. The best models were case 1 for females, and case 3 for males. Akaike penalizes more severely the MOVB than other candidate models because it required estimating five parameters instead of four or two parameters for cases 1 and 3. The consequences of selecting *a priori* the von Bertalanffy model to describe the growth of juvenile *C. arcuatus* may be an unrealistic estimation of maxim carapace width (AC). However, neither the best fitted models are useful for estimating this parameter because only juveniles were included in the analyses. The best models fitted to data are not useful for estimation of this parameter, because only growth of immature crabs were considered. The best model adjusted to growth data of immature blue crabs are only valid for estimates of growth between sizes from 25 to 80 mm AC.

Key words: *Callinectes arcuatus*, growth, model selection, multi-model inference.

* Centro Regional de Investigación Pesquera - Mazatlán. Instituto Nacional de Pesca. SAGARPA. Calzada Sábalo-Ceritos s/n, Estero El Yugo, AP 177 Mazatlán, Sin., México. guirodom@uas.edu.mx

** Posgrado, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. Paseo Claussen s/n, Mazatlán, Sinaloa. 82000, México.

*** Posgrado en Ciencias Biológicas Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit, Carretera Tepic-Compostela km 9 Xalisco, Nayarit. 63780, México.

**** Laboratorio Manejo de Zona Costera, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Paseo Claussen s/n, Mazatlán, Sinaloa 82000, México

***** Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Unidad Sonora, Km 2.35 Camino al Tular, Estero de Bacochibampo, Guaymas, Sonora. 85454, México.

Introducción

El modelo de von Bertalanffy (VBM) (von Bertalanffy 1938) ha sido, hasta ahora, el más usado en biología pesquera para describir el crecimiento de cualquier especie acuática (Katsanevakis 2006, Katsanevakis y Maravelias 2008). Pitcher y MacDonald (1973) y Pauly y Gaschütz (1979) le añadieron dos parámetros más para describir un crecimiento oscilatorio debido a variaciones en la tasa de crecimiento asociadas a condiciones ambientales. Posteriormente, Somers (1988) introdujo una nueva modificación al modelo

oscilatorio para corregir la limitación de que la oscilación estacional inicie en el parámetro t_0 de los modelos precedentes.

Otros modelos utilizados para describir el crecimiento son los propuestos por Gompertz (1825), Schnute-Richards (1990) y el Logístico de Richter. Schnute (1981) presentó un modelo más versátil y generalizado con parámetros estadísticamente estables y que incluye, como casos especiales, los otros modelos históricos. De los cuatro casos especiales de este modelo, pueden generarse al menos ocho curvas de crecimiento diferentes, dependiendo de los parámetros a y b . Dos de estas ocho curvas son sigmoidales y una más representa periodos de aceleramiento y desaceleramiento del crecimiento, similar a lo que sucede con el modelo de crecimiento oscilatorio de von Bertalanffy (MOVB). El crecimiento oscilatorio también pueda modelarse con la versión de Schnute (1981), especialmente si los datos pertenecen a un segmento del ciclo de vida de un organismo. La ventaja comparativa principal del modelo de Schnute (1981) consiste en que como máximo se estiman cuatro parámetros, en tanto que el MOVB funciona con cinco parámetros.

El proceso regular de modelar el crecimiento de una especie consiste en seleccionar *a priori* un modelo, por lo general el de von Bertalanffy y ajustarlo a los datos (Katsanevakis 2006, Katsanevakis y Maravelias 2008). Otra alternativa, que se ha extendido recientemente, es ajustar un conjunto de modelos candidatos a los datos y entonces usar la teoría de la información para seleccionar como el mejor modelo aquel con el menor índice del criterio de información de Akaike (AIC), más robusto que el usado tradicionalmente (Akaike 1981, Burnham y Anderson 2002). Cuando los datos soportan evidencia para ajustar más de un modelo, es posible construir un modelo promedio de los mejores ajustes, o incluso de todos los modelos candidatos como mejor alternativa para describir el crecimiento de una especie (Katsanevakis y Maravelias 2008), lo cual es conocido como inferencia multimodelo (IMM).

