

Aplicación del enfoque multimodelo para la evaluación del crecimiento individual de la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* en el Alto Golfo de California

Edgar Arnoldo Arzola-Sotelo*

Se describe el crecimiento individual de la curvina golfina, *Cynoscion othonopterus*, en el Alto Golfo de California utilizando un enfoque multimodelo. Se trabajó con datos de una clave edad-talla reportada para la especie en la región. El crecimiento individual fue estimado por medio de cuatro modelos: von Bertalanffy, Gompertz, Logístico y Schnute. Los parámetros de cada modelo fueron calculados con el algoritmo de la suma de residuales cuadrados. Se obtuvieron los intervalos de confianza (IC 95%) para los parámetros de cada modelo con una prueba *t* de Student. El modelo con el mejor ajuste fue seleccionado con base en el criterio de información de Akaike (AIC_c). De acuerdo con éste y con los datos analizados, el modelo Logístico es el que describe mejor ($w_i = 99.92\%$) el crecimiento de *C. othonopterus* en el Alto Golfo de California. Los valores de los parámetros de ese modelo fueron $L_\infty = 772.2$ mm LT (769.4-774.9), $k_{anual} = 1.02$ (0.78-1.25) y $t_0 = 2.64$ (2.51-2.76). Se concluye que el uso del enfoque multimodelo y el criterio de información de Akaike representan un método robusto para la estimación de parámetros y para la selección de un mejor modelo de crecimiento en *C. othonopterus*.

Palabras clave: *Cynoscion othonopterus*, Alto Golfo de California, crecimiento individual, enfoque multimodelo.

Multi-model approach for individual growth evaluation of the Gulf corvina *Cynoscion othonopterus* in the Upper Gulf of California

Individual growth of the Gulf Corvina, *Cynoscion othonopterus*, in the Upper Gulf of California was described using a multi-model approach. Data used came from an age-length key reported for the species in this region. Individual growth was estimated using four models: von Bertalanffy, Gompertz, Logistic and Schnute. The parameters for each model were computed using the sum of residuals squared algorithm. Confidence intervals (CI 95%) were obtained for parameters in each model by means of a Student's *t*-test. The model with the best fit was selected using the Akaike's information criterion (AIC_c). According to this criterion and the analyzed data, the Logistic model best described ($w_i = 99.92\%$) the growth of *C. othonopterus* in the Upper Gulf of California. The values for Logistic model parameters were $L_\infty = 772.2$ mm (769.4-774.9), $k_{anual} = 1.02$ (0.78-1.25) and $t_0 = 2.64$ (2.51-2.76). In conclusion, the use of multi-model approach and the Akaike's information criterion represents a robust method for parameters estimation and provides better growth model selection in *C. othonopterus*.

Key words: *Cynoscion othonopterus*, Upper Gulf of California, individual growth, multi-model approach.

Introducción

La curvina golfina *Cynoscion othonopterus* Jordan y Gilbert 1882 es una especie de pez marino de la familia Sciaenidae, endémica del Golfo de California con gran importancia ecológica y pesquera en el Alto Golfo de California (CONAPESCA 2010). Este recurso representa la segunda pesquería de escama más relevante para la zona

y en general para todo el Golfo (Román-Rodríguez 2000¹). Es una de las pocas especies de peces cuya pesca está regulada en México por medio de la NOM-063-PESC-2005 (DOF 2007) y de la que se ha propuesto un plan de ordenamiento para su aprovechamiento sustentable (CONAPESCA

* Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Unidad Sonora. Km 2.35 Camino al Tular, Estero Bacochibampo, Guaymas, Sonora, México. CP 85454. edgar_aas@hotmail.com

1. ROMÁN-RODRÍGUEZ MJ. 2000. Estudio poblacional del chano norteño, *Micropogonias megalops* y la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* (Gilbert) (Pisces: Sciaenidae), especies endémicas del Alto Golfo de California, México. Instituto del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora. Informe final SNIB-CONABIO proyecto Núm. L298. México, DF. 143p.

2010). A pesar de ello, existe poca información actualizada relacionada con los aspectos biológicos de la especie. El crecimiento individual es una de las características ecológicas más importantes que se deben conocer de una población sujeta a aprovechamiento comercial (Mercier *et al.* 2011, Cruz-Vázquez *et al.* 2012). Se sabe que el crecimiento es uno de los parámetros clave en la evaluación de los *stocks* de peces, ya que es referencia para denotar la respuesta que éstos presentan con relación a las influencias ambientales y antropogénicas (Gherard *et al.* 2013).

