

BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias · Universidad del Cauca

PUBLICACIÓN ANTICIPADA EN LÍNEA

El Comité Editorial de Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial informa que este manuscrito ha cumplido los requisitos editoriales y científicos y ha sido aprobado para publicación, con base en los conceptos emitidos por los pares evaluadores. Se publica anticipadamente, en versión pdf, de manera provisional, con base en la última versión electrónica del manuscrito y sin haber sido sometido a los procesos de edición, diagramación y corrección de estilo.

La versión anticipada de este manuscrito puede ser descargada, usada y citada, aclarando que la versión definitiva que se va a encontrar en la plataforma de la revista, puede diferir de ésta e aspectos de forma.

Crecimiento del bagre dorado *Brachyplatystoma rousseauxii* en la región del Orinoco Medio usando modelos múltiples *

Growth of the golden catfish *Brachyplatystoma rousseauxii* in the Middle Orinoco region using multiple models

GONZÁLEZ–SUÁREZ, ÁNGEL-RAFAEL¹

RESÚMEN

Tradicionalmente se ha utilizado el modelo de von Bertalanffy como patrón único en el estudio del crecimiento de los peces, considerándolo a priori como el único modelo que se ajusta a los datos de longitud-edad de las especies; una consideración que genera incertidumbres en los valores de los parámetros de crecimientos que son estimados, por cuanto se sabe que existen otros modelos de crecimiento que podrían ajustarse igualmente a los datos de longitud-edad. En este sentido, en la región del Orinoco Medio se hizo anteriormente un estudio del crecimiento de *Brachyplatystoma rousseauxii* utilizando el modelo tradicional de von Bertalanffy, y los resultados fueron usados posteriormente para evaluar la población; de ahí que el objetivo del presente trabajo fue validar los resultados del trabajo anterior, ajustando los mismos datos de longitud-edad a los modelos de crecimiento de la familia U Richards, y seleccionando el de mejor ajuste usando el Criterio de la Información de Akaike (AIC). Tal como se demostró en el primer trabajo, el modelo tradicional de von Bertalanffy se ajustó a los datos longitud-edad retro calculados, pero solo en un 35,4 %; mientras que la mayoría (64,6 %) se adaptó a los modelos U von Bertalanffy, U Logístico y U Gompertz, sin superioridad alguna de ninguno de ellos en el ajuste. Los parámetros

*Proyecto de investigación de origen: "Dinámica Poblacional del bagre dorado *Brachyplatystoma rousseauxii* en la región del Orinoco Medio". Financiación: Comisión de Investigación, UDO, Núcleo de Bolívar. Culminación: 23-01-2007.

¹Instituto Limnológico, Núcleo de Bolívar, Universidad de Oriente (UDO), MSc Ciencia Marinas, Biología Pesquera. Caicara del Orinoco, Venezuela. <https://orcid.org/0000-0002-3476-9307>

Correspondencia: angelgonzalez78@hotmail.com

Cómo citar este artículo

GONZÁLEZ–SUÁREZ, ÁNGEL-RAFAEL. Crecimiento del bagre dorado *Brachyplatystoma rousseauxii* en la región del Orinoco Medio usando modelos múltiples. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 21, n. 1, 2023, p. xx-xx. Doi:

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 13 de octubre 2021

Aprobado para publicación: 25 de abril 2022

de crecimiento estimados a partir de un modelo promedio fueron algo diferente a los obtenidos en el trabajo anterior, y por lo tanto se hace necesario reevaluar el recurso, para conocer realmente su nivel de explotación en el Orinoco Medio.

PALABRAS CLAVES: Pesquería; Evaluación de poblaciones; Dinámica poblacional; Administración de recursos pesqueros; Peces de agua dulce; Río Orinoco; Grandes bagres; *Brachyplatystoma rousseauxii*; Edad y Crecimiento; Parámetros de crecimiento.

ABSTRACT

Traditionally, the von Bertalanffy model has been used as the only standard in the study of fish growth, considering it a priori as the only model that fits the length-age data of the species; a consideration that generates uncertainties in the values of the growth parameters that are estimated, since it is known that other growth models could also fit the length-age data. In this sense, in the Middle Orinoco region, a study of *Brachyplatystoma rousseauxii* growth was previously done using the traditional von Bertalanffy model, and the results were subsequently used to evaluate the population; hence the objective of the present work was to validate the results of the previous work, fitting the same length-age data to the growth models of the U Richards family, and selecting the best fit using the Akaike Information Criterion (AIC). As demonstrated in the first paper, the traditional von Bertalanffy model fitted the back-calculated length-age data, but only 35;4 %; while the majority (64,6 %) fitted the U von Bertalanffy, U Logistic, and U Gompertz models, with no superiority of any of them in the fit. The growth parameters estimated from an average model were somewhat from those obtained in the previous work, and therefore necessary to re-evaluate the resource to know its level of exploitation in the Middle Orinoco.