Estudios previos de crecimiento de *Callinectes arcuatus* (Ordway 1863) han utilizado *a priori* el modelo de von Bertalanffy tradicional (Quijano-Fernández 1985, Salgado-Mejía *et al.* 1994, Gil-López y Sarmiento-Náfate 2001, Salazar *et al.*

2003, Fischer y Wolff 2006, Hernández-Moreno y Arreola-Lizárraga 2007, Ramos-Cruz 2008). El crecimiento de *C. bellicosus*, especie en simpatría con *C. arcuatus* en las costas de Sinaloa, fue abordado por Rodríguez-Domínguez *et al.* (2012) usando el enfoque de selección multimodelo e IMM. Estos autores encontraron que el mejor modelo para describir el crecimiento de las hembras de esta especie fue el de von Bertalanffy tradicional; pero en los machos, el mejor modelo fue el de Schnute (1981). Estas diferencias entre sexos fueron explicadas por la muda terminal en la madurez de las hembras y, por tanto, del crecimiento, en contraste con el crecimiento continuo de los machos.

En este trabajo se aplicó la selección de modelo y la IMM usando la teoría de la información para evaluar si el modelo de Schnute puede describir mejor que el MOVB, el crecimiento de juveniles cultivados de jaibas azules *C. arcuatus*, que mostraron una evidente desaceleración del crecimiento durante la temporada de invierno y representan un caso clásico para el MOVB.

Materiales y métodos

Los datos comprenden el promedio y la desviación estándar de ancho de cefalotórax (AC) de jaibas azules *C. arcuatus* cultivadas en estanques de concreto durante 5.5 meses a partir de juveniles de 21 mm de AC y muestreadas cada 15 días. Los detalles del cultivo se describen en Astorga-Enciso y Chávez-Padilla (2001). Para el cultivo se colectaron megalopas de braquiuros del medio silvestre, que se alimentaron en laboratorio y después de 15 días se separaron los juveniles de jaiba azul de los cangrejos. Así, a los juveniles de 21 mm se les asignó una edad relativa de 0.041 años (15/365 días) y con base en esta edad inicial se asignó la edad de las jaibas muestreadas durante el cultivo. A estos datos de edad-AC promedio se ajustaron seis modelos candidatos; el modelo de Schnute (1981) en sus cuatro casos más un caso especial equivalente al modelo de von Bertalanffy, además del MOVB propuesto por Somers (1988).

Los cinco casos del modelo de Schnute (1981) son:

Caso 1, $a \neq 0$ and $b \neq 0$

$$Y(t) = \left[Y_1^b + (Y_2^b - Y_1^b) \frac{1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} \right]^{\frac{1}{b}} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y t_i - \bar{Y} \bar{t}_i)^2}{n}}$$

cuando se asumió error aditivo y

Caso 2, $a \neq 0$ and $b = 0$

$$Y(t) = Y_1 \exp \left[\log \left(\frac{Y_2}{Y_1} \right) \frac{1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} \right] \quad \text{Ec. 2}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\ln \left(\frac{Y t_i}{\bar{Y} \bar{t}_i} \right) \right)^2}{n}}$$

cuando se asumió error multiplicativo.

Caso 3, $a = 0$ and $b \neq 0$

$$Y(t) = \left[Y_1^b + (Y_2^b - Y_1^b) \frac{t - \tau_1}{\tau_2 - \tau_1} \right]^{\frac{1}{b}} \quad \text{Ec. 3}$$

Para comparar los modelos candidatos se calculó AIC corregido para muestras pequeñas para cada modelo con:

Caso 4, $a = 0$ and $b = 0$

$$Y(t) = Y_1 \exp \left[\log \left(\frac{Y_2}{Y_1} \right) \frac{t - \tau_1}{\tau_2 - \tau_1} \right] \quad \text{Ec. 4}$$

$$AIC = 2(\theta - LL) + (2\theta(\theta + 1)/(n - \theta - 1)) \quad \text{Ec. 8}$$

Donde: LL es la máxima log-verosimilitud, n es el número de observaciones, θ es el número de parámetros estimados en cada modelo candidato.

