


Edad, crecimiento y relación talla-peso de *Echiophis brunneus* en el Pacífico ecuatoriano: Un enfoque multimodelo bayesiano

Age, growth and length–weight relationship of *Echiophis brunneus* in the Ecuadorian Pacific: A Bayesian multimodel approach


Katherine Mero-Macías

maciaskathy560@gmail.com

 0009-0001-8334-8322


Ulises Mendoza-Mero

ulises25mendoza@gmail.com

 0009-0003-1613-6092

Kléver Mendoza-Nieto*

Klever.mendoza@uleam.edu.ec

 0000-0002-9724-1139

Christopher Mera

christopherjavier17@hotmail.com

 0009-0008-1944-4644

¹Facultad Ciencias de la Vida y Tecnologías, Universidad Laica 'Eloy Alfaro' de Manabí, Ciudadela Universitaria vía San Mateo, 130802, Manta, Manabí, Ecuador.

*Autor de correspondencia

Recibido / Received: 23/04/2025

Aceptado / Accepted: 17/03/2026

Citación / Citation: Mero-Macías, K.; Mendoza-Mero, U.; Mendoza-Nieto, K. 2026. Edad, crecimiento y relación talla-peso de *Echiophis brunneus* en el Pacífico ecuatoriano: Un enfoque multimodelo bayesiano. Bol. Invest. Mar. Cost., 55(2): 09-26.

RESUMEN

La anguila pecosa (*Echiophis brunneus*) es una especie de pez anguiliforme con alta incidencia en las capturas artesanales en Ecuador. Sin embargo, a nivel mundial, muchos aspectos de su biología permanecen desconocidos. Este estudio tuvo como objetivo estimar la edad y el crecimiento en la estructura poblacional de *E. brunneus* en las costas de Manabí, Ecuador. Entre junio y noviembre de 2024 se recolectaron ejemplares provenientes de la pesca artesanal. En laboratorio, se extrajeron otolitos sagitales para determinar la edad y parámetros de crecimiento mediante un análisis multimodelo (von Bertalanffy, Logístico, Gompertz) usando estadística bayesiana, dada la ausencia de juveniles. Se analizaron 110 hembras y 90 machos, con tallas entre 43 y 189 cm de LT. Los resultados mostraron un crecimiento alométrico negativo, con edades estimadas entre 1 y 9 años. El modelo de von Bertalanffy fue el de mejor ajuste según el criterio de validación cruzada (LOOIC), con estimaciones de $L_{\infty} = 181.28$ cm y $k = 0.24$ yr⁻¹. El patrón de crecimiento refleja un aumento de longitud más rápido que el peso, indicando un crecimiento lento a moderado y una longitud asintótica moderada. Estos resultados constituyen una línea base biológica que podrá ser utilizada en futuras evaluaciones pesqueras y estudios poblacionales de la especie.

Palabras claves: Edad y crecimiento; análisis multimodelo; estadística bayesiana; otolitos sagitales; relación talla-peso

ABSTRACT

The speckled worm eel (*Echiophis brunneus*) is an anguilliform fish species with a high incidence in artisanal catches in Ecuador. However, globally, many aspects of its biology remain unknown. This study aimed to estimate age and growth within the population structure of *E. brunneus* along the coast of Manabí, Ecuador. Between June and November 2024 specimens were collected from artisanal fisheries. In the laboratory, sagittal otoliths were extracted to determine age and growth parameters through a multimodel analysis (von Bertalanffy, Logistic, Gompertz) using Bayesian statistics, given the absence of juveniles in the sample. A total of 110 females and 90 males were analysed, with total lengths ranging from 43 to 189 cm TL. The results indicated negative allometric growth, with estimated ages ranging from 1 to 9 years. The von Bertalanffy model provided the best fit according to the cross-validation criterion (LOOIC), yielding estimates of $L_{\infty} = 181.28$ cm and $k = 0.24$ yr⁻¹. The growth pattern reflects a faster increase in length than in weight, indicating slow to moderate growth and a moderate asymptotic length. These findings provide a biological baseline that may be used in future fisheries assessments and population studies of the species.