KEY WORDS: Fishery; Stock assessment; Population dynamics; Fishery resource management; Freshwater fish; Orinoco River; Large catfish; *Brachyplatystoma rousseauxii*; Age and growth; Growth parameters.

INTRODUCCIÓN

El bagre dorado *Brachyplatystoma rousseauxii* es un pez de agua dulce incluido entre los grandes bagres de la Familia Pimelodidae del Orden Siluriformes, ampliamente distribuido en la cuencas de los ríos Amazonas y Orinoco (Agudelo-Córdoba et al., 2013; Barthem et al., 2017; Días et al., 2018), y particularmente en el Orinoco venezolano se encuentra difundido desde Puerto Ayacucho hasta el Delta, y en el río Apure (Brito et al., 2011). En el Orinoco representa la especie más importante en los desembarcos de los grandes bagres, después de *Pseudoplatystoma* spp, principalmente cuando el río alcanza su nivel máximo; observándose una disminución en la producción nacional a partir del año 1995, cuando alcanzó un máximo de 1450 ton, hasta unas 700 ton en años recientes, la cual fue independiente del pulso de inundación del Orinoco (González et al., 2017).

La disminución de la producción de *B. rousseauxii* durante los últimos años motivó la evaluación de la situación actual de la población, a través de un estudio sobre el Rendimiento y la Biomasa por Recluta de la especie en el Orinoco Medio (González et al., 2017); un estudio que demostró la existencia de un recurso en el límite de su explotación, debido principalmente a la captura de peces de tamaños relativamente pequeños. Sin embargo, este resultado siempre dejó incertidumbre por cuanto la evaluación se hizo basándose en parámetros de crecimiento estimados a partir de un modelo seleccionado a priori, el cual fue el modelo tradicional de von Bertalanffy (González et al., 2015); cuando actualmente se sabe que la evaluación de poblaciones requiere del uso de modelos que reflejen con precisión los patrones de crecimiento biológico de

las especies, y en estos estudios el uso de un solo modelo de crecimiento no lo garantiza (Vincenzi et al, 2020; Bolser et al., 2021).

La incertidumbre sobre qué tan bien los diferentes modelos predicen el crecimiento de los peces, ha conducido a la introducción de nuevos métodos, modelos y procedimientos de selección de modelos, siendo común actualmente la adaptación de múltiples modelos de crecimiento a los datos longitud-edad de los peces y el uso de procedimientos de la teoría de la información para seleccionar el modelo que mejor se ajuste. La selección de modelos mediante la teoría de la información de Akaike (AIC) es una práctica relativamente nueva en las ciencias biológicas, surgida como una forma de explicar la incertidumbre que rodea al uso a priori de modelos de crecimiento, como generalmente se ha hecho con el modelo tradicional de von Bertalanffy (Tjørve and Tjørve, 2017). De allí que en este trabajo se partió de la hipótesis que no solo el modelo tradicional de von Bertalanffy puede producir un buen ajuste de los datos longitud-edad de *B. rousseauxii*, como lo hicieron González et al. (2015), sino que muy bien podrían ajustarse a otros modelos; siendo el objetivo del trabajo verificar los resultados anteriores usando los mismos datos de longitud-edad, pero utilizando varios modelos que incluyeron los de la Familia U Richards, por la factibilidad que proporcionan al promediar los parámetros de crecimiento cuando son más de uno los modelos que se ajustan a los datos.

Los modelos de la familia U-Richards usados en el trabajo fueron el U von Bertalanffy, el U Logístico y el U Gompertz, mientras que la selección del modelo de mejor ajuste se hizo utilizando el Criterio de la Información de Akaike (AIC) (Tjørve and Tjørve, 2010; Tjørve and Tjørve, 2017; Yusel and Baki, 2018; Gurkan and Demirelli, 2019); un estudio que permitiría la estimación de parámetros de crecimiento más preciso, para una más efectiva evaluación de la población, y una toma de decisiones precisas para la ordenación del recurso (Flinn and Midway, 2021; Liu et al., 2021).

MÉTODO

El trabajo se realizó en base en los datos de longitud-edad empleados por González et al. (2015) para el estudio del crecimiento de *B. rousseauxii* en la región del Orinoco medio, colectados durante el año 2008 en el puerto pesquero de Cabruta, ubicado en el estado Gúarico en Venezuela (7°39'32" N, y 66°15' 25" W), región con una altitud de 42 m, una media anual de la humedad relativa entre 67 y 79 %, una temperatura promedio entre 26 y 28 °C, y una precipitación anual de más de 1200 mm (Ferrer et al., 2014).

En el trabajo se usaron los datos de longitud-edad retro-calculados a partir de los anillos de crecimiento de la espina pectoral, así como los de longitud-edad observados, utilizados por González et al. (2015); solo que ahora, en lugar del modelo tradicional de von Bertalanffy, los datos fueron ajustados a los modelos U-von Bertalanffy, U-Logístico y U-Gompertz, pertenecientes a la familia U-Richards. El modelo global U-Richards estuvo representado por las siguientes ecuaciones:

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

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

A partir de las ecuaciones 1 y 2 se derivó el modelo U-von Bertalanffy dándole a d un valor de $2/3$ ($d = 2/3$), así como el modelo U-Logístico otorgándole a d un valor de dos ($d= 2$) (Tjørve and Tjørve, 2010; Renner-Martin, 2019; González and Márquez, 2020).