La evaluación del crecimiento individual en *C. othonopterus* se ha efectuado con el modelo de von Bertalanffy (Román-Rodríguez 2000¹, Gherard *et al.* 2013) para el Alto Golfo de California. Aunque existen muchos modelos que describen el crecimiento de las especies marinas, el modelo de von Bertalanffy (MCVB) es el más usado por defecto e históricamente en pesquerías (Arkhipkin y Roa-Ureta 2005, Katsanevakis y Maravelias 2008). Este modelo puede ser inadecuado cuando se aplica en especies que no llegan a una asíntota con el incremento de la edad y su funcionamiento depende en gran medida de la calidad de datos y el tamaño de la muestra (Cailliet *et al.* 2006). Muchos de los estimados de crecimiento con el MCVB utilizan comúnmente muestras de las pesquerías comerciales, asumiendo que éstas representan toda la población (Barreto *et al.* 2011). Pero los estimados de los modelos de crecimiento se ven afectados por la ausencia de individuos muy jóvenes o muy viejos (Cailliet y Goldman 2004), dada por la selectividad de los artes pesca y sitios donde se opera (Solana-Sansores *et al.* 2012). Se sabe también que el crecimiento de los peces varía en las distintas etapas de su vida, debido a crisis o discontinuidad en desarrollo, madurez, cambios en el comportamiento o cambios en el hábitat (Ricker 1975). Por ello es necesario poner a prueba más de un modelo de crecimiento para evidenciar el que mejor describe los datos que se tienen a la mano (Burnham y Anderson 2002); sobre todo si se quieren expresar las características del crecimiento de la especie en términos cuantitativos, ya que sería imprudente y podría resultar contraproducente basar esta descripción en un sólo modelo (Cailliet *et al.* 2006). El alternar modelos de crecimiento provee evidencia de comparación

entre modelos o sus componentes (parámetros), para la subsecuente selección del mejor que justifique los datos (Beninger *et al.* 2012).

Dentro de los modelos puestos a prueba se debería elegir aquel que describa mejor el proceso de crecimiento en la especie. Desafortunadamente no es tan sencillo decidir cuál es el mejor descriptor del proceso, ya que los resultados estadísticos y la interpretación biológica pueden en ocasiones entrar en conflicto (Haddon 2001). Por ello que es necesario entender a cabalidad los procesos ecológicos y tener un pensamiento crítico. Asimismo, es necesario hacer uso de criterios de información para formarse un juicio fundamentado en la selección de modelos o parámetros (Beninger *et al.* 2012). En el presente estudio se realizó una evaluación del crecimiento individual de *C. othonopterus* a través de un enfoque multi-modelo, con el criterio de información de Akaike (AIC) para seleccionar, de los modelos candidatos, el que presenta mayor plausibilidad biológica y estadística (Burnham y Anderson 2002). Los modelos que se analizaron fueron el de von Bertalanffy, el de Gompertz, el Logístico y el de Schnute, por sus distintas características como tipo (asintótico, no asíntótico), forma de curva y complejidad dada por el número de parámetros. Con esto se pretende hacer un estimado de crecimiento más robusto para la especie, con relación a los realizados anteriormente. Las estadísticas de ajustes, confiabilidad y realidad biológica de los distintos modelos puestos a prueba evidenciará el modelo que mejor represente el crecimiento de la especie con base en los datos analizados.

Materiales y métodos

Para la evaluación del crecimiento individual de la curvina golfina *C. othonopterus* se utilizaron los datos de la tabla edad-talla de Román-Rodríguez (2000¹) para la especie en el Alto Golfo de California. Dicha información fue generada con base en la lecturas de otolitos de individuos muestreados en la pesca comercial, tanto artesanal como industrial, durante los años de 1997 a 1999 en la región (Tabla 1). Esta tabla presenta una interrupción de datos en los intervalos de tallas que van de 391-550 mm longitud total (LT).

Tabla 1

Clave edad-talla de la curvina golfina
Cynoscion othonopterus obtenida por Román-Rodríguez
(2000') en el Alto Golfo de California

Clase (mm)	Grupo de edad									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
141-150		1								1
151-160										0
161-170			1							1
171-180										0
181-190		1								1
191-200		3								3
201-210		5								5
211-220	1	1	1							3
221-230		3	3							6
231-240	1	3								4
241-250	1	3								4
251-260		1	1							2
261-270	2	6	1							9
271-280	1	5	1							7
281-290		5		1						6
291-300		3	1	1						5
301-310		5	2							7
311-320		3	2							5
321-330		4	3	1						8
331-340		4								4
341-350		5		2						7
351-360		3	1							4
361-370		1	2							3
371-380		1	1							2
381-390			2	1	1					4
<i>Interrupción de intervalos</i>										
551-560			1							1
561-570				1						1
571-580				1						1
581-590				1						1
591-600										0
601-610				3	2					5
611-620					2	1				3
621-630				2	3					5
631-640				2	2	1				5
641-650				6	6	1				13
651-660				4	1	4				9
661-670				3	5					8
671-680				1	13	4	3			21
681-690				2	8	7	1			18
691-700				5	10	6	1			22
701-710				5	11	10	3			29
711-720				4	11	12	1	1		29
721-730				7	8	19	3			37

Tabla 1 (continuación)

Clase (mm)	Grupo de edad									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
731-740				3	15	13	2			33
741-750				2	10	7	5		1	25
751-760				3	8	7	1	1		20
761-770				2	5	10	2			19
771-780				2	5	10	2			19
781-790					9	10	3			22
791-800					2	6	1			9
801-810					2	1	3			6
811-820					3	4	1			8
821-830				1	1					2
831-840						3	1			4
841-850					2	1	1			4
851-860						1				1
861-870										0
871-880										0
881-890										0
891-900										0
901-910										0
911-920							1			1
Total	6	66	23	66	145	139	34	2	1	482

Para la evaluación del crecimiento individual de *C. othonopterus* se hizo una inferencia multimodelo a partir de los valores de edad y tallas observadas, siguiendo la metodología descrita por Burnham y Anderson (2002). Los modelos empleados para el ajuste fueron elegidos con base en la cantidad de parámetros presentes en sus ecuaciones, forma y tipo de curva proyectada, así como en los distintos supuestos biológicos. Los modelos contemplados fueron el de von Bertalanffy (MCBV; von Bertalanffy 1938), el de Gompertz (Gompertz 1825), el Logístico (Ricker 1975) y el general de Schnute (Schnute 1981).

