

Análisis multimodelo del crecimiento de *Pseudoplatystoma orinocoense* en la cuenca media del Orinoco, Venezuela

Multimodal analysis of the growth of *Pseudoplatystoma orinocoense* in the middle basin of the Orinoco, Venezuela

Análise múltipla do crescimento do *pseudoplatystoma orinocoense* na bacia média do Orinoco, Venezuela

ÁNGEL GONZÁLEZ¹, JEREMY MENDOZA², FREDDY AROCHA³, ARÍSTIDE MARQUEZ⁴

RESUMEN

Entre las especies de mayor importancia comercial y pesquera de la pesca artesanal del río Orinoco se encuentra Pseudoplatystoma orinocoense, donde el desembarco de peces pequeños motivó la realización de estudios anteriores de evaluación de su

Recibido para evaluación: 16 de Julio de 2018.

Aprobado para publicación: 13 de Noviembre de 2018.

- 1 Instituto Limnológico, Universidad de Oriente, Departamento de Recursos Acuáticos, Dinámica Poblacional de Peces Continentales. MsC Biología Pesquera. Cumaná, Venezuela.
- 2 Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Departamento de Biología Pesquera, Dinámica Poblacional de Peces Marinos. Doctor Biología Pesquera. Cumaná, Venezuela.
- 3 Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Departamento de Biología Pesquera, Biología Pesquera. Doctor Biología Pesquera. Cumaná, Venezuela.
- 4 Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Oceanografía Química. Doctor Oceanografía Química. Cumaná, Venezuela.

Correspondencia: angelgonzalez78@hotmail.com

población, que demostraron un nivel de sobreexplotación del recurso. Sin embargo, los valores de los parámetros de crecimiento que se usaron en su evaluación han creado cierta incertidumbre por estimarse al aplicar a priori el modelo tradicional de von Bertalanffy, por lo que hubo la necesidad de verificar dichos resultados, utilizando la inferencia de modelos múltiples de crecimiento y el criterio de la información de Akaike (AIC) para seleccionar el modelo de mejor ajuste. Los modelos usados fueron las fórmulas unificadas von Bertalanffy (U-von Bertalanffy), Logístico (U-Logístico) y Gompertz (U-Gompertz), derivados del modelo genérico U-Richardas, cuyos ajustes dependieron de la información contenida en los datos. Cuando los datos incluyeron todas las edades el modelo U-von Bertalanffy produjo el mejor ajuste, coincidiendo con resultados anteriores de crecimiento de la especie. Al excluir las edades de uno y dos años, como ocurre con los datos provenientes de la pesca artesanal debido a la selectividad, el mejor ajuste lo produjeron los modelos U-Logístico y U-Gompertz.

ABSTRACT

Among the species of greater commercial and fishing importance of the artisanal fishery of the Orinoco River is Pseudoplatystoma orinocoense, where the disembarkation of small fish motivated the realization of previous studies of evaluation of its population, which demonstrated a level of overexploitation of the resource. However, the values of the growth parameters that were used in their evaluation have created some uncertainty to be estimated when applying the traditional von Bertalanffy model a priori, so there was a need to verify these results, using the inference of multiple models of Growth and Akaike Information Criteria (AIC) to select the best fit model. The models used were the unified formulas von Bertalanffy (U-von Bertalanffy), Logistic (U-Logistic) and Gompertz (U-Gompertz), derived from the generic model U-Richardas, whose adjustments depended on the information contained in the data. When the data included all ages, the U-von Bertalanffy model produced the best fit, coinciding with previous results of growth of the species. By excluding the ages of one and two years, as occurs with data from artisanal fishing due to selectivity, the best fit was produced by the U-Logistic and U-Gompertz. models.

RESUMO

Entre as espécies de maior importância comercial e pesqueira da pesca artesanal do rio Orinoco está o Pseudoplatystoma orinocoense, onde o desembarque de peixes pequenos motivou a realização de estudos prévios de avaliação de sua população, o que demonstrou um nível de superexploração do recurso. No entanto, os valores dos parâmetros de crescimento que foram usados em sua avaliação criaram alguma incerteza a ser estimada ao aplicar o modelo tradicional de von Bertalanffy a priori, portanto, houve uma necessidade de verificar esses resultados, usando a inferência de múltiplos modelos de Crescimento e Akaike Information Criteria (AIC) para selecionar o melhor modelo de ajuste. Os modelos utilizados foram as fórmulas unificadas von Bertalanffy (U-von Bertalanffy), Logística (U-Logistic) e Gompertz (U-Gompertz), derivadas do modelo genérico U-Richardas, cujos ajustes dependeram das infor-

PALABRAS CLAVE:

Bagres Pimelodidae, Dinámica Poblacional, Parámetros de Crecimiento, Pesquería artesanal

KEYWORDS:

Pimelodidae catfish, Population Dynamics, Growth Parameters, Artisanal fisher

PALAVRAS-CHAVE:

Peixe-gato Pimelodidae, Dinâmica Populacional, Parâmetros de Crescimento, Pesca Artesanal.

mações contidas nos dados. Quando os dados incluíram todas as idades, o modelo de U-von Bertalanffy produziu o melhor ajuste, coincidindo com resultados anteriores de crescimento da espécie. Ao excluir as idades de um e dois anos, como ocorre com os dados da pesca artesanal devido à seletividade, o melhor ajuste foi produzido pelos modelos U-Logistic e U-Gompertz.