Keywords: Age and growth; multimodel analysis; Bayesian statistics; sagittal otoliths; length–weight relationship

INTRODUCCIÓN

La anguila pecosa, *Echiophis brunneus* (Castro-Aguirre y Suárez de los Cobos, 1983), es una especie bentónica de pez anguilliforme de la familia Ophichthidae, que habita en las aguas tropicales y subtropicales del océano Pacífico Oriental, y puede llegar a medir hasta 140 cm de longitud total (LT) (McCosker y Rosenblatt, 1995). Esta especie presenta una reproducción ovípara, con fecundación externa por parte de los machos (Casadevall et al., 2001). Se ha registrado que alcanza la talla media de madurez sexual a 85.6 cm LT (Gómez et al., 2014). Su dieta se compone principalmente de peces pelágicos pequeños y crustáceos que habitan en fondos bentónicos y arenosos (Berg, 1958). Morfológicamente, se distingue por su cuerpo largo de color marrón, vientre claro y manchas oscuras en el dorso, además de una boca grande y puntiaguda, con dientes afilados y algunos con forma de colmillo (Campos-León et al., 2023).

A nivel mundial, aún se desconocen aspectos biológicos de *Echiophis brunneus*. Hasta ahora, se han realizado estudios centrados en su talla de captura por esfuerzo pesquero y madurez sexual (Gómez et al., 2014), así como en sus avistamientos en diversas zonas geográficas (Ruiz-Campos y Castro-Aguirre, 2002; Campos-León et al., 2023). Según la evaluación de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN, *E. brunneus* está catalogada como de Preocupación Menor (LC) (McCosker et al., 2010). En Ecuador, las capturas de esta especie son incidentales y provienen de las pesquerías artesanales utilizando anzuelo, redes de enmalle y arrastre, siendo los peces pelágicos pequeños y demersales los objetivos principales de la pesca (Jiménez Prado y Béarez, 2004). Aunque *E. brunneus* no tiene una relevancia económica significativa por el consumo de su carne, en el país se aprovecha para la producción de harina de pescado (Ormaza-González et al., 2015).

En peces óseos los estudios de edad y crecimiento se basan generalmente en el análisis interpretativo de estructuras calcificadas como por ejemplo otolitos, escamas, o vértebras (Panfili et al., 2002; Kratochvil et al., 2023). Si bien estos análisis brindan información crucial sobre la historia de vida de los peces, también son importantes para la gestión pesquera (Vieira, 2023). La información extraída de estos estudios permite comprender características particulares de especies acuáticas, por ejemplo: mortalidad, longevidad, edad de madurez sexual, reclutamiento, entre otras, estableciendo información esencial que es la base

INTRODUCTION

The Pacific spoon-nose eel, *Echiophis brunneus* (Castro-Aguirre and Suárez de los Cobos, 1983), is a benthic species of anguilliform fish belonging to the family Ophichthidae. It inhabits the tropical and subtropical waters of the Eastern Pacific Ocean and can reach a total length (TL) of up to 140 cm (McCosker and Rosenblatt, 1995). This species exhibits oviparous reproduction, with external fertilisation by males (Casadevall et al., 2001). It has been reported that the species reaches the mean size at sexual maturity at 85.6 cm TL (Gómez et al., 2014). Its diet primarily consists of small pelagic fish and crustaceans inhabiting benthic and sandy seafloors (Berg, 1958). Morphologically, it is distinguished by its long brown body, pale belly, and dark spots on its back, as well as a large, pointed mouth with sharp teeth, some of which are fang-like (Campos-León et al., 2023).

Globally, many biological aspects of *E. brunneus* remain unknown. To date, studies have focused on catch size per fishing effort and sexual maturity (Gómez et al., 2014), as well as sightings in various geographical areas (Ruiz-Campos and Castro-Aguirre, 2002; Campos-León et al., 2023). According to the IUCN Red List of Threatened Species assessment, *E. brunneus* is categorised as Least Concern (LC) (McCosker et al., 2010). In Ecuador, catches of this species are incidental and originate from artisanal fisheries using hooks, gillnets, and trawls, where small pelagic and demersal fish are the primary targets (Jiménez Prado and Béarez, 2004). Although *E. brunneus* lacks significant economic relevance for meat consumption, it is utilized in the country for fishmeal production (Ormaza-González et al., 2015).

In bony fish, age and growth studies are generally based on the interpretative analysis of calcified structures, such as otoliths, scales, or vertebrae (Panfili et al., 2002; Kratochvil et al., 2023). While these analyses provide crucial information on the life history of fish, they are also important for fisheries management (Vieira, 2023). The data extracted from these studies allow for an understanding of the particular characteristics of aquatic species, such as mortality, longevity, age at sexual maturity, and recruitment, among others. This establishes essential information that serves as the basis for conducting population demographic studies (Winkler et al., 2019).

Multi-model analysis and Bayesian statistics are essential in fisheries assessment, overcoming the limitations of traditional

para la ejecución de estudios demográficos poblacionales (Winkler *et al.*, 2019).