El MCVB (von Bertalanffy 1938), que es el más usado en pesquerías (Arkhipkin y Roa-Ureta 2005), asume que las condiciones ambientales son constantes (Araya y Cubillos 2006). Sostiene que el crecimiento en peces está condicionado a procesos fisiológicos y que es el resultado neto de dos procesos opuestos, el catabolismo y anabolismo (von Bertalanffy 1938). La curva del modelo presenta una forma exponencial inversa, es de tipo asintótica y tiene tres parámetros en su ecuación, que se relacionan de la siguiente manera:

$$L(t) = L_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad \text{Ec. 1}$$

El modelo de Gompertz ha demostrado que describe mejor el crecimiento absoluto de muchas especies acuáticas (Katsanevakis 2006) y es usado a menudo (Ricker 1975). Presenta una forma sigmoidea en su curva y asume un decremento exponencial de la tasa de crecimiento con relación a la edad (Katsanevakis y Maravelias 2008). El modelo es de tipo asintótico y presenta tres parámetros en su ecuación:

$$L(t) = L_{\infty}e^{-e^{-K(t-t_0)}} \quad \text{Ec. 2}$$

El Logístico (Ricker 1975) es un modelo que al igual que el de Gompertz, tiende a caracterizar bien el crecimiento cuando éste es relativamente lento en estadios tempranos de vida (Griffiths *et al.* 2010). Presenta una curva sigmoidea, es de tipo asintótico y presenta también tres parámetros en su ecuación:

$$L(t) = \frac{L_{\infty}}{(1 + e^{-K(t-t_0)})} \quad \text{Ec. 3}$$

En estos tres modelos, la L_t es longitud a la edad t . Se presenta la variable tiempo en años (t) y los mismos parámetros de crecimiento por estimar en sus ecuaciones, que son: L_{∞} , que es la longitud asintótica en mm; K es el coeficiente instantáneo de crecimiento (anual) y t_0 es la edad teórica (años) a la que el organismo tiene una longitud igual a cero.

El modelo general de Schnute (1981) presenta una curva versátil que permite hacer comparaciones de funciones de crecimiento, en las que se puede mostrar un crecimiento de tipo asintótico y no asintótico dependiendo del valor de los parámetros (Montgomery *et al.* 2010). La ecuación se describe de la siguiente manera:

$$L(t) = \left[Y_1^b + (Y_2^b - Y_1^b) \frac{1 - e^{-a(t-T_1)}}{1 - e^{-a(T_2-T_1)}} \right]^{\frac{1}{b}} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde T_1 es la edad más pequeña en los datos; T_2 es la edad más grande en los datos; a es la tasa relativa de crecimiento (equivalente a K en los modelos MCVB, Gompertz y Logístico); b es un incremento relativo en la tasa de crecimiento (incremento constante en tiempo); Y_1 es la talla

a la edad T_1 ; Y_2 es la talla a la edad T_2 . Los parámetros a estimar en el modelo son; a , b , Y_1 y Y_2 .

Los parámetros de los cuatro modelos utilizados fueron estimados a través de la minimización del estimador Suma de Residuales Cuadrados (SRC), asumiendo un error de tipo aditivo y siguiendo el algoritmo de Newton (Neter *et al.* 1996). El procedimiento hace un nuevo cálculo de valores, tanto del criterio de ajuste como de parámetros en los modelos. Esto se realiza por medio de iteraciones y aproximaciones sucesivas entre los valores observados y teóricos hasta encontrar el mejor ajuste (solver; Excel-Microsoft Office ®).

El valor del criterio de ajuste SRC fue obtenido con la suma de las diferencias cuadráticas de los valores observados y los valores teóricos de cada modelo con el uso de la siguiente ecuación:

$$SRC = \sum_{i=1}^n (Lt_{i_{obs}} - Lt_{i_{calc}})^2 \quad \text{Ec. 5}$$

Donde SRC es la suma de residuales cuadrados; $Lt_{i_{obs}}$ es la longitud al tiempo i para cada talla observada; $Lt_{i_{calc}}$ es la longitud al tiempo i para cada talla calculada. Una vez estimados los parámetros de crecimiento de cada uno de los modelos, se procedió a utilizar los valores de a , b , Y_1 y Y_2 del modelo de crecimiento de Schnute para calcular L_{∞} y t_0 (definida por Schnute como τ_0) con las siguientes ecuaciones (Schnute 1981):

$$\tau_0 = \tau_1 + \tau_2 - \frac{1}{a} \ln \left[\frac{e^{a\tau_2} Y_2^b - e^{a\tau_1} Y_1^b}{Y_2^b - Y_1^b} \right] \quad \text{Ec. 6}$$

$$L_{\infty} = \left[\frac{e^{a\tau_2} Y_2^b - e^{a\tau_1} Y_1^b}{e^{a\tau_2} - e^{a\tau_1}} \right]^{\frac{1}{b}} \quad \text{Ec. 7}$$

Para el estimado de estos parámetros del modelo con las ecuaciones 6 y 7, se asume que $a \neq 0$ y $b \neq 0$ (Schnute 1981).