INTRODUCCIÓN

Pseudoplatystoma orinocoense es un bagre dulceacuícola perteneciente a la familia Pimelodidae, endémica de la cuenca del río Orinoco [1]. En el río Orinoco se encuentra entre las especies más importantes desde el punto de vista pesquero y comercial junto con la especie *Pseudoplatystoma metaense* [1]. *P. orinocoense* es conocida comúnmente como rayao en Venezuela y Colombia.

En la pesca continental de Venezuela, *P. orinocoense* y *P. metaense* conforman conjuntamente 15,7% de la captura total desembarcada, con un promedio en la producción de 6121 ton/año entre 1996 y 2003 [2]. Particularmente en la región media del Orinoco se encuentran entre las más importantes en los desembarcos de la pesca artesanal, principalmente, *P. orinocoense*, con un 12,0% en la composición de las capturas, y unaproducción entre 8,8 y 23,1 ton/año, dependiendo del nivel del río [3,4].

En los desembarcos de los últimos años ha prevalecido la captura de tamaños relativamente pequeños de *P. orinocoense* debido a la selectividad del arte que generalmente se utiliza [5], que hace necesaria una evaluación de la población, donde la determinación de la edad y el crecimiento es una información básica [6].

En la región del Orinoco medio se determinó el crecimiento de *P. orinocoense* (sinónimo *P. fasciatum*) [7] a partir de datos retro-calculados a la formación de los anillos de crecimiento en la espina dorsal [8-11], quedando la incertidumbre en cuanto a los estimados de los parámetros de crecimiento, así como en los resultados de la evaluación de la población que demostró una sobrepesca del recurso [12], por haberse utilizado a *priori* el modelo de von Bertalanffy.

Hasta la fecha, los estudios publicados sobre el crecimiento de *P. orinocoense* y especies relacionadas se han realizado en base a la elección arbitraria del modelo de von Bertalanffy. Como los realizados en el río

Apure en Venezuela con las especies *P. orinocoense* y *P. metaense* [13], en el río Cuibá de Brasil con la especie *P. reticulatum* [14] y en la Amazonia boliviana con *P. punctifer* y *P. metaense* [15]. Igualmente, los realizados en las especies *P. metaense* del río apure [2] y *Pseudoplatystoma corruscans* del río Cuiabá [16], y en otras especies [17-19]. La selección a *priori* del modelo de von Bertalanffy para el estudio del crecimiento no tiene en cuenta incertidumbres relacionadas con la estructura del modelo, y supone implícitamente la existencia de un modelo “verdadero”, una suposición considerada poco realista y no justificada desde el punto de vista filosófico y matemático [20].

En este sentido, se ha demostrado que el uso de la inferencia de modelos múltiples es una mejor alternativa en comparación con el uso a *priori* del modelo de von Bertalanffy [21], un enfoque adoptado actualmente por muchos autores [20,22-24], y considerado en el presente trabajo para determinar los parámetros de crecimiento de *P. orinocoense*.

En el trabajo se usaron tres grupos de datos que incluyeron los de longitud-edad observados según el número de anillos de crecimiento en la espina dorsal de *P. orinocoense* [7], el total de datos retro-calculados para todas las edades, y un subconjunto de datos retro-calculados que excluyeron a peces de uno y dos años de edad [7]; estos dos últimos grupos de datos fueron ajustados anteriormente seleccionando a *priori* el modelo de von Bertalanffy [7], que es precisamente el objetivo del presente trabajo, verificar o no el ajuste de estos datos a dicho modelo, usando además otros modelos de crecimiento para seleccionar realmente el de mejor ajuste.

La gestión efectiva de la pesca de *P. orinocoense* requiere del estudio detallado de su dinámica poblacional que incluye la estimación precisa de los parámetros de crecimiento [6], donde el uso de la inferencia de modelos múltiples constituye una mejor alternativa en comparación con la selección a *priori* del modelo de von Bertalanffy, como se venía haciendo hasta ahora [21].