El análisis multimodelo y la estadística bayesiana son esenciales en la evaluación pesquera, superando las limitaciones de los métodos tradicionales y mejorando la precisión al integrar incertidumbre y variabilidad (Gelman *et al.*, 2020; Smart and Grammer, 2021). La estadística bayesiana, además, se destaca por su capacidad para incorporar información *a priori* en especies con datos limitados (Monnahan, 2024), y ha ganado fuerza debido a su potencial para resolver problemas que los métodos tradicionales no pueden abordar, basándose fundamentalmente en la incorporación de dicha información (Correa y Barrera, 2019).

Diversos estudios sobre la edad y el crecimiento de especies de la familia Ophichthidae han sido realizados a través de la interpretación de los anillos de crecimiento en otolitos. Por ejemplo, Clark (2000) estimó el crecimiento de la anguila serpiente gigante (*Ophichthus rex*) en el golfo de México, y Goicochea *et al.* (2012) evaluaron los parámetros de crecimiento de *Ophichthus remiger* en el norte del mar peruano. No obstante, en las aguas ecuatorianas y otras regiones del mundo, aún no se han llevado a cabo investigaciones específicas sobre la estimación de la edad y el crecimiento de la anguila pecosa. Por lo tanto, debido a la falta de información biológica sobre *E. brunneus* tanto a nivel global como en Ecuador, este estudio tiene como objetivo establecer una línea base para estimar los parámetros de crecimiento mediante el uso de multimodelos, con el fin de mejorar el conocimiento sobre la historia de vida de esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fase de campo

Durante salidas de campo diarias, desde junio hasta noviembre de 2024, los muestreos se realizaron en el sitio de desembarque Jaramijó, ubicado en Manabí, Ecuador (Figura 1). Los ejemplares de *E. brunneus*, provenientes de los desembarques de las flotas artesanales, se trasladaron al laboratorio de la Facultad Ciencias de la Vida y Tecnologías para su respectivo procesamiento. En bitácoras de campo se registró la longitud total (LT) de los ejemplares utilizando una cinta métrica graduada en centímetros (cm) y el peso total en gramos (g) mediante una balanza electrónica portátil. Los datos compilados se digitalizaron en una base de datos para sus análisis posteriores. La recolección de los

methods and improving precision by integrating uncertainty and variability (Gelman *et al.*, 2020; Smart and Grammer, 2021). Furthermore, Bayesian statistics is noted for its ability to incorporate *a priori* information in species with limited data (Monnahan, 2024). It has gained momentum due to its potential to resolve problems that traditional methods cannot address, fundamentally based on the incorporation of such information (Correa and Barrera, 2019).

Various studies on the age and growth of species within the Ophichthidae family have been conducted through the interpretation of growth rings in otoliths. For instance, Clark (2000) estimated the growth of the giant snake eel (*Ophichthus rex*) in the Gulf of Mexico, and Goicochea *et al.* (2012) evaluated the growth parameters of *Ophichthus remiger* in the northern Peruvian sea. However, in Ecuadorian waters and other regions of the world, specific research on the age and growth estimation of the Pacific spoon-nose eel has not yet been carried out. Therefore, due to the lack of biological information on *E. brunneus* both globally and in Ecuador, this study aims to establish a baseline for estimating growth parameters using multi-models, in order to enhance the knowledge of the life history of this species.

MATERIALS AND METHODS

Field phase

During daily field trips from June to November 2024, sampling was conducted at the Jaramijó landing site, located in Manabí, Ecuador (Figure 1). Specimens of *E. brunneus* from the artisanal fleet landings were transported to the laboratory of the Faculty of Life Sciences and Technologies for processing. Total length (TL) was recorded in field logs using a measuring tape graduated in centimeters (cm), and total weight in grams (g) was measured using a portable electronic scale. The compiled data were digitized into a database for subsequent analysis. The collection of specimens was carried out in accordance with the Authorization for the Collection of Specimens of Biological Diversity Species No. 924; MAATE-ARSFC-2024-0924, granted by the Ministry of the Environment, Water and Ecological Transition of Ecuador (MAATE), ensuring compliance with national regulations on the research and use of biological resources.

ejemplares se efectuó conforme a la Autorización de Recolección de Especímenes de Especies de la Diversidad Biológica No. 924; MAATE-ARSFC-2024-0924, otorgada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (MAATE), garantizando el cumplimiento de la normativa nacional sobre investigación y uso de recursos biológicos.