Los intervalos de confianza de cada parámetro de crecimiento estimado (k) en los cuatro modelos fueron calculados con una prueba t de Student, que se describe de la siguiente manera:

$$I.C.(k) = k \pm t_{0.95, 2g.l.}(E.E.) \quad \text{Ec. 8}$$

Donde k es el valor del parámetro estimado (L_{∞} , K , t_0); $E.E.$ es el error estándar de cada parámetro

y t es el valor tabular de la prueba con un nivel de significancia de 0.05 con 2 grados de libertad.

Para la selección del mejor modelo de crecimiento se siguió el criterio de información de Akaike (AIC), contemplando los valores SRC y el número de parámetros de cada modelo (k). Después de esto, se realizó una corrección de los valores de AIC en cada uno de los modelos (AIC_c). Éste es un procedimiento para muestras pequeñas, donde el valor de n/k es menor a 40, pero que se recomienda realizar aunque el tamaño de la muestra sea grande (Burnham y Anderson 2002). La corrección de AIC para la curvina golfina se llevó a cabo a través de la siguiente ecuación:

$$AIC_c = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde para la suma de residuales cuadrados

$$AIC = n \left(\log \left(2\pi \frac{SRC}{n} \right) + 1 \right) + 2k \quad \text{Ec. 10}$$

Con base en los valores de AIC_c se identificó el valor mínimo y se determinó el valor de Δ_i para cada modelo. El procedimiento consistió en hacer una diferencia de estos valores:

$$\Delta_i = AIC_{ci} - AIC_{cmin} \quad \text{Ec. 11}$$

Si el valor de Δ_i en el modelo es superior a 10, éste no está apoyado por los datos y no se debe considerar para la selección del mejor modelo. Si el valor de Δ_i está entre 7 y 4, se sostiene que el modelo está apoyado moderadamente por los datos, mientras que si Δ_i presenta valores menores de 2, se sostiene que el modelo está fuertemente respaldado por los datos (Burnham y Anderson 2002).

Para tener mayor certeza en cuanto a la selección del mejor modelo que describe el crecimiento individual de *C. othonopterus*, se calculó la plausibilidad de cada uno de los modelos candidatos. En el procedimiento se evidencia la ponderación de Akaike para el mejor modelo por seleccionar (Burnham y Anderson 2002). Esto se llevó a cabo con la siguiente fórmula:

$$w_i = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\Delta_i\right)}{\sum_{k=1}^4 \exp\left(-\frac{1}{2}\Delta_k\right)} \quad \text{Ec. 12}$$

Con los valores del peso ponderado de Akaike se obtuvo el valor porcentual multiplicando $w_i \cdot 100$ para cada uno de los modelos. Con base en los resultados se procedió a seleccionar el modelo con el mayor valor porcentual (más cercano a 100%) para tomarse como aquel que explica de mejor manera, según los datos analizados, el crecimiento individual de *C. othonopterus* en el Alto Golfo de California.

Resultados

Se analizaron los datos de edad-talla de un total de 482 individuos de *C. othonopterus* para el estimado de crecimiento individual. Las longitudes totales examinadas se encontraron en un intervalo entre los 141-920 mm LT. La distribución de frecuencias presente en la clave utilizada reflejó dos grupos de tallas: el primero que va de los 141-390 mm LT y el segundo de 551-850 mm LT (Fig. 1).

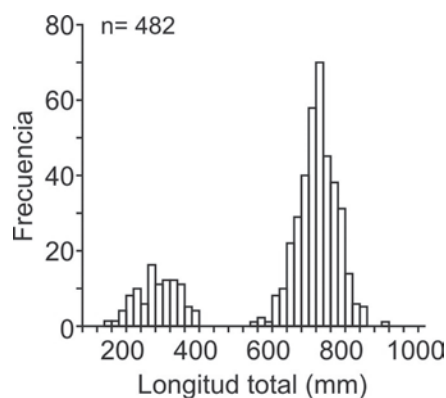


Fig. 1. Distribución de frecuencias de tallas de la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* en el Alto Golfo de California.

Los individuos de *C. othonopterus* estuvieron en un intervalo de edades de 1-9 años. Individuos con tallas de 211-280 mm LT presentaron la edad de un año y el espécimen más viejo presentó una edad de nueve años, el cual se encontró en una talla de 745 mm LT. El organismo más pequeño en el estudio presentó una talla de 145 mm LT y una edad de dos años, mientras que el individuo más grande presentó una longitud de 915 mm LT con una edad de seis años.

De forma general, el intervalo de edades de 2-7 años estuvo bien representado para

C. othonopterus, pero las mayores frecuencias se encontraron a los cinco y seis años. Las edades menos frecuentes se presentaron entre los individuos más jóvenes (un año) y los más viejos (ocho y nueve años). En particular, los individuos de tres años presentaron poca frecuencia, ya que existe un hueco de datos entre los 391-550 mm LT, lo que pudiera estar excluyendo la presencia de organismos más grandes en esta edad (Fig. 2).