En el uso de modelos múltiples para el estudio del crecimiento, los modelos de von Bertalanffy, Logístico y Gompertz generalmente han sido utilizados en sus formas tradicionales [20,22,24,29,30], con el inconveniente que presentan al manifestar diferentes interpretaciones de los parámetros de crecimiento [25,26], que limitan la estimación de un modelo promedio cuando

el valor del peso ponderado de Akaike (W_i) así lo requiera [24]. Otra desventaja de la forma tradicional de dichos modelos es que no estiman otros parámetros de crecimiento considerados importantes, como el valor inicial de la curva W_0 . De allí que una mejor alternativa ante los modelos tradicionales es el uso de los modelos unificados de la familia U-Richards [25,26].

MÉTODO

A los datos de longitud-edad de *P. orinocoense* [7] se les realizó un ajuste no lineal, con ayuda del statgraphic 1.4, a tres modelos de crecimiento que incluyeron los modelos unificados U-von Bertalanffy, U-Logístico y U-Gompertz, derivados del modelo global U-Richards, según las siguientes ecuaciones:

$$L(t) = L_{\infty}(1 + (d - 1)) * \exp\left(\frac{-K(t - T_i)}{d^{(1-d)}}\right)^{\frac{1}{1-d}} \quad (\text{Ec.1})$$

$$L(t) = L_{\infty} \left(1 + \left(\left(\frac{W_0}{L_{\infty}} \right)^{(1-d)} - 1 \right) * \exp\left(\frac{-Kt}{d^{(1-d)}}\right) \right)^{\frac{1}{1-d}} \quad (\text{Ec.2})$$

Las versiones unificadas de los modelos U-von Bertalanffy y U-Logístico se alcanzaron sustituyendo al parámetro d de las ecuaciones 1 y 2 por las constantes $d = 2/3$ y $d = 2$ respectivamente [25]. En el caso del modelo U-Gompertz, d se calculó como un límite y no dándole un determinado valor [26], según las siguientes ecuaciones:

$$L(t) = L_{\infty} * \exp\left(-\exp(-e * K(t - T_i))\right) \quad (\text{Ec.3})$$

$$L(t) = L_{\infty} \left(\frac{L_{\infty}}{W_0} \right)^{\exp(-e * Kt)} \quad (\text{Ec.4})$$

En las ecuaciones 1, 2, 3 y 4, $L_{(t)}$ = longitud teórica; L_{∞} = longitud asintótica; t = edad; K = máxima tasa de crecimiento relativo en la inflexión de la curva; T_i = edad en la inflexión de la curva; d = exponente o parte del

mismo que controla el valor en la inflexión; W_0 = valor inicial de la curva ($t = 0$); e = número neperiano.

La clasificación y comparación de los modelos para seleccionar el de mejor ajuste se hizo utilizando el criterio de la información de Akaike (AIC) para muestras pequeñas (AICc) [20,22,26,27], según las siguientes ecuaciones:

$$AIC_c = n * \log(\sigma^2) + 2k + \frac{2k + (k + 1)}{n - k - 1} \quad (\text{Ec.5})$$

$$\Delta AIC_c = AIC_c - AIC_{min} \quad (\text{Ec.6})$$

donde, \sum RSS suma de cuadrado residual de cada modelo, n el tamaño de la muestra, k el número total de parámetros de regresión estimados en cada modelo (incluyendo a σ^2), AIC_c el AIC de cada modelo, AIC_{min} el valor más pequeño del AIC_c y ΔAIC_c el grado de separación de cada AIC_c con relación al AIC_{min} . AIC_c utiliza la función original que define el criterio de la información de Akaike (AIC), más un término adicional de corrección de sesgo que se usa generalmente cuando la relación es pequeña (< 40) [22].

El modelo más parsimonioso o preciso en el ajuste de los datos fue el que presentó el valor mínimo del AIC (AIC_{min}), considerando que mientras mayor sea la diferencia entre el AICc de cada modelo candidato con relación al AIC_{min} (ΔAIC_c), es menos probable que el modelo produzca un buen ajuste. En este sentido, se tiene como regla general que los modelos donde el ΔAIC_c es menor que dos ($\Delta AIC_c < 2$), tendrán un apoyo sustancial de los datos y deben ser considerados al hacer las inferencias, además de indicar una correspondencia con el modelo más preciso (AIC_{min}). Cuando los modelos alcanzan un ΔAIC_c entre 4 y 7 ($4 \leq \Delta AIC_c \leq 7$) tendrán medianamente menos soporte de los datos. Cuando $\Delta AIC_c > 10$ esencialmente no tendrán soporte alguno, o no explican una variación sustancial en los datos [20,28,29].