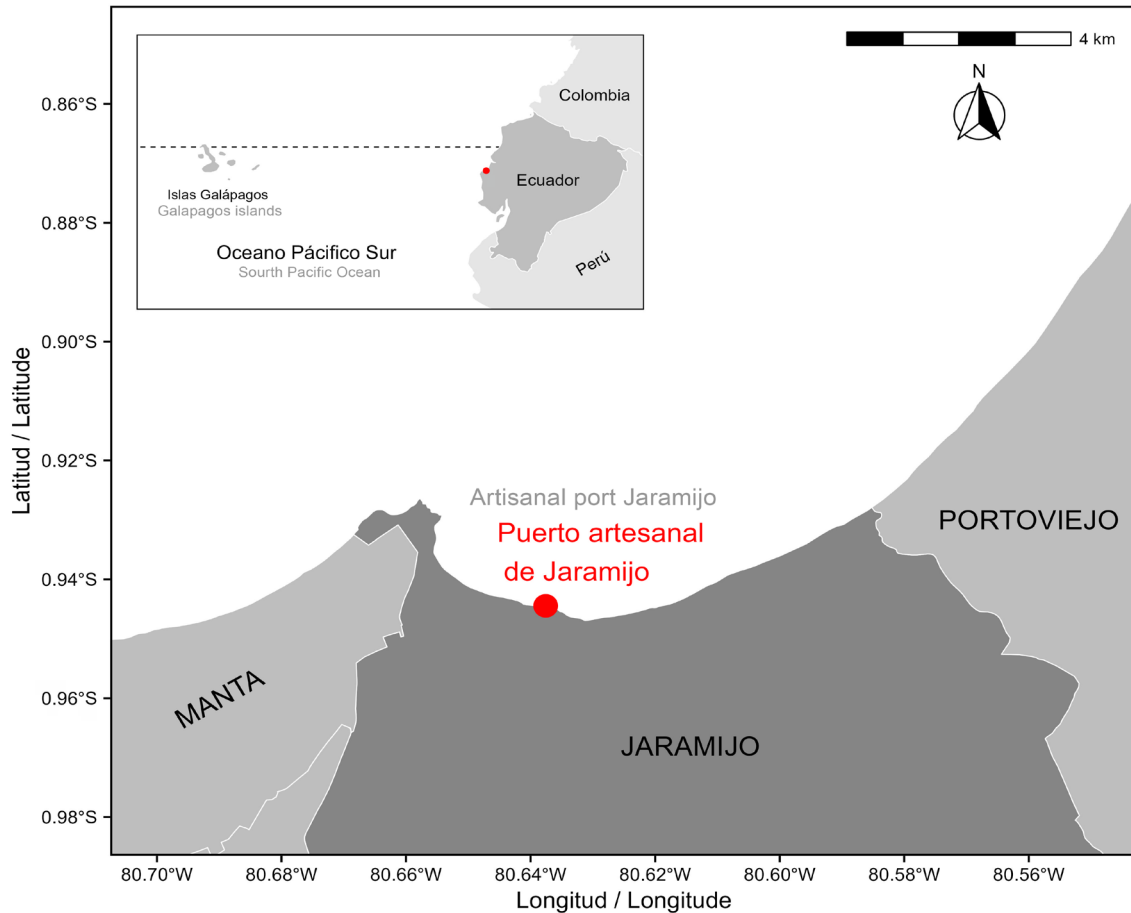


Figura 1. Ubicación del sitio de desembarque donde se recolectaron los ejemplares de *Echiophis brunneus*.

Figure 1. Location of the landing site where the specimens of *Echiophis brunneus* were collected.

Fase de laboratorio

Para obtener los otolitos, se realizaron cortes en la cápsula ótica de los especímenes con un bisturí, extrayendo cuidadosamente los pares de otolitos sagitales. Posteriormente, se eliminó el exceso de tejido, se dejaron secar y se almacenaron en tubos Eppendorf rotulados según cada ejemplar.

Antes de proceder con su lectura, los otolitos fueron hidratados con agua destilada para facilitar la observación detallada de los anillos de crecimiento. Sin conocer la longitud ni el sexo de los ejemplares,

Laboratory phase

To obtain the otoliths, incisions were made in the otic capsules of the specimens using a scalpel, carefully extracting the pairs of sagittal otoliths. Subsequently, excess tissue was removed, and the otoliths were left to dry before being stored in Eppendorf tubes labelled according to each specimen. Prior to reading, the otoliths were hydrated with distilled water to facilitate the detailed observation of the growth rings. Without prior knowledge of the length or sex of the specimens, two observers independently conducted the ring counts using a transmitted light microscope. It