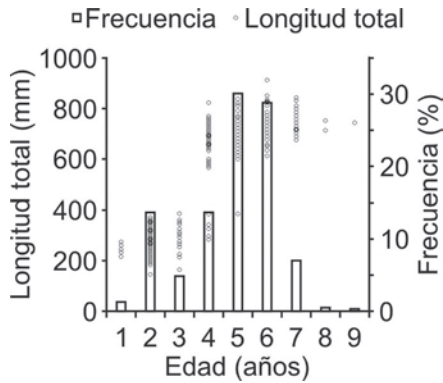


Fig. 2. Distribución de frecuencias de edad y longitud para la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* en el Alto Golfo de California.

Los datos observados presentes en la clave talla-edad de la curvina golfina en el Alto Golfo de California (Tabla 1; de Román-Rodríguez, 2000¹), así como las curvas teóricas ajustadas de cada uno de los modelos de crecimiento se muestran en la figura 3. Los valores de los parámetros que describen a las curvas proyectadas por cada modelo se muestran en la tabla 2. Para cada modelo se utilizó como criterio de ajuste la SRC, cuyos valores fueron para MCVB = 3 401 495.92, modelo de Gompertz = 3 001 305.17, el modelo Logístico = 2 803 037.44 y el modelo general de Schnute = 3 374 765.08.

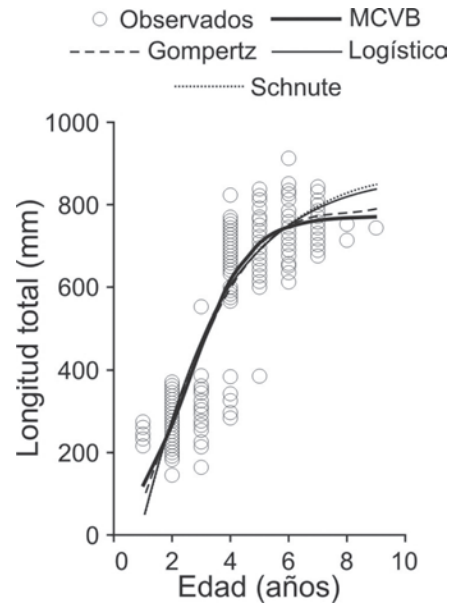


Fig. 3. Valores observados y curvas de los modelos de crecimiento candidatos para la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* en el Alto Golfo de California.

El modelo Logístico es el que estuvo mejor respaldado por los datos después de seguir el enfoque multimodelo en *C. othonopterus*. Este modelo presentó valores menores de AIC_c y Δ_i , y un valor mayor en w_i (99.92 %) en relación con los demás modelos candidatos. El valor de L_∞ presentado por el modelo Logístico fue de 772.23 mm LT (IC 95% 769.4-774.9).

La curva de crecimiento que mejor describe el crecimiento de *C. othonopterus* según los datos analizados se presenta en la figura 4. Los datos de edad-talla y la curva predicha por el mejor modelo en el presente análisis muestran que el crecimiento del *C. othonopterus* es lento en los primeros dos años de vida, acelerándose de los 2-4 años de vida. Después de esto, el crecimiento

Tabla 2

Comparación de los parámetros de crecimiento (I.C. 95%) de cada uno de los modelos puestos a prueba en *Cynoscion othonopterus*. *Valores calculados a partir de los parámetros estimados del modelo general de Schnute ($a = k$)

Modelos	k	SRC	L_∞ (mm)	K (anual)	t_0 (anual)	a	b	Y_1	Y_2
MCVB	3	3 401 495.9	889.3 (886.5-892.0)	0.36 (0.12-0.59)	0.85 (0.72-0.97)	-	-	-	-
Gompertz	3	3 001 305.1	797.7 (794.9-800.4)	0.71 (0.47-0.94)	2.10 (1.98-2.23)	-	-	-	-
Logístico	3	2 803 037.4	772.2 (769.4-774.9)	1.02 (0.78-1.25)	2.64 (2.51-2.76)	-	-	-	-
Schnute	4	3 374 765.0	*1 377.0 (1374.2-1379.8)	0.35 (0.11-0.58)	*0.82 (0.70-0.95)	0.35	0.92	68.55	1 385.48

MCVB: modelo de crecimiento de von Bertalanffy.

de la especie se torna lento a medida que se aproxima a la asíntota (>4 años).

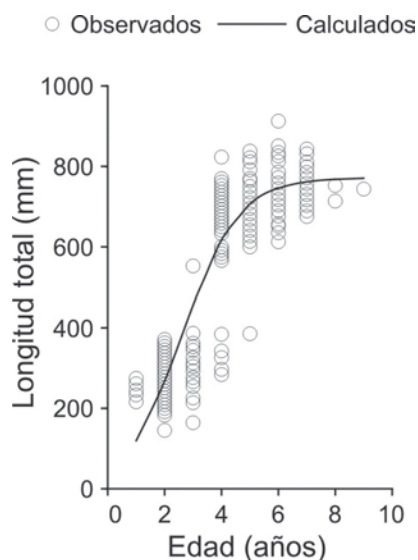


Fig. 4. Valores observados y curva de crecimiento del modelo Logístico para la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* en el Alto Golfo de California.