Caso 5, $a = 0$ and $b = 1$

$$Y(t) = \left[Y_1 + (Y_2 - Y_1) \frac{1 - e^{-a(t-\tau_1)}}{1 - e^{-a(\tau_2-\tau_1)}} \right] \quad \text{Ec. 5}$$

El modelo con el menor AIC fue elegido como el mejor entre ellos. Igual procedimiento se utilizó para seleccionar la mejor estructura de error. Cuando se asumió error multiplicativo después de ajustar los modelos a los datos, se volvió a estimar σ con error aditivo y los correspondientes valores de LL y AIC pero sólo con el fin de comparar los AIC en la misma escala, ya que el error multiplicativo se estima en escala logarítmica.

El MOVb es:

$$Yt = Y_{\infty} * (1 - e^{(-k(t-t_0) - S(t) + S(to))}) \quad \text{Ec. 6}$$

$$\text{con } S(t) = \left(\frac{ck}{2\pi} \right) \text{sen}(2\pi(t - ts)) y$$

$$S(to) = \left(\frac{ck}{2\pi} \right) \text{sen}(2\pi(to - ts))$$

Donde: $Y(t)$ es AC a la edad t , Y_1 y Y_2 son AC al inicio y final del intervalo de tiempo, a 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_{∞} es el AC máximo que puede alcanzar la especie, k es un parámetro relacionado con la tasa de crecimiento, c es un parámetro de la amplitud de la oscilación, ts es el punto en el tiempo donde empieza la oscilación y t_0 es un parámetro de ajuste.

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

$$LL = \left(-\frac{n}{2} \right) * (\ln(2\pi) + 2\ln(\sigma) + 1) \quad \text{Ec. 7}$$

por medio de un procedimiento iterativo con el algoritmo de Newton (Neter *et al.* 1996).

La solución analítica de σ fue estimada con:

Para evaluar la plausibilidad de cada modelo, dados los datos y el conjunto de modelos candidatos, se estimó el peso de AIC (PAIC) para cada modelo con:

$$PAIC_i = \frac{e^{-0.5(AIC_i - AIC_{menor})}}{\sum_{i=1}^n e^{-0.5(AIC_i - AIC_{menor})}} \quad \text{Ec. 9}$$

El $PAIC_i$ es considerado como el peso de evidencia a favor del modelo i de todos los modelos candidatos (Akaike 1981, Burnham y Anderson 2002, Buckland *et al.* 1997).

El modelo promedio fue estimado con

$$\overline{AIC}_i = \sum_{m=1}^a PAIC_m * AIC_{im} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde: \overline{AIC}_i = es el ancho de cefalotórax de la edad i en el modelo promedio, $PAIC_m$ = es el peso de Akaike del modelo m , AIC_{im} = es el ancho de cefalotórax estimado para la edad i por el modelo m , a = es el número de modelos candidatos considerados.

Resultados

El AC promedio y sus intervalos de confianza a 95% para cada fecha de muestreo de las jaibas separadas por sexo se muestran en la *figura 1*. En las tres primeras quincenas de cultivo se observó un crecimiento sostenido de $21 \text{ mm} \cdot \text{mes}^{-1}$ en ambos sexos, durante las siguientes cinco quincenas la tasa de crecimiento disminuyó a $10.8 \text{ mm} \cdot \text{mes}^{-1}$ en hembras y a $8 \text{ mm} \cdot \text{mes}^{-1}$ en los machos y en las últimas tres quincenas del cultivo, la tasa se aceleró otra vez a $12.13 \text{ mm} \cdot \text{mes}^{-1}$ en hembras y a $15.3 \text{ mm} \cdot \text{mes}^{-1}$ en machos.