Para tener una mayor certeza en cuanto a la selección del mejor modelo, se calculó la plausibilidad de cada uno utilizando la ponderación de Akaike (W_i), según la siguiente ecuación:

$$W_i = \frac{e^{(-\frac{1}{2} * \Delta i)}}{\sum e^{(-\frac{1}{2} * \Delta i)}} \quad (\text{Ec.7})$$

donde, Δ_i fue el ΔAIC_c de cada modelo. De acuerdo al valor de W_i se consideró como el modelo más plausible o de mejor ajuste, aquel con valor mayor a 0,9 ($W_i > 90\%$). Cuando los valores de W_i son menores a 0,9 ($W_i < 90\%$), se supuso que ningún modelo fue superior a otro y se determinó un modelo promedio [20,29].

En el modelo promedio, la media del parámetro X (se calculó usando la ecuación:

$$X_{prom} = \sum W_i * X_i \quad (Ec.8)$$

mientras que el error estándar se estimó mediante la ecuación:

$$E.S.X_{prom} = \sum W_i * (VarX_i + (X_i - X_{prom})^2)^{\frac{1}{2}} \quad (Ec.9)$$

donde $E.S.X_{prom}$ es el error estándar del parámetro X , y la varianza del parámetro X , estimada del ajuste de los datos con cada modelo i [20].

RESULTADOS

Ante el inconveniente de los modelos tradicionales de von Bertalanffy, Logístico y Gompertz para la comparación de parámetros de crecimiento, el uso de los modelos unificados U-von Bertalanffy, U-Logístico y U-Gompertz, derivados del modelo genérico U-Richards, garantizan la selección de modelos que estiman valores realistas de dichos parámetros, además de una consistente interpretación y comparación [25,26].

Utilizando los datos observados de longitud-edad según el número de anillos en cortes de la espina dorsal de *P. orinocoense* [7], el ajuste no lineal de los modelos candidatos produjo estimaciones de los parámetros de crecimiento y estadísticos (RSS y R^2) representados en el Cuadro 1.

Los valores relativamente altos del R^2 , estimados para los modelos U-Logístico y U-Gompertz, en comparación con el estimado para el modelo U-von Bertalanffy (Cuadro 1), únicamente indicaron una mayor explicación de la variación de los datos y no de por sí un mejor ajuste, como se ha interpretado comúnmente [25,26,27]; en

este sentido, fue más exacto y confiable el uso del criterio de información de Akaike (AIC) para seleccionar el modelo de mejor ajuste [20,22,23,24].

El AIC es un método reciente de selección de modelos matemáticos que utiliza la información *Kullback-Leibler* (distancia $K-L$) como medida conceptual de la distancia relativa de un modelo dado con relación al que en realidad describe la información contenida en los datos [29]. En este sentido, el modelo U-Gompertz fue el más preciso en el ajuste de los datos por presentar el valor mínimo del AIC (AIC_{min}); en correspondencia, además, con el modelo U-Logístico según el valor del ΔAIC_c ($\Delta AIC_c < 2$; Cuadro 2). El modelo U-von Bertalanffy no ajustó sustancialmente los datos por presentar un valor del ΔAIC_c mayor que 10 ($\Delta AIC_c > 10$), y una nula plausibilidad en el ajuste de los datos, de acuerdo al valor de W_i ($W_i = 0$; Cuadro 2).

Según el AIC_{min} y el valor del W_i , el modelo que produjo un mejor ajuste fue el U-Gompertz ($W_i = 71,7\%$; Cuadro 2), pero sin una clara superioridad sobre el modelo U-Logístico ($W_i < 90\%$), por lo que se procedió a la estimación de un modelo promedio cuyos cálculos para el L_{∞} se encuentran representados en el Cuadro 3.

Los valores de los parámetros K , T_i y W_0 correspondientes al modelo promedio, estimados siguiendo el mismo procedimiento usado para L_{∞} , están representados en

Cuadro 1. Parámetros y estadísticos de los modelos U-von Bertalanffy, U- Logístico y U-Gompertz.

Modelo	L_{∞}	K	T	W_0	RSS	R^2
ECVB	81,2	0,386	67,9	1,4	148333	0
Logístico	73,0	0,554	4,5	21,0	387	96
Gompertz	80,1	0,067	3,1	13,5	373	96

ECVB = Modelo U-von Bertalanffy.

Cuadro 2. Criterio de información de Akaike (AIC) y peso ponderado de Akaike (W_i) en los modelos U-von Bertalanffy, U-Logístico y U-Gompertz.

Modelo	AIC_c	ΔAIC_c	W_i	W_i (%)
ECVB	357,9	291,201	0	0
Logístico	68,546	1,858	0,283	28,3
Gompertz	66,688 ¹	0	0,717	71,7

ECVB = Modelo U-von Bertalanffy; 66,688¹ = A/Cc_{min} .

el Cuadro 4, con una curva de crecimiento en longitud de forma sigmoidea, representada en la Figura 1.