Discusión

Los resultados de la estimación del crecimiento individual de *C. othonopterus* realizada en este trabajo se atribuyen a los datos contenidos en la tabla edad-talla de Román-Rodríguez (2000¹). Las tallas se presentaron en un intervalo que evidencia un método de muestreo basado en capturas comerciales en la región. Los artes de pesca utilizados en la recolección de muestra presentan un efecto de selectividad e influyen en el intervalo de tallas de los datos analizados, ya que no estuvieron presentes tallas muy pequeñas, es decir, de individuos muy jóvenes (<140 mm LT). De la misma forma, existe una ausencia de datos en el intervalo de tallas que va de los 391-550 mm LT, lo que se puede atribuir a que se trata de individuos que no pudieron ser capturados en las muestras de la pesquería industrial y artesanal. Esto podría tener efectos en la estimación de parámetros en los modelos de crecimiento (Catalano y Allen 2010), sesgando las tendencias y formas de curva obtenidas en esta parte del ciclo de vida en la especie. El grupo de organismos con edades de 4-7 años y en tallas próximas a la asíntota estuvo bien representado, mientras que

los peces más viejos, de 8-9 años, presentaron pocos individuos.

Hasta ahora existen pocos trabajos que tratan del crecimiento individual de la curvina golfina, cuyas estimaciones se basan en un sólo modelo, el de von Bertalanffy (por ejemplo, Román-Rodríguez 2000¹, Gherard *et al.* 2013). Los valores de los parámetros del MCVB calculados anteriormente para la especie están por encima del estimado por el mejor modelo (Logístico) de este trabajo, en donde se utilizó un enfoque multimodelo. Román-Rodríguez (2000¹) reportó que $L_{\infty} = 815.9$ mm LT, $K = 0.51$ y $t_0 = 0.38$, mientras que Gherard *et al.* (2013) obtuvieron para $L_{\infty} = 1\ 006$ mm LT, $K = 0.255$ y $t_0 = 0.616$. Comparando el valor de tales parámetros y los reportados en este trabajo con el mismo modelo (MCVB), se tiene que $L_{\infty} = 889.3$ mm LT (886.5-892.0), $K = 0.36$ (0.12-0.59) y $t_0 = 0.85$ (0.72-0.97). Se puede decir que las variaciones más evidentes de estas tres estimaciones se muestran en los valores del parámetro de longitud asíntotica de la especie. A pesar de esto, nada asegura que estos estimados de crecimiento sean los más confiables y cercanos a la realidad para los datos utilizados. El establecer una comparación entre cuatro modelos con distintos supuestos biológicos, tipos y formas de curva, resulta valioso para hacer inferencias objetivas sobre los estimados de crecimiento (Beninger *et al.* 2012).

Teóricamente, el MCBV es un mal descriptor del crecimiento en las etapas tempranas de los organismos marinos (Gamito 1998), por eso fue necesario poner a prueba otros modelos que describieran de buena manera esta etapa del ciclo de vida en la curvina golfina. Otro de los criterios para utilizar más de un modelo de crecimiento fue la disposición y el acomodo de los datos edad-talla presentados por la población. A simple vista, los datos edad-talla mostraron una tendencia general que podía ser descrita de forma promedio por un modelo distinto al MCVB. Como modelos candidatos alternos al MCVB, se utilizaron el de Gompertz y el Logístico, que presentan una curva sigmoidea y han demostrado que describen de buena manera el crecimiento de muchas especies acuáticas (Katsanevakis 2006) y mejor cuando las especies presentan un crecimiento lento en estadios tempranos de vida (Griffiths *et al.* 2010). Gráficamente, los datos de

edad-talla observados en *C. othonopterus* mostraron una disposición o un acomodo que podría describirse por una curva de tipo sigmoideo (en forma de S). Una de las causas de la tendencia de esta curva pudo deberse a la ausencia de datos en el intervalo de tallas de 391-550 mm LT, lo que provocó una inflexión de la curva en esa región de los datos de edad-talla. Pero el hecho de que las edades de 1-3 años presentaran un intervalo de tallas similar, es evidencia de que la especie presenta un crecimiento lento en las etapas tempranas de vida. Esto da soporte a una mejor descripción por parte de una curva sigmoidea, tipo Gompertz o Logística. El último modelo candidato en la inferencia multimodelo realizada fue el general de Schnute, que presenta una curva teórica versátil capaz de tomar la forma de distintos modelos dependiendo de los valores de los parámetros (Schnute 1981) y permite hacer estimaciones de parámetros en ausencia de individuos muy jóvenes o muy viejos (Cerdenares-Ladrón de Guevara *et al.* 2011). Para este caso, dadas las propiedades que presenta el modelo, pudo haber ajustado muy bien, pero los datos y el AIC_c no lo mostraron así.