Después de ajustar los modelos a los datos, el error aditivo fue el mejor en ambos sexos; sin embargo, el mejor modelo difirió entre sexos: el caso 1 de Schnute para hembras y el caso 3 de Schnute para los machos (Tabla 1). En las hembras, la plausibilidad del caso 1 de Schnute fue de 75.21%, seguido por el caso 3 con 17%, ya que la diferencia de AIC con el menor fue de casi tres unidades (Tabla 2). Los demás modelos, incluido el MOVb, tuvieron bajo o nulo soporte en los datos, ya que la diferencia de Akaike con el caso 1 fue de más de cinco. En los machos, la plausibilidad del mejor modelo fue de 41.5% y el caso 5 de Schnute también tuvo un soporte importante en los datos, con una diferencia de AIC con el caso 3 de menos de uno y una plausibilidad de 26.75%. Con un menor soporte estuvieron los casos 1 y 2 de Schnute, ya que la diferencia de AIC con el mejor modelo fue de un poco menos de tres. El MOVb nuevamente presentó bajo soporte en los datos de crecimiento de machos de jaiba azul con 8.5% de plausibilidad.

Sin embargo, no obstante las diferencias numéricas de los umbrales de referencia, al comparar gráficamente el MOVb con el modelo promedio de crecimiento de la jaiba azul *C. arcuatus*, se observó que en las curvas de crecimiento de

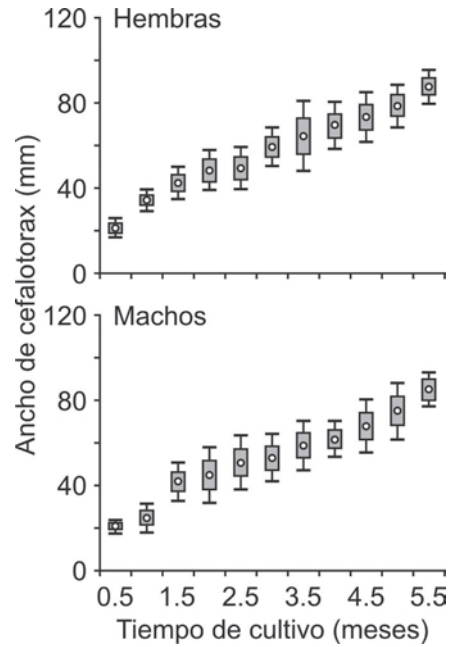


Fig. 1. Tallas promedio e intervalos de confianza de jaibas azules *Callinectes arcuatus* durante un periodo de cultivo de 5.5 meses.

las hembras, los dos modelos son prácticamente idénticos, y en los machos, aunque hay diferencias entre ambas curvas, éstas son mínimas (Fig. 2).

Discusión

A pesar de la naturaleza oscilante de los datos de crecimiento de la jaiba azul obtenidos en el cultivo, en términos comparativos el MOVb no tuvo un buen soporte en los datos de acuerdo con el índice de información de Akaike. Esto podría explicarse por la falta de ejemplares adultos de tallas y edades cerca del valor máximo para que el modelo tuviera información sobre la fase asintótica del crecimiento que incluye el MOVb. Sin embargo, en los machos, el caso 5 de Schnute

Tabla 1

AIC por modelo candidato y por tipo de error asumido después de ajustar a los datos de cultivo de jaiba azul *Callinectes arcuatus* separados por sexos y por modelo mejor ajustado

Sexo	Tipo de error	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	MOVb
Hembras	Aditivo	52.90*	61.13	55.87	69.70	58.02	62.44
	Multiplcativo	52.91	65.50	58.35	74.10	61.56	63.04
Machos	Aditivo	68.18	68.28	65.40*	70.57	66.28	68.61
	Multiplcativo	70.58	70.63	65.52	74.28	67.30	70.56

Tabla 2
Parámetros estimados para cada modelo candidato asumiendo error aditivo con sus respectivos valores de AIC y peso de Akaike