Los parámetros de crecimiento y estadísticos (RSS y R^2) estimados por los modelos candidatos ajustados a los datos retro-calculados para todas las edades (datos totales), y los retro-calculados que excluyen a las edades uno y dos (subconjunto), están representados en el Cuadro 5.

El ajuste no lineal de los modelos candidatos al total de datos retro-calculados demostró que el modelo U-Logístico no explicó variación alguna de los datos de longitud-edad según el R^2 ($R^2 = 0$), además de pre-

Cuadro 3. Estimación del L_{∞} en el modelo promedio entre el U-Gompertz y el U-Logístico.

Modelos	L_{∞}	$L_{\infty es}$	Var	EE	VI	VS
Logístico	73,0	20,7	10,9	14,9	5,8	35,5
Gompertz	80,1	57,4	26,0	16,7	40,8	74,1
Promedio		78,1		31,6	46,6	109,6

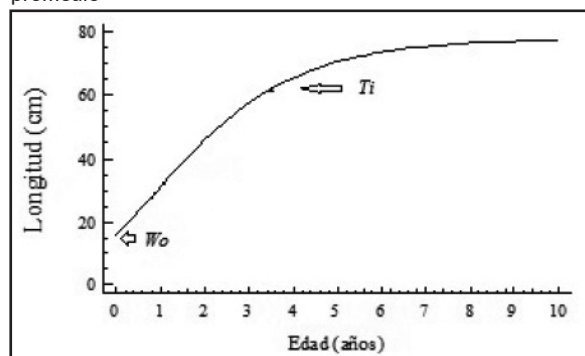
$L_{\infty es}$ = L_{∞} estimado; **Var** = Varianza; **EE** = Error estimado; **VI** = Valor inferior; **VS** = Valor superior.

Cuadro 4. Promedio e intervalos de confianza de los parámetros de crecimiento estimados a partir de los modelos U-Gompertz y U-Logístico.

Parámetros	Promedio	I.C.
L_{∞}	78,1	46,6 - 109,6
K	0,205	0,077 - 0,333
T_i	3,4	2,3 - 4,5
W_0	15,6	8,6 - 22,7

I.C. = Intervalos de confianza.

Figura 1. Curva de crecimiento en longitud según el modelo promedio



sentar valores no esperados (irreales) de los parámetros K y T_i (Cuadro 5). Por tal razón, dicho modelo fue descartado de la inferencia de modelos múltiples, para evitar alteraciones en los resultados [20,22]. Entre los modelos U-von Bertalanffy y U-Gompertz el primero fue el más preciso en el ajuste de los datos, por presentar el valor mínimo (AIC_{min}) del AIC (Cuadro 6); mientras que el modelo U-Gompertz, no produjo un ajuste sustancial de dichos datos según del ΔAIC ($\Delta AIC > 10$) y el valor del W_i ($W_i = 0$; Cuadro 6).

De allí que el mejor ajuste del total de datos retro-calculados lo produjo el modelo U-von Bertalanffy; un resultado que verificó los obtenidos anteriormente del estudio del crecimiento de *P. orinocoense* (*P. fasciatum*) [7], así como los resultados de la evaluación de la población a partir de estos resultados [12]. Los valores del L_{∞} y K , estimados con el modelo U-von Bertalanffy (Cuadro 5) fueron aproximadamente igual a los estimados utilizando el modelo tradicional de von Bertalanffy para los mismos datos ($L_{\infty} = 112,6$; $K = 0,080$) [7]

Cuadro 5. Parámetros y estadísticos estimados por los modelos a partir de datos retro-calculados.

	L_{∞}	K	T_i	RSS	R^2
Totales					
ECVB	113,2	0,061	22	4449	98
Logístico	69,6	42,4	-3158	1,269	0
Gompertz	70,1	0,104	3,3	4831	98
Subconjunto					
ECVB	59,8	0,253	7,4	6122	92
Logístico	69,2	0,745	4,6	3052	96
Gompertz	77,5	0,085	3,6	3031	96

ECVB = Modelo U- von Bertalanffy.

Cuadro 6. Criterio de información de Akaike (AIC) de los modelos ajustados a los datos de González et al. (2010).