El modelo U-Gompertz también se derivó del modelo global U-Richards, pero calculando a d como un límite, sin darle valor alguno (Tjørve and Tjørve, 2017; González and Márquez, 2020); utilizando las siguientes ecuaciones:

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

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

En las ecuaciones 1, 2, 3 y 4, $L(t)$ = longitud teórica, L_{∞} = longitud asintótica, t = edad, K = tasa máxima de crecimiento relativo en la inflexión de la curva, T_i = edad en la inflexión de la curva, d = exponente que controla el valor en la inflexión; W_0 = valor inicial de la curva ($t = 0$), e = número neperiano.

La selección del modelo de mejor ajuste a los datos se hizo utilizando el Criterio de la Información de Akaike (AIC), según las siguientes ecuaciones:

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

$$(\text{Ec.6})$$

$$\Delta AICc = AICc - AIC_{\text{mínimo}}$$

donde: $AICc$ es el AIC de cada modelo, $\sigma^2 = \frac{RSS}{n}$, RSS fue la suma de cuadrado residual de cada modelo, n el tamaño de la muestra, y k el número total de parámetros estimados en cada modelo. $AIC_{\text{mínimo}}$ fue el $AICc$ más pequeño entre los modelos y $\Delta AICc$, el grado de separación de cada $AICc$ con relación al $AIC_{\text{mínimo}}$.

El modelo con el $AIC_{\text{mínimo}}$ se consideró como el más preciso en el ajuste de los datos, de tal manera que mientras mayor fue el $\Delta AICc$ de cada modelo, menos probabilidad tuvo de producir un buen ajuste; considerándose en este sentido que los modelos donde el $\Delta AICc$ es menor que dos ($\Delta AICc < 2$) producen un buen ajuste de los datos, cuando tiene valores entre cuatro y siete ($4 \leq \Delta AICc \leq 7$) los ajusta medianamente y, cuando es mayor que diez ($\Delta AICc > 10$), esencialmente no producen un buen ajuste (González and Márquez, 2020).

La verificación de la selección del mejor modelo se hizo mediante la ecuación de ponderación de Akaike (W_i), así:

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

donde: Δ_i fue el $\Delta AICc$ de cada modelo.

Según el valor de W_i , se consideró como el modelo de mejor ajuste aquel cuyo valor fue mayor que 0,9 ($W_i > 90\%$), mientras que cuando los valores de W_i fueron menor que 0,9 ($W_i < 90\%$), se supuso

que ningún modelo fue superior a otro y por lo tanto hubo que determinar un modelo promedio, cuyos parámetros se estimaron por las siguientes ecuaciones:

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

$$ES = \sum W_i * (VarX_i + (X_i - X_{prom})^2)^{1/2} \quad (\text{Ec.9})$$

donde: $X_{promedio}$ fue el valor promedio de los parámetros X estimado por cada modelo i (X_i), y ES el error estándar; siendo $VarX_i$ la varianza de los datos, según cada modelo (González and Márquez, 2020).

RESULTADOS

Los valores de los parámetros de crecimiento L_∞ , K , T_i y W_0 , así como los estadísticos RSS y R^2 estimados a partir del ajuste no lineal de los datos longitud-edad retro-calculados, según los métodos de von Bertalanffy tradicional (González et al., 2015), U von Bertalanffy, U Logístico y U Gompertz, se encuentran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Parámetros de crecimiento y estadísticos de *Brachyplatystoma rousseauxii*, según el ajuste no lineal de los modelos de crecimiento a los datos de longitud-edad retro-calculados.

Modelos	L_∞	K	T_i	W_0	RSS	R^2
von Bertalanffy ¹	130,1 ± 22,4	0,233 ± 0,109			5094,38	92,6
U von Bertalanffy	119,9 ± 3,5	0,154 ± 0,012	-0,5 ± 0,04	45,2 ± 0,3	5109,27	92,6
U Logístico	112,1 ± 2,2	0,135 ± 0,007	0,6 ± 0,06	46,6 ± 0,2	5153,2	92,6
U Gompertz	117,4 ± 3,0	0,145 ± 0,010	-0,1 ± 0,04	41,5 ± 0,0	5118,49	92,6

¹Datos de González et al., (2015)

L_∞ = Longitud asintótica; K = Tasa máxima de crecimiento relativo; T_i = Edad en el punto de inflexión; RSS = Suma de cuadrado residual; R^2 = Coeficiente de determinación