Sexo	Caso	y_1	y_2	a	b	AIC	ΔAIC	$PAIC_i$	
Hembras	1	20.98	86.17	-7.468	4.259	52.90	0.0	75.21**	
	2	25.65	84.03	3.932	0*	61.13	8.23	1.23	
	3	22.92	84.14	0*	1.598	55.87	2.97	17.07	
	4	32.58	89.88	0*	0*	69.70	16.80	0.02	
	5	24.27	84.34	1.343	1*	58.02	5.11	5.83	
		to	y_∞	k	c	s			
	MOVB	-0.0095	110.99	5.754	0.644	0.70	62.44	9.53	0.64
Machos	1	20.19	82.20	-6.219	3.534	68.18	2.78	10.33	
	2	23.91	80.50	3.523	0*	68.28	2.88	9.8	
	3	21.16	80.31	0*	1.469	65.40	0.00	41.45**	
	4	29.769	85.80	0*	0*	70.57	5.17	3.13	
	5	22.403	80.68	0.966	1*	66.28	0.88	26.75	
		to	L_∞	k	c	s			
	MOVB	-0.0125	1283.5	0.286	0.74	0.75	68.61	3.21	8.34

* valor asumido, ** mejor modelo.

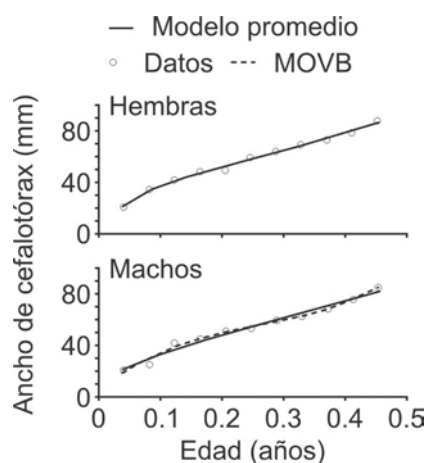


Fig. 2. Modelo de crecimiento promedio y el modelo oscilatorio de von Bertalanffy ajustado a los datos de crecimiento de machos y hembras de jaibas azules *Callinectes arcuatus*, en condiciones de cultivo.

(1981), que es equivalente al del modelo de von Bertalanffy tradicional (asintótico), tuvo buen soporte en los datos, pero no así el MOVB. Al comparar gráficamente el modelo de crecimiento descrito por el MOVB y el modelo promedio se puede observar que las diferencias son mínimas en ambos sexos, en particular en las hembras; sin embargo, la diferencia del AIC del MOVB con respecto al mejor modelo fue mayor de 3, indicando un pobre soporte de este modelo y que se reflejó

en una plausibilidad de 8% en los machos y de menos de 1% en las hembras. La explicación radica en que el AIC penaliza más rigurosamente el MOVB que a los otros modelos porque requiere la estimación de cinco parámetros, mientras que en el de Schnute (1981) se estiman de dos a cuatro parámetros como máximo, dependiendo del caso.

Al ajustar el modelo de von Bertalanffy tradicional a datos de crecimiento de juveniles de esta especie resultaron en un estimado de ancho de cefalotórax máximo $AC_\infty = 162$ mm en hembras y $AC_\infty = 200$ mm en machos, lo que es irreal. Las máximas tallas registradas de *C. arcuatus* no son mayores de 145 mm de AC (Quijano-Fernández 1985, Salgado-Mejía *et al.* 1994, Gil-López y Sarmiento-Náfate 2001, Salazar *et al.* 2003, Fischer y Wolff 2006, Hernández-Moreno y Arreola-Lizárraga 2007, Ramos-Cruz 2008). Pero aun los mejores modelos encontrados no pueden ser utilizados para estimar un valor del parámetro de AC_∞ porque sólo se incluyeron juveniles en el análisis y cualquier extrapolación es incierta. Otro resultado interesante que resalta del análisis del crecimiento de la jaiba azul en el cultivo son las diferencias entre sexos, sobre el mejor modelo soportado por los datos. Hasta ahora el crecimiento de *C. arcuatus* había sido abordado exclusivamente con el modelo de von Bertalanffy (Quijano-Fernández 1985, Salgado-Mejía *et al.* 1994, Gil-López y Sarmiento-Náfate

2001, Salazar *et al.* 2003, Fischer y Wolff 2006, Hernández-Moreno y Arreola-Lizárraga 2007, Ramos-Cruz 2008), por lo que no existen antecedentes sobre otros modelos de crecimiento usados para describir el crecimiento de *C. arcuatus*, y los resultados de este estudio son los primeros en utilizar el enfoque multimodelo en esta especie. Sin embargo, Quijano-Fernández (1985) reportó tasas menores de crecimiento en las hembras con respecto a los machos de esta especie, lo que puede ser un primer indicio de diferencias que el modelo puede describir.