	AICc	$\Delta AICc$	W_i	W_i (%)
Totales				
ECVB	609,6 ¹	0	1	100
Gompertz	638,9	29,3	0	0
Subconjunto				
ECVB	601,1	176,7	0	0
Logístico	426,0	1,688	0,30	30
Gompertz	424,3 ¹	0	0,70	70

ECVB = Modelo U- von Bertalanffy; 609,6¹ y 424,3¹= AIC_{min}

El R^2 estimado a partir del ajuste no lineal de los modelos candidatos aplicados al subconjunto de datos, que excluyó las edades de uno y dos años, demostró que los tres modelos candidatos explicaron adecuadamente la variación de los datos de longitud-edad (Cuadro 5); sin embargo, al contrario del ajuste de los datos totales, el AIC demostró que el modelo U-von Bertalanffy no ajustó sustancialmente dichos datos, según los valores del ΔAIC_c ($\Delta AIC_c > 10$) y el valor del W_i ($W_i = 0$; Cuadro 6). Estos resultados comprobaron que un valor relativamente alto de R^2 no implica un buen ajuste de los datos, y que la selección más precisa del modelo de mejor ajuste se obtiene utilizando el AIC [25-27].

Al igual que con los datos de longitud-edad observados, que también excluyeron los peces de uno y dos años de edad, el modelo que produjo un mejor ajuste del subconjunto de datos fue el de Gompertz según el AIC_{min} y el valor del W_i (Cuadro 6), aunque sin mostrar superioridad sobre el modelo Logístico ($W_i < 90\%$), razón por la cual se procedió también a calcular un modelo promedio.

El valor del L_∞ que representó al modelo promedio en el subconjunto de datos fue de 75,0 (intervalo 44,1-105,9) cm de longitud total; el de K , 0,284 (intervalo 0,108-0,459) año⁻¹; el de T_p , 3,9 (intervalo 2,2-5,6) años y el de W_0 , 9,1 (intervalo 4,9-13,4) cm de longitud total, que fueron aproximadamente igual a los estimados en el trabajo a partir de los datos de longitud-edad observados (Cuadro 4).

Aparentemente, cuando se utilizan datos de longitud-edad que incluyen todas las clases de edades, el modelo de von Bertalanffy produce un mejor ajuste; mientras que en muestras donde faltan los peces más jóvenes (edades de uno y dos años), los datos de longitud-edad son mejor ajustados por otros modelos como el de Gompertz y el Logístico [20,29].

Los datos relativamente completos de longitud-edad facilitan el modelaje del crecimiento desde un tamaño inicial hasta uno asintótico, con una tasa de crecimiento gradualmente decreciente y sin punto de inflexión en la curva, como es característico del modelo de von Bertalanffy [7,17]. Posiblemente, el valor relativamente alto del T_i estimado por el modelo U-von Bertalanffy en el conjunto completo de datos retro-calculados ($T_i = 22$ años; Cuadro 5), se deba a la falta de puntos de inflexión en la curva de dicho modelo.

La selección del modelo de mejor ajuste no sólo depende del patrón de crecimiento de la especie, sino también de la calidad y las características del conjunto de datos en cuanto a la información que contienen, donde el objetivo del AIC no solo es modelar los datos, sino también poner de manifiesto esta información [21,28].

Cuando la información de los datos incluye solamente peces juveniles, como en el caso de las lagunas de la confluencia de los ríos Solimões y Japurá del estado de Amazonas en Brasil, los datos no soportan bien el modelo de von Bertalanffy y se ajustan mejor a otros modelos como el Logístico y de Gompertz [20]; sin embargo, datos compuestos en su mayor parte por peces adultos, tampoco se ajustan bien al modelo de von Bertalanffy [20], como en el caso que nos atañe.

Gran parte de los estudios del crecimiento en peces se han realizados utilizando *a priori* el modelo de von Bertalanffy y generalmente con datos provenientes de la pesca artesanal, donde se ven afectados los estimados de los parámetros de crecimiento por la ausencia en los datos de peces muy jóvenes o muy viejos, debido a la selectividad de las artes de pesca [29]. Cuando los datos provienen de la pesca artesanal, es recomendable, por lo tanto, usar más de un modelo de crecimiento para seleccionar el que mejor describe la información de los datos disponibles, en lugar de estudiar el crecimiento en base al modelo único de von Bertalanffy.

En este sentido, es necesario revisar algunos trabajos como los realizados en *P. reticulatum* en la cuenca del río Cuiabá [14] y *P. punctifer* en la Amazonia boliviana [15], en las especies *P. corruscans* y *P. tigrinum* de la cuenca del río Cuiabá [16] y de la Amazonia boliviana [15] respectivamente, así como en *P. metaense* del río Apure en Venezuela [2], principalmente, si los estimados de los parámetros de crecimiento han sido utilizados para evaluar las poblaciones usando métodos como el de Beverton y Holt, el cual es muy sensitivo a los valores de L_∞ y K [12].