Según los valores del R^2 , puede concluirse que todos los modelos usados produjeron un buen ajuste de los datos longitud-edad de *B. rousseauxii*, como se ha hecho generalmente con el modelo tradicional de von Bertalanffy utilizado como modelo único, como en el caso de los trabajos de González et al. (2015) en el Orinoco medio en Venezuela, Agudelo Córdoba et al. (2013) en el río Caquetá en Colombia y Hauser et al. (2018) en la cuenca del río Madeira en Brasil, Bolivia y Perú. Sin embargo, en realidad, estos valores del R^2 solo indicaron que los modelos utilizados estadísticamente explicaron convenientemente la variación de la longitud con la edad de la especie y que dichos valores no pueden considerarse como indicadores de un buen ajuste de los datos a los modelos utilizados (González et al., 2020). En este sentido, durante los últimos años se ha utilizado el AIC para seleccionar el modelo de mejor ajuste, en lugar del R^2 (Yusel and Baki, 2018; Bolser et al., 2018; Flinn and Midway, 2021; Liu et al., 2021) el cual demostró que, igualmente, todos los modelos produjeron un buen ajuste de los datos longitud-edad retro-calculados, puesto que los valores del ΔAIC fueron menores que dos ($\Delta AIC < 2$); no obstante, ninguno de los modelos fue superior a otro en el ajuste, por cuanto los valores del W_i estuvieron por debajo del 90 % (Cuadro 2). Tal como lo señalaron González et al. (2015), el modelo tradicional de von Bertalanffy produjo un buen ajuste de los datos longitud-edad retro-calculados de *B. rousseauxii*, pero, según el valor de W_i del AIC, con solo un ajuste del 35,4 % de los datos, ajustándose la mayoría de ellos (64,6 %) a los modelos U von Bertalanffy (27,6 %), U Logístico (13,3 %) y U Gompertz (23,7 %) (Cuadro 2).

No solo el modelo tradicional de von Bertalanffy produjo un buen ajuste de los datos longitud-edad usados por González et al. (2015), sino que otros modelos, como los de la familia U Richards, también producen un buen ajuste.

Cuadro 2. Criterio de la Información de Akaike (AIC) para la selección del modelo de mejor ajuste a los datos longitud-edad retro-calculados de *Brachyplatystoma rousseauxii*.

Modelos	AIC	ΔAIC	W_i	W_i (%)
von Bertalanffy	439,6 ¹	0,00	0,354	35,4
U von Bertalanffy	440,1	0,50	0,276	27,6
U Logístico	441,6	1,95	0,133	13,3
U Gompertz	440,5	0,80	0,237	23,7

¹AIC mínimo

AIC = Criterio de Información de Akaike, ΔAIC = Separación del AIC con relación al AIC mínimo; W_i = Ponderación de Akaike; W_i (%) = Ponderación de Akaike en %

Como ninguno de los modelos usados fue superior a otro en cuanto al ajuste de los datos, hubo que promediar los parámetros de crecimiento estimados por cada modelo, incluyendo al von Bertalanffy tradicional; sin embargo, el único parámetro que se pudo promediar fue el L_∞ , por tener una misma interpretación en todos los modelos. El valor de K no se pudo promediar a partir de todos los modelos usados, por cuanto tiene una interpretación diferente en el modelo von Bertalanffy tradicional con relación a los de la familia U Richards (Tjørve & Tjørve, 2017) procediéndose a promediar este parámetro K, junto con los parámetros T_i y W_0 , solo a partir de los modelos U von Bertalanffy, U Logístico y U Gompertz.

El promedio del L_∞ fue de 121,9 cm de longitud total, con un intervalo de confianza entre 32,9 y 210,8 cm de longitud total (Cuadro 3); un promedio menor que el estimado por González et al. (2015) en 130,1 cm de longitud total, aunque la diferencia de 8,2 cm puede considerarse de poca importancia, para peces que alcanzan relativamente un gran tamaño. En este sentido, un ejemplar de *B. rousseauxii* capturado recientemente en el río Orinoco midió aproximadamente 200,0 cm de longitud total (Agencia Carabobeña de Noticia ACN, 2021), similar a la longitud máxima del intervalo de confianza estimado en el trabajo. La longitud máxima de *B. rousseauxii* en el Orinoco Medio es similar a la reportada para el río Caquetá en Colombia, de 143,0 cm de longitud total para las hembras y 129,0 cm de longitud total para los machos (Agudelo-Córdoba et al., 2013) e igualmente similar a la señalada para el río Madeira de Brasil, donde la longitud máxima de *B. rousseauxii* es de 102,8 cm de longitud estándar (Hauser et al., 2020).