Para establecer una comparación de un sólo parámetro de crecimiento entre los cuatro modelos puestos a prueba, se presentaron los valores de L_{∞} mm LT de cada uno de ellos (Tabla 3). Esto demostró que hay una diferencia en las estimaciones del parámetro entre los modelos puestos a prueba, que es de 604.85 mm entre la L_{∞} menor (Logístico) y la mayor (Schnute). Es por ello que fue importante seguir un criterio de información que mostrara evidencia sobre el mejor modelo para los datos analizados y, por ende, para tomar en cuenta el parámetro L_{∞} de ese modelo. En este caso, el modelo que presen-

tó mayor plausibilidad fue aquel con un estimado menor en la longitud asintótica, el Logístico ($L_{\infty} = 772.23$ mm LT). Si se toma en cuenta lo que muestran el enfoque multimodelo (el MCVB) y el de Schnute, realizaron estimados mayores en el parámetro L_{∞} y menores en el parámetro K con relación a los obtenidos por el Logístico. La talla que alcanza la especie es de por lo menos 700 mm LT (Fischer *et al.* 1995, Robertson y Allen 2002); sin embargo, los estimados para la talla máxima del MCVB y Schnute son muy superiores para los datos analizados. De los cuatro modelos puestos a prueba en este trabajo, el estimado de L_{∞} del modelo Logístico fue el que más se acercó a lo que reportan las bases especializadas para *C. othonopterus*. Con base en las referencias tomadas, el estimado de L_{∞} del modelo de Gompertz fue el segundo más cercano (797.7 mm LT). Estos parámetros (L_{∞} y K) se utilizan como referencia biológica para definir mejores estrategias de pesca (Beddington y Kirkwood 2005), es por ello que si se hace un estimado de dichos valores tomando en cuenta lo que dicta un sólo modelo, los resultados podrían ser incorrectos y contraproducentes para el manejo del *stock* (Cailliet *et al.* 2006). De ahí la importancia de intervenir con el análisis multimodelo para los datos de la población que se tienen disponibles.

Con ello se evidencia el modelo que mejor describe el proceso de crecimiento en la población, y que debería ser usado (Haddon 2001). Aunque la selección del mejor modelo siempre dependerá del contexto en el que se trate la información (Araya y Cubillos 2006), se necesita un razonamiento biológico, así como de experiencia basada en estudios previos y la bondad de ajuste del modelo con respecto a los datos (Wang *et al.* 1995). Para el presente caso, el

Tabla 3

Valores de AIC, plausibilidad, longitud asintótica estimada, error estándar (E.E.) e intervalos de confianza (I.C. 95%) de L_{∞} en los modelos de crecimiento para *C. othonopterus* en el Alto Golfo de California

Modelos	k	AIC _c	Δi	w_i (%)	$L_{\text{máx.}} \text{ (mm)}$ Estimada	Error estándar	I.C. (inf.) 95%.	I.C. (sup.) 95%
MCVB	3	2 246.84	40.507	0.00	889.3	1.414	886.5	892.0
Gompertz	3	2 220.64	14.306	0.08	797.7	1.404	794.9	800.4
Logístico	3	2 206.33	0	99.92	772.2	1.402	769.4	774.9
Schnute	4	2 247.19	40.856	0.00	1 377.0	1.419	1 374.2	1 379.8

MCVB: modelo de crecimiento de von Bertalanffy.

modelo Logístico fue el que presentó el mejor ajuste a los datos edad-talla. Dicho modelo describió un crecimiento de *C. othonopterus* a través de una curva sigmoidea que muestra un crecimiento lento en las primeras etapas de vida, acelerándose en el segundo cuarto del ciclo. La velocidad de crecimiento disminuye a medida que la talla de los organismos se aproxima a la asíntota, esto después de los cuatro años de vida. Con base en lo anterior, se destaca la aplicación de la teoría de los modelos múltiples y el uso de criterios de información, ya que ello brinda un análisis más robusto en la evaluación del crecimiento de las especies marinas. Así, se obtuvieron parámetros de crecimiento más precisos y exactos de la especie, según los datos disponibles. Esto es importante, ya que parámetros certeros permitirán hacer otros análisis y obtener conclusiones más atinadas sobre la población. Dichos datos deberían empatarse con información ambiental y con ello fortalecer el conocimiento que influya en el mejor manejo del recurso.

Conclusiones

Resulta de gran importancia emplear más de un modelo cuando se pretende evaluar el crecimiento individual en las poblaciones de peces. La comparación de distintos ajustes, junto con la aplicación de un criterio de información estadística, brindó bases más objetivas para la selección del mejor modelo de crecimiento en *C. othonopterus*. Se evidenció un modelo distinto (Logístico) al reportado con anterioridad (MCVB), que describe de mejor manera el crecimiento de la especie según los datos analizados. Se debería poner particular atención en la nueva información mostrada por el modelo Logístico en el presente estimado de crecimiento. Incluso, en un futuro, sería interesante tratar de tener representada la totalidad del espectro de tallas en el ciclo de vida de la especie. Esto para confirmar o refutar la cinética de crecimiento de la curvina golfina descrita en este análisis. Se necesitan cada vez más evaluaciones precisas en la ciencia pesquera y el enfoque multimodelo es una herramienta muy eficaz para realizarlas.

Agradecimientos

Se agradece al Dr. Enrique Morales Bojórquez (CIBNOR) por el conocimiento compartido acerca del enfoque multimodelo y a la Dra. Juana López Martínez (CIBNOR) por sus comentarios y sugerencias. De igual manera se agradecen las valiosas observaciones de los revisores del presente trabajo. Su apoyo fue muy importante para la realización de este análisis.