CONCLUSIONES

Los trabajos que hasta ahora se han hecho sobre el crecimiento de los bagres del Género *Pseudoplatystoma* han utilizado al modelo de von Bertalanffy como modelo único, seleccionado *a priori*, sin tomar en cuenta que

dicho modelo solo se ajusta a datos que incluyen todas las edades. En datos provenientes de la pesca artesanal, donde por efecto de la selectividad los peces jóvenes y los más viejos están excluidos, los modelos Logístico y de Gompertz son los que producen un mejor ajuste; no siendo suficiente utilizar solo el coeficiente de determinación R^2 para estimar el modelo que produce un buen ajuste, sino usar el criterio de la información de Akaike (AIC), que toma en cuenta el tipo de información contenida en los datos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente por el financiamiento del trabajo, así como a la Dirección del Instituto Limnológico por la logística prestada.

REFERENCIAS

- [1] BUITRAGO-SUÁREZ, U.R. and BROOKS, M.B. Taxonomy of the catfish genus *Pseudoplatystoma* Bleeker (Siluriforme: Pimelodidae) with recognition of eight species. *Zootaxa*, 1512, 2007, p. 1-38.
- [2] PÉREZ, A.S. and FABRÉ, N.M. Life-history characteristics of *Pseudoplatystoma metaense* (Teleostei: Siluriformes: Pimelodidae) from the northwestern Orinoco River Basin. *Neotropical Ichthyology*, 16(1), 2018, e160140, DOI: 10.1590/1982-0224-20160140.
- [3] GONZÁLEZ, A., MENDOZA, J., AROCHA, F. y MÁRQUEZ, A. Caracterización de la pesca artesanal en el río Orinoco sector Caicara-Cabruta. *Zootecnia Tropical*, 34(1), 2016, p. 23-35.
- [4] GONZÁLEZ, A.R. Bagres Pimelodidae del río Orinoco, *Pseudoplatystoma fasciatum*, composición química, pesquería, dinámica y evaluación de población. 1ª ed. Madrid (España): Editorial Académica Española (EAE), 2018, 53 p.
- [5] GONZÁLEZ, S.A.R., MENDOZA, J., AROCHA, F. y MÁRQUEZ, A. Selectividad de la red de enmalle en la captura del bagre rayado *Pseudoplatystoma fasciatum* de la cuenca del Orinoco medio. *Zootecnia Tropical*, 26(1), 2008, p. 63-70.
- [6] KHAN, M.A., KHAN, S. and KHAN, S. Precision of age estimates in striped snakehead *Channa striata* (Bloch, 1793) from the Ganga River and its tributaries (rivers Gomti and Yamuna). *Journal Applied Ichthyology*, 33(2), 2017, p. 230-235.
- [7] GONZÁLEZ, S.A.R., MENDOZA, J., AROCHA, F. y MÁRQUEZ, A. Edad y Crecimiento del bagre rayado *Pseudoplatystoma orinocoense* de la cuenca del Orinoco medio. *Zootecnia Tropical*, 28(2), 2010, p. 283-293.
- [8] SPURGEON, J.J., HAMEL, M.J., POPE, K.L. and PEGG, M.A. The Global Status of Freshwater Fish Age Validation Studies and a Prioritization Framework for Further Research. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23, 2015, p. 329-345.
- [9] PRIYANKA, M., TYAGI, R.K. and AMITABH, CH.D. Studies on age, growth and age composition of commercially important fish species, *Cirrhinus mrigala* (Hamilton, 1822) from the tributary of the Ganga river, India. *European Journal of Experimental Biology*, 5(2), 2015, p. 16-21.
- [10] KLEIN, Z.B., BONVECHIO, T.F., BOWEN, B.R. and QUIST, M.C. Precision and Accuracy of Age Estimates Obtained from Anal Fin Spines, Dorsal Fin Spines, and Sagittal Otoliths for Known-Age Largemouth Bass. *Southeastern Naturalist*, 16(2), 2017, p. 225-234.
- [11] QUIST, M.C. and ISERMAN, D.A. Age and growth of fishes: Principles and Techniques. 1ª ed. New York (EEUU): American Fisheries Society, 2017, 359 p.
- [12] GONZÁLEZ, S.A.R., MENDOZA, J., AROCHA, F. y MÁRQUEZ, A. Tasa de explotación y rendimiento sostenible de *Pseudoplatystoma fasciatum* en el eje Caicara - Cabruta del Orinoco. *Zootecnia Tropical*, 30(2), 2012, p.155-169.
- [13] REID, S. La biología de los bagres rayados *Pseudoplatystoma fasciatum* y *Pseudoplatystoma tigrinum* en la cuenca del río Apure, Venezuela. *Revista UNELLEZ, Ciencia y Tecnología*, 1(1), 1983, p. 13-41.
- [14] MATEUS, L.A.F. e PENHA, J.M.F. Dinâmica populacional de quatro espécies de grandes bagres na bacia do rio Cuiabá, Pantanal norte, Brasil (Siluriformes, Pimelodidae). *Revista Brasileira de Zoología*, 24(1), 2007, p. 87-98.
- [15] INTURIAS, C.A.D. Edad, crecimiento y reproducción de *Pseudoplatystoma fasciatum* y *Pseudoplatystoma tigrinum* en la Amazonía boliviana [Tesis Maestría Ciencias Biológicas y Biomédicas, Mención Ecología Acuática]. La Paz (Bolivia): Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímicas, 2008, 91 p.
- [16] MATEUS, L.A.F. and PETRERE Jr., M. Age, growth and yield per recruit analysis of the pintado *Pseudoplatystoma corruscans* (Agassiz, 1829) na bacia