Cuadro 3. Promedio del L_∞ de *Brachyplatystoma rousseauxii*, calculado a partir de los estimados por los diferentes modelos de crecimiento. Datos retro-calculados

Modelos	W_i	L_∞	L_∞ Estim.	Error Estim.	Valor Inf.	Valor Sup.
von Bertalanffy	0,354	130,1	46,1	30,7	15,3	76,8
U von Bertalanffy	0,276	119,9	33,1	24,0	9,1	57,1
U Logístico	0,133	112,1	14,9	12,9	2,0	27,9
U Gompertz	0,237	117,4	27,8	21,2	6,5	49,0
Promedio			121,9	88,8	32,9	210,8

De la misma forma como se obtuvo el promedio del L_∞ estimado por los modelos usados en el estudio, incluyendo el modelo tradicional de von Bertalanffy (Cuadro 4), igualmente se hizo con los valores de K, T_i y W_0 , estimados a partir de los modelos U von Bertalanffy, U Logístico y U Gompertz (Cuadro 4); estimándose un promedio para K = 0,147 (0,051-0,242) año⁻¹, T_i = -0,13 (-0,38 – 0,12) años, y W_0 = 43,9 (15,7–72,1) cm.

Cuadro 4. Promedio de la tasa de crecimiento máxima relativa (K), tiempo de inflexión (T_i) y longitud a la edad cero (W₀) de *Brachyplatystoma rousseauxii*, según los métodos U von Bertalanffy y U Gompertz. Datos retro-calculados

Modelos	K			T _i			W ₀		
	VE	VI	VS	VE	VI	VS	VE	VI	VS
U von Bertalanffy	0,066	0,027	0,105	-0,21	-0,34	-0,09	19,3	8,2	30,4
U Logístico	0,028	0,006	0,050	0,12	0,03	0,22	9,6	2,0	17,2
U Gompertz	0,053	0,019	0,087	-0,03	-0,06	-0,01	15,0	5,5	24,5
Promedio	0,147	0,051	0,242	-0,13	-0,38	0,12	43,9	15,7	72,1

VE = Valor Estimado; VI = Valor Inferior; VS = Valor Superior

La mayoría de las curvas de crecimiento son sigmoideas y asintóticas y representan una variable que se incrementa primero lentamente para luego acelerarse y finalmente disminuir; es decir, con un crecimiento inicial lento cerca de la eclosión y el nacimiento, que luego aumenta en velocidad y finalmente tiende a estabilizarse hacia los valores adultos. Sin embargo, cuando se ha estudiado el crecimiento en peces frecuentemente solo se habla de una constante de crecimiento K, y la longitud máxima que puede alcanzar un pez (L_{∞}), olvidándose otras características de la curva como el punto de inflexión (T_i) y el valor de nacimiento o eclosión (W₀), los cuales también son útiles para caracterizar el crecimiento de los peces y que son rasgos fáciles de controlar y discutir usando las ecuaciones 1 y 2 de U Richards, como una poderosa herramienta para la interpretación y caracterización de los patrones de crecimiento de los peces (Tjørve and Tjørve, 2017).

El crecimiento de *B. rousseauxii*, según el promedio de los parámetros estimados por los modelos U von Bertalanffy, U Logístico y U Gompertz, estaría representado por una curva de crecimiento con la forma sigmoidea característica de los modelos U Richards (Figura 1), la cual corta al eje de las y en un valor de W₀ = 43,9, que vendría a ser la asíntota inferior de la curva, mientras que el L_{∞} sería la asíntota superior. El valor negativo del promedio del parámetro T_i (-0,13 años) indicó que dicho valor estaría ubicado a la izquierda del eje de las y, y correspondería al punto de la proyección de la curva que coincide aproximadamente con el valor de L_i = 38,2 cm, el cual correspondió al 29,6 % del L_{∞} , que es lo que se espera para el modelo U von Bertalanffy, como el modelo de mejor ajuste en comparación con el U Logístico y el U Gompertz (Tjørve and Tjørve, 2017).

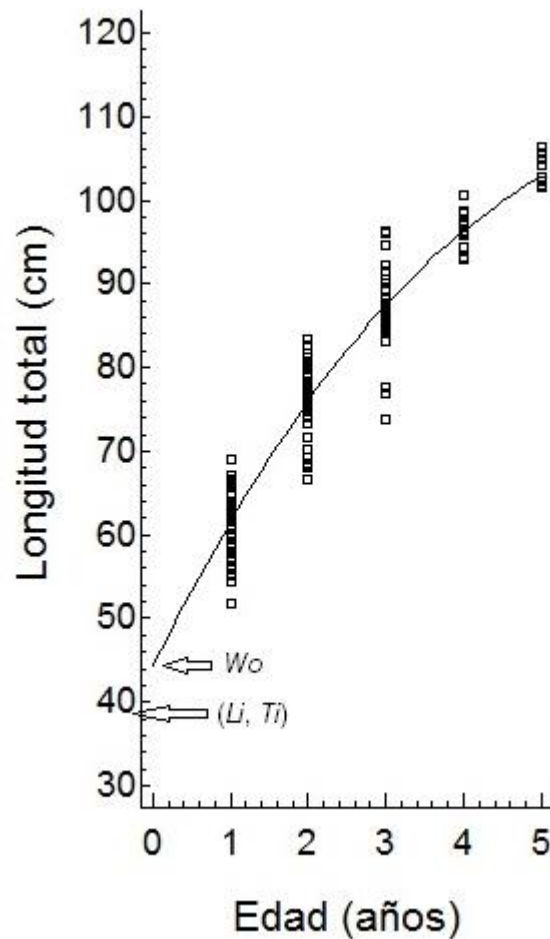


Figura 1. Curva de crecimiento de *Brachyplatystoma rousseauxii* según el promedio de los parámetros de crecimiento estimados de los modelos U von Bertalanffy y U Gompertz. Datos retro-calculados