Literatura citada

- ARAYA M y LA Cubillos. 2006. Evidence of two-phase growth in elasmobranchs. *Environmental Biology of Fishes* 77(3-4): 293-300.
- ARKHIPKIN AI y R Roa-Ureta. 2005. Identification of ontogenetic growth models for squid. *Marine and Freshwater Research* 56(4): 371-386.
- BARRETO RR, RP Lessa, FH Hazin y FM Santana. 2011. Age and growth of the Blacknose Shark, *Carcharhinus acronotus* (Poey 1860) off the northeastern Brazilian Coast *Fisheries Research* 110(1): 170-176.
- BEDDINGTON JR y GP Kirkwood. 2005 The estimation of potential yields and stock status using life-history parameters. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 360(1453): 163-170.
- BENINGER PG, I Boldina y S Katsanevakis. 2012. Strengthening statistical usage in marine ecology. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 426-427: 97-108.
- BURNHAM K P y DR Anderson. 2002. *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. Springer. New York. 488p.
- CAILLIET GM y KJ Goldman. 2004. Age determination and validation in chondrichthyan fishes. En: JA Musick, JC Carrier y MR Heithaus (eds.). *Biology of sharks and their relatives*. CRC Press LLC. Boca Raton, pp: 399-447.
- CAILLIET GM, WD Smith, HF Mollet y KJ Goldman. 2006. Age and growth studies of chondrichthyan fishes: the need for consistency in terminology, verification, validation, and growth function fitting. *Environmental Biology of Fishes* 77(3): 211-228.
- CATALANO MJ y S Allen. 2010. A size- and age-structured model to estimate fish recruitment, growth, mortality, and gear selectivity. *Fisheries Research* 105(1): 38-45.
- CERDENARES-LADRÓN DE GUEVARA G, E Morales-Bojórquez y 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.
- CONAPESCA. 2010. Programa de ordenamiento pesquero de la curvina golfina en el alto Golfo de California. México. SAGARPA. 252p.
- CRUZ-VÁZQUEZ R, G Rodríguez-Domínguez, E Alcántara-Razo y EA Aragón-Noriega. 2012. Estimation of individual growth parameters of the Cortes Geoduck *Panopea globosa* from the Central Gulf of California using a multi-model approach. *Journal of Shellfish Research* 31(3): 725-732.
- DOF. 2007. Norma Oficial Mexicana NOM-063-PESC-2005, pesca responsable de la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* en aguas de jurisdicción Federal del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado: especificaciones para su aprovechamiento. Diario Oficial de la Federación. México. 6 de agosto de 2007.
- FISCHER W, F Krupp, W Schneider, C Sommer, KE Carpenter y VH Niem. 1995. *Pacífico centro oriental. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca FAO*. Roma II-III: 648-1652.
- GAMITO S. 1998. Growth models and their use in ecological modeling: an application to a fish population. *Ecological Modelling* 113: 83-94.
- GHERARD KE, BE Erisman, O Aburto-Oropeza, K Rowell y LG Allen. 2013. Growth, development, and reproduction in Gulf Corvine (*Cynoscion othonopterus*). *Bulletin Southern California Academy of Sciences* 112(1): 1-18.
- 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.
- GRIFFITHS SP, GC Fry, FJ Manson y DC Lou. 2010. Age and growth of Longtail Tuna (*Thunnus tonggol*) in tropical and temperate waters of the central Indo-Pacific. *ICES Journal of Marine Science* 67(1): 125-134.
- HADDON M. 2001. *Modelling and quantitative methods in fisheries*. Chapman and Hall. Boca Raton. 406p.
- 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.
- MERCIER L, J Panfili, C Paillon, AN'diaye, D Mouillot y AM Darnaude. 2011. Otolith reading and multi-model inference for improved estimation of age and growth in the gilthead seabream *Sparus aurata* (L.). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92(4): 534-545.
- MONTGOMERY SS, CT Walsh, M Haddon, CL Kesby y DD Johnson. 2010. Using length data in the Schnute Model to describe growth in a metapenaeid from waters off Australia. *Marine and Freshwater Research* 61: 1435-1445.
- NETER J, MH Kutner, J Nachtschien y W Wasserman. 1996. *Applied linear statistical models*. McGraw-Hill/Irwin. Chicago. 1408p.
- RICKER WE. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of Fisheries Research Board Canada* 191: 1-382.
- ROBERTSON DR y GR Allen. 2002. *Peces costeros del Pacífico oriental tropical: un sistema de información*. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, República de Panamá.
- SCHNUTE J. 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38(9): 1128-1140.
- SOLANA-SANSORES LR, I Dicante, L Luna y R Villaseñor-Talavera. 2012. Selectividad de redes para capturar curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) en el Alto Golfo de California, México. *Hidrobiológica* 22(2): 132-141.
- VON BERTALANFFY L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology* 10(2): 181-213.
- WANG YG, MR Thomas e IF Somers. 1995. A maximum likelihood approach for estimating growth from tag-recapture data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52(2): 252-259.

Recibido: 15 de mayo de 2013.

Aceptado: 14 de diciembre de 2013.