En *C. arcuatus*, las hembras crecen hasta la muda terminal cuando alcanzan su madurez sexual (Fischer y Wolff 2006), mientras que los machos continúan creciendo, tal y como sucede en otras especies del género *Callinectes* (Rodríguez-Domínguez *et al.* 2012). Estas diferencias en el crecimiento entre sexos podría ser la explicación a las que se presentan en los mejores modelos que describen el crecimiento en cada sexo, tal y como se reportó para *C. bellicosus* (Rodríguez-Domínguez *et al.* 2012). Sin embargo, en las hembras de *C. bellicosus* el mejor modelo ajustado a los datos de crecimiento fue el de von Bertalanffy (Rodríguez-Domínguez *et al.* 2012), que corresponde con el caso 5 de Schnute, y los autores explicaron que la naturaleza asintótica de este modelo describe de forma adecuada la muda terminal de las hembras que implica una talla máxima asintótica.

Evidentemente, ésta no puede ser la misma explicación para el mejor modelo estimado para *C. arcuatus*, que en este estudio fue el caso 1 de Schnute. Los resultados del enfoque multimodelo en *C. arcuatus* de este estudio son contradictorios con los del mismo enfoque realizado con *C. bellicosus* (Rodríguez-Domínguez *et al.* 2012). Aunque en ambos trabajos se eligieron modelos candidatos diferentes, la comparación se puede realizar en dos modelos; los casos 1 y 5 de Schnute corresponden con los modelos de Schnute y von Bertalanffy, respectivamente, utilizados en el análisis de crecimiento en *C. bellicosus*. En las hembras de *C. arcuatus*, el mejor modelo fue el caso 1 de Schnute, mientras que el caso 5 no tuvo soporte en los datos, como se evidencia en una diferencia de Akaike mayor de dos con el mejor modelo. En cambio, en las hembras de *C. bellicosus* sucedió al revés, pues el mejor fue el de von Ber-

talánffy y el de Schnute no tuvo soporte en los datos (Rodríguez-Domínguez *et al.* 2012). En el caso de los machos se presentó una situación similar, en *C. arcuatus*, el caso 5 (von Bertalanffy) estuvo soportado por los datos ($\Delta AIC < 2$), a pesar de no ser el mejor modelo; en tanto, el de Schnute no tuvo buen soporte en los datos ($\Delta AIC > 2$) y en *C. bellicosus* el resultado fue al revés. Estas diferencias pueden deberse a que en *C. bellicosus* los datos analizados incluyen juveniles y adultos, mientras que en este estudio de *C. arcuatus*, sólo se incluye a los juveniles. Por tal razón, los mejores modelos y los modelos promedio obtenidos en este trabajo sólo son válidos de aplicar en el intervalo de tallas de 25 a 80 mm de ancho de cefalotórax. Por lo expuesto hasta ahora, es posible que los mejores modelos puedan cambiar cuando se consideren de forma conjunta datos de juveniles y adultos de *C. arcuatus*.

Literatura citada

- AKAIKE H. 1981. Likelihood of a model and information criteria. *Journal of Econometrics* 16: 3-14.
- ASTORGA-ENCISO L y A Chávez-Padilla. 2001. Bioensayo experimental de cultivo de jaiba *Callinectes arcuatus* (Ordway 1863) en cautiverio. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México. 29p.
- BUCKLAND ST, KP Burnham y NH Augustin. 1997. Model selection: an integral part of inference. *Biometrics* 53: 603-618.
- BURNHAM KP y DR Anderson. 2002. *Model selection and multi-model inference: a practical information-theoretic approach*. Springer. New York. 488p.
- FISCHER S y M Wolff. 2006. Fisheries assessment of *Callinectes arcuatus* (Brachyura, Portunidae) in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Fisheries Research* 77(3): 301-311.
- GIL-LÓPEZ HA y S Sarmiento-Náfate. 2001. Algunos aspectos biológicos y pesqueros de las jaibas (*Callinectes* spp.) en el sistema lagunar Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas. Instituto Nacional de la Pesca. CRIP - Salina Cruz. 41p.
- GOMPERTZ B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life

- contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 115: 513-583.
- HADDON M. 2001. *Modelling and quantitative methods in fisheries*. Chapman and Hall. Boca Raton. 406p.
- HERNÁNDEZ-MORENO L y JA Arreola-Lizárraga. 2007. Estructura de tallas y crecimiento de los cangrejos *Callinectes arcuatus* y *C. bellicosus* (Decapoda: Portunidae) en la laguna costera Las Guásimas, México. *Revista de Biología Tropical* 55(1): 225-233.
- KATSANEVAKIS S. 2006. Modelling fish growth: Model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research* 81(2-3): 229-235.
- KATSANEVAKIS S y CD Maravelias. 2008. Modelling fish growth: Multi-model inference as a better alternative to *a priori* using von Bertalanffy equation. *Fish and Fisheries* 9(2): 178-187.
- NETER J, MH Kutner, J Nachtschien y W Wasserman. 1996. *Applied linear statistical models*. McGraw-Hill/Irwin. Chicago. 1408p.
- PAULY D y G Gaschütz. 1979. A simple method for fitting oscillating length growth data, with a program for pocket calculators. In Demersal Fish Committee, International Council for the Exploration of the Sea, Council Meeting No. 1979/G:24.
- PITCHER TJ y PDM Macdonald. 1973. Two models for seasonal growth in fishes. *Journal of Applied Ecology* 10(2): 599-606.
- QUIJANO-FERNÁNDEZ AD. 1985. Fecundidad y crecimiento en la jaiba *Callinectes arcuatus* (Ordway 1863), en el sur de Sinaloa, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 65p.
- RAMOS-CRUZ S. 2008. Estructura y parámetros poblacionales de *Callinectes arcuatus* (Ordway 1863) (Decapoda: Portunidae), en el sistema lagunar La Joya- Buenavista, Chiapas, México. Julio a diciembre de 2001. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 3(3): 259-268.
- RODRÍGUEZ-DOMÍNGUEZ G, S Castillo-Vargas-Machuca, R Pérez-González y EA Aragón-Noriega. 2012. Estimation of the individual growth parameters of the brown crab *Callinectes bellicosus* (Brachyura, Portunidae) using a multi-model approach. *Crustaceana* 85(1): 55-69.
- SALAZAR I, V Macías y A Ramos. 2003. Estudio biológico-pesquero para el manejo sustentable de la pesquería de jaiba *Callinectes bellicosus* (Stimpson 1859) y *C. arcuatus* (Ordway 1863) en las bahías de Topolobampo, Navachiste, Santa María-La Reforma, Ensenada el Pabellón-Altata y Ceuta, en las costas de Sinaloa, México. Periodo: enero de 1999 a diciembre de 2001. Instituto Nacional de la Pesca. Mazatlán. 42p.
- SALGADO-MEJÍA MM, F Ascencio y VC García. 1994. Algunos aspectos biológico-pesqueros de la jaiba *Callinectes arcuatus* en la Laguna de Cuyutlán, Colima. Instituto Nacional de la Pesca, CRIP - Manzanillo. *Boletín Informativo* 13(3): 15-27.
- SCHNUTE J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38(9): 1128-1140.
- SCHNUTE JT y LJ Richards. 1990. A unified approach to the analysis of fish growth, maturity, and survivorship data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 47: 24-40.
- SOMERS IF. 1988. On a seasonally oscillating growth function. *Fishbyte* 6: 8-11.
- VON BERTALANFFY L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology* 10(2): 181-213.

Recibido: 9 de mayo de 2013.

Aceptado: 27 de noviembre de 2013.