- do rio Cuibá, Pantanal de Mato Grosso, Brasil. *Brazil Journal Biology*, 64(2), 2004, p. 257-264.
- [17] GONZÁLEZ, S.A.R., MENDOZA, J., AROCHA, F. y MÁRQUEZ, A. Edad y crecimiento del bagre dorado *Brachyplatystoma rousseauxi* del Orinoco medio según anillos de la espina pectoral. *Zootecnia Tropical*, 33(2), 2015, p. 153-161.
- [18] NAMIKI, C., KATSURAGAWA, M. and ZANI-TEIXEIRA, M.L. Growth and mortality of larval *Muctophum affine* (Muctophidae, Teleostei). *Journal of Fish Biology*, 86(1), 2015, p.1335-1347.
- [19] FEITOSA, C.V., ARAUJO, M.E. and FERREIRA, B.P. Estimates on age, growth and mortality of the french angelfish *Pomacanthus paru* (Bloch, 1787) (Teleostei: Pomacanthidae) in the southwestern Atlantic. *Journal of Applied Ichthyology*, 33(3), 2017, p. 409-414.
- [20] COSTA, L.R., BARTHEM, R.B., ALBERNAZ, A.L., BITTENCOURT, M.M. and VILLACORTA-CORRÊA, M.A. Modelling the growth of tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816) in floodplain lakes: model selection and multimodel inference. *Brazil Journal Biology*, 73(2), 2013, p. 397-403.
- [21] KATSANEVAKIS, S. and MARAVELIAS, D. Modelling fish growth: multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish and Fisheries*, 9(1), 2008, p. 178-187.
- [22] ARAGÓN-NORIEGA, E.A., ALCÁNTARA-RAZO, E., VALENZUELA-QUIÑONEZ, W. and RODRÍGUEZ-QUIROZ, G. Multi-model inference for growth parameter estimation of the bigeye croaker *Micropogonias megalops* in the upper Gulf of California. *Journal of Marine Biology and Oceanography*, 50(1), 2015, p. 25-38.
- [23] MARINOVIC, Z., LUJIC, J., BOLIĆ-TRIVUNOVIC, V. and MARKOVIĆ, G. Comparative study of growth in *Carassius gibelio* (Bloch, 1782) and *Rutilus rutilus* (L., 1758) from two Serbian reservoirs: Multi-model analysis and inferences. *Fisheries Research*, 173(1), 2016, p. 11-19.
- [24] ANSAH, Y.B. and FRIMPONG, A. Using model-base inference to select a predictive growth curve for farmed tilapia. *North American Journal of Aquaculture*, 77(3), 2015, p. 281-288.
- [25] TJØRVE, E. and TJØRVE, K.M.C. A unified approach to the Richards-model family for use in growth analyses: Why we need only two model forms. *Journal Theoretical Biology*, 267(3), 2010, p. 417-425.
- [26] TJØRVE, K.M.C. and TJØRVE, E. The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards. *Plos One*, 12(6), 2017, e0178691.
- [27] OLAYA-OCHOA, J. Modelos de regresión: El problema de la selección de variables. Escuela de Estadística, Universidad del Valle, Cali, Colombia [en línea]. 2016. Disponible: https://campusvirtual.univalle.edu.co/moodle/pluginfile.php/938562/mod_resource/content/1/QuintaSesionMdeR.pdf [citado 13 de febrero 2016].
- [28] BURNHAM, K.P. and ANDERSON, D.R. Model selection and multimodel inference: A practical information-theoretic approach. 1ª ed. New York (USA): Springer, 2002, 488 p.
- [29] ARZOLA-SOTELO, E.A. Aplicación del enfoque multimodelo para la evaluación del crecimiento individual de la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* en el Alto Golfo de California. *Ciencia Pesquera*, 22(1), 2014, p. 79-88.[30] BA, A., DIOUF, K., GUILHAUMON, F. and PANFILI, J. Slow growth of the overexploited milk shark *Rhizoprionodon acutus* affects its sustainability in West Africa. *Journal Fish Biology*, 87(1), 2015, p. 912-929.