Realmente, este es el primer estudio sobre el crecimiento de *B. rousseauxii* con base en modelos múltiples, y por lo tanto no se pueden establecer comparaciones con otros trabajos que han utilizado el modelo tradicional de von Bertalanffy como modelo único en el cual, excepto el L_∞ , los parámetros de crecimiento tienen interpretaciones diferentes a los modelos U Richards (Tjørve and Tjørve, 2017).

En el Cuadro 5 están representados los valores de los parámetros de crecimiento L_∞ , K , T_i y W_0 , así como el coeficiente de determinación R^2 y el ΔAIC , de los datos longitud-edad observados según los diferentes modelos de crecimiento aplicados en esta investigación. Igualmente, según el R^2 todos los modelos usados explican de forma adecuada la variación de la longitud con la edad de *B. rousseauxii*, incluyendo el modelo tradicional de von Bertalanffy, sin embargo, tal como lo demostraron González et al. (2015), no produjo un buen ajuste de los datos, según los valores del ΔAIC y del W_i (Cuadro 5).

Cuadro 5. Parámetros de crecimiento y estadísticos de *Brachyplatystoma rousseauxii*, según el ajuste no lineal de los modelos de crecimiento a los datos de longitud-edad Θ observados.

Modelos	L_{∞}	K	T_i	W_o	R^2	ΔAIC	w_i
von Bertalanffy ¹	111,4 ± 1,5	0,633 ± 0,024			78,7	70,9	0,00
U von Bertalanffy	194,3 ± 78,2	0,059 ± 0,038	-0,03 ± 1,7	32,2 ± 0,1	85,3	5,7	0,22
U Logístico	258,8 ± 200,7	0,043 ± 0,020	6,50 ± 8,70	46,6 ± 0,2	85,7	0	0,54
U Gompertz	188,3 ± 67,1	0,058 ± 0,031	0,89 ± 0,25	41,7 ± 2,8	78,2	1,0	0,24

¹Datos de González et al., (2015)

L_{∞} = Longitud asintótica; K = Tasa máxima de crecimiento relativo; T_i = Edad en el punto de inflexión; W_o = Asíntota inferior de la curval; R^2 = Coeficiente de determinación; ΔAIC = Separación del AIC con relación al AIC mínimo; w_i = Ponderación de Akaike.

Según los valores del ΔAIC y el W_i , los modelos que produjeron un mejor ajuste a los datos observados fueron los modelos U Logístico, U Gompertz y U von Bertalanffy; no obstante, los valores del L_{∞} y del T_i estimados por el Modelo U Logístico resultaron ser biológica y estadísticamente irreales (Vincenzi et al., 2020), mientras que los modelos U Gompertz y U von Bertalanffy apenas ajustaron el 24,0 y el 22 % respectivamente de los datos. De allí que se podría concluir que ninguno de los modelos usados produjo un buen ajuste a los datos observados, posiblemente debido al uso de una muestra sesgada en cuanto a la escasez de peces de mayor tamaño (Bolser et al., 2018). Cuando se utilizan datos de longitud-edad que incluyen todas las clases de edades, como los retro-calculados, pueden ser varios los modelos de crecimiento que se ajustan a los datos (Harry, 2017; Bolser et al., 2018), mientras que cuando se usan muestras que carecen de algunos grupos de edades, como los observados, los datos se ajustan específicamente a otros modelos como el U Logístico y el U Gompertz, siempre y cuando el número de peces correspondientes a las diferentes edades sean representativos (González et al., 2020).

Al modelar la relación entre la longitud y la edad de los peces con fines de evaluación de poblaciones, usando datos observados, cada clase de longitud-edad debe estar suficientemente representada para generar estimaciones de parámetros que reflejen el crecimiento biológico de las especies evitando, en lo posible, sesgos en las muestras debido a la relativa escasez de individuos de mayor tamaño y edad (Bolser et al., 2018). La muestra que se obtuvo en el Orinoco Medio para el estudio de la edad y el crecimiento de *B. rousseauxii*, fue producto de muestreos realizados durante la migración en la época de desove, cuando la población se hace más accesible para la captura en la región del Orinoco Medio, por ser la zona de desove de la especie en el Orinoco (González et al., 2015) estando constituida la muestra principalmente por peces que estaban madurando por primera vez, con escasez de peces de mayor edad.

La estimación del crecimiento de los peces es fundamental para comprender su historia vital y realizar evaluaciones pesqueras (Bolser et al., 2018), pudiendo influir la selección de los modelos que se ajusten a los datos de longitud-edad, en la precisión de la evaluación de las poblaciones y en la posterior toma de decisiones de gestión pesquera (Liu et al., 2021). En este sentido, se debería revisar el trabajo de González et al. (2017), el cual demostró una moderada explotación de *B. rousseauxii* en el Orinoco Medio, por cuanto la evaluación de la población se hizo usando parámetros de crecimiento estimados a partir del modelo único de von Bertalanffy, considerándolo a priori como el de mejor ajuste de los datos (Gonzalez et al., 2015), sin percatarse de la existencia de otros modelos que también producen un buen ajuste, como se demostró en el presente trabajo. En este sentido, también se deberían revisar algunos resultados de trabajos realizados sobre el crecimiento de *B. rousseauxii* en otras regiones como en el río Caquetá en Colombia (Agudelo-Córdoba et al., 2013) y en la cuenca del río Madeira en Brasil, Bolivia y Perú (Hauser et al., 2018), donde se usó el modelo tradicional de von Bertalanffy como modelo único.

CONCLUSIONES

Los datos de longitud-edad retro-calculados para el estudio del crecimiento del bagre dorado *B. rousseauxii* no solo se ajustan al modelo de crecimiento tradicional de von Bertalanffy, sino que igualmente pueden ajustarse a otros modelos como el U von Bertalanffy, el U Logístico y el U Gompertz, de la familia U Richards; por lo que se debería reconsiderar los resultados del estudio realizado por González et al., (2015), quienes realizaron un estudio del crecimiento de la especie seleccionando a priori el modelo tradicional de von Bertalanffy como modelo único. Igualmente, analizar los resultados de la evaluación de la población realizada por González et al., (2017), donde se demostró la existencia de una moderada explotación de *B. rousseauxii* en la región del Orinoco Medio.

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a la Comisión de Investigación del Núcleo de Bolívar de la Universidad de Oriente, por el financiamiento del proyecto que dio origen a la realización del presente trabajo, así como a la Dirección del Instituto Limnológico de la misma Universidad, por la logística prestada.

REFERENCIAS

- AGENCIA CARABOBEÑA DE NOTICIAS (ACN). Bagre dorado de casi dos metros es pescado en el río Orinoco. Abril, 2021. <https://www.acn.com.ve/bagredorado-casi-dos-metros-es-pescado-río-orinoco/> [consultado mayo 15 de 2021].
- AGUDELO-CÓRDOBA, EDWIN; JOVEN-LEÓN, ÁNGELA-VIVIANA; BONILLA-CASTILLO, CESAR-AUGUSTO; PETRERE-JUNIOR, MIGUEL; PELÁEZ, MARLON; DUPONCHELLE, FABRICE. Breeding, growth and exploitation of *Brachyplatystoma rousseauxii* Castelnau, 1855, in the Caqueta River, Colombia. *Neotropical Ichthyology*, v. 10, n. 3, 2013, p. 637-647.
- BARTHEM, RONALDO; GOULDING, MICHAEL; LEITE, ROSSEVAL; CAÑAS, CARLOS; FORSBERG, BRUCE; VENTICINQUE, EDUARDO; PETRY, PAULO; RIBEIRO, MAURO; CHUCTAYA, JUNIOR; MERCADO, ARMANDO. Goliath catfish spawning in the far western Amazon confirmed by the distribution of mature adults, drifting larvae and migrating juveniles. *Scientific Reports*, v. 7, n. 41784, 2017, p.1-13.
- BOLSER, DEREK; GRUSS, ARNAUD; LOPEZ, MARCK; REED, ERIN; MASCAREÑAS-OSORIO, ISMAEL; ERISMAN, BRAD. The influence of sample distribution on growth model output for a highly-exploited marine fish, the Gulf Corvina (*Cynoscion othonopterus*). *PeerJ*, v. 6, 2018, e5582. <https://doi.org/10.7717/peerj.5582>
- BRITO, ANNABELLY; LASSO-ALCALÁ, CARLOS; SÁNCHEZ-DUARTE, PAULA. Bagre dorado *Brachyplatystoma rousseauxii*. En: LASSO-ALCALÁ, CARLOS; SÁNCHEZ-DUARTE, PAULA. Los peces del delta del Orinoco. Diversidad, Bioecología, Uso y Conservación. Caracas (Venezuela): Fundación La Salle de Ciencias Naturales y Chevron C.A., 2011, 500 p.
- DÍAS, ROSA-MARÍA; DE OLIVEIRA, ANIELLY-GALEGO; GIACOMEL-RAUBERT, RAFAELA; ANGULO-VALENCIA, MIRTHA-AMANDA; AGOSTINO, ANGELO-ANTONIO; BARTHEM, RONALDO. Ecology of the Goliath catfish *Brachyplatystoma rousseauxii* (Castelnau 1855). En: BRINK, KERRY; GOUGH, PETER; ROYTE, JOSHUA; SCHOLLEMA, PÉTER-PAUL; WANNINGEN, HERMAN. From Sea to Source 2.0. Protection and restoration of fish migration in rivers worldwide. The Netherlands: World Fish Migration Foundation, 2018, 353 p.

- FERRER, JAIRO; HERNÁNDEZ, RAFAEL; VALERA, ÁNGEL-RAFAEL. Caracterización agroclimática de los llanos centrales del estado Guárico. *Revista Científica Observador del Conocimiento, Oficina Nacional de Ciencia y Tecnología (ONCTI)*, v. 2, n. 3, 2014, p. 173-186.
- FLINN, SHANE; MIDWAY, STEPHEN. Trends in Growth Modeling in Fisheries Science. *Fishes*, v. 6, n. 1, 2021, e6010001.
<https://doi.org/10.3390/fishes6010001>
- GONZÁLEZ-SUÁREZ, ANGEL-RAFAEL; MENDOZA, JEREMY; AROCHA, FREDDY; MÁRQUEZ, ARISTIDE. Edad y crecimiento del bagre dorado *Brachyplatystoma rousseauxii* del Orinoco medio según anillos de la espina pectoral. *Zootecnia Tropical*, v. 33, n. 2, 2015, p. 153-161.
- GONZÁLEZ-SUÁREZ, ANGEL-RAFAEL; MENDOZA, JEREMY; AROCHA, FREDDY; MÁRQUEZ, ARISTIDE. Estado de explotación del bagre dorado *Brachyplatystoma rousseauxii* en el Orinoco medio (Caicara-Cabruta), Venezuela. *Zootecnia Tropical*, v. 35, n. 3-4, 2017, p. 101-110.
- GONZÁLEZ-SUÁREZ, ANGEL-RAFAEL; MÁRQUEZ, ARISTIDE. Crecimiento del pez *Plagioscion squamosissimus* (Perciformes: Sciaenidae) según la inferencia de modelos múltiples en la cuenca del Orinoco medio, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, v. 68, n. 3, 2020, p. 892-897.
- GÜRCAN, MEHMET; DEMIRELLI, ARZU. Some important details on Richard growth model. *Thermal Science*, v. 23, n. 00, 2019, p. 350-360.
- HARRY, ALASTAIR. Evidence for systemic age underestimation in shark and ray ageing studies. *Fish and Fisheries*, v. 19, n. 2, 2017, p. 1–16.
- HAUSER, MARILIA; DORIA, CAROLINA; MELO, LARISSA; SANTOS, ARIEL; AYALA, DAIANA; NOGUEIRA, LORENA; AMADIO SIDNÉIDIA; FABRÉ, NIDIA-NOEMÍ; TORRENTE-VILARA, GISLENE; GARCÍA-VÁSQUEZ, AUREA; RENO, JEAN-FRANCOIS; CARVAJAL-VALLEJOS, FERNANDO; ALONSO, JUAN; NÚÑEZ-RODRIGUEZ, JESÚS; DUPONCHELLE, FABRICE. Age and growth of the Amazonian migratory catfish *Brachyplatystoma rousseauxii* in the Madeira River basin before the construction of dams. *Neotropical Ichthyology*, v. 16, n. 1, 2018, e170130.
<https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170130>
- LIU, KWANG-MING; WU, CHIAO-BIN; JOUNG, SHOOU-JENG; TSAI, WEN-PEI; SU, KUANG-YU. Multi-Model Approach on Growth Estimation and Association With Life History Trait for Elasmobranchs. *Frontiers in Marine Science*, v. 23, n. 1, 2021, e591692.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2021.591692>
- RENNER-MARTIN, KATHARINE; BRUNNER, NORBERT; KUHLEITNER, MANFRED; NOWAK, WERNER-GEORG; SCHEICHER, KLAUS. A Model for the Mass-Growth of Wild-Caught Fish. *Open Journal of Modelling and Simulation*, v. 7, n. 1, 2019, p. 19-40.
<http://www.scirp.org/journal/ojmsi>
- VINCENZI, SIMONE; JESENSEK, DUSAN; CRIVELLI, ALAIN. Biological and statistical interpretation of size-at-age, mixed-effects models of growth. *Royal Society Open Science*, v. 7, n. 1, 2020, e192146.
<http://dx.doi.org/10.1098/rsos.192146>
- TJØRVE, EVEN; TJØRVE, KATHLEEN. A unified approach to the Richards-model family for use in growth analyses: Why we need only two model forms. *Journal Theoretical Biology*, v. 267, n. 3, 2010, p. 417-425.
- TJØRVE, KATHLEEN; TJØRVE, EVEN. The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the Unified-Richards. *Plos One*, v. 12, n. 6, 2017, e0178691.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178691>

YUCEL, SENNAN; BAKI, BIROL. Growth models comparison in seabass (*Dicentrarchus labrax* L.1738) culture. International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES), v. 8, n. 1, 2018, p. 165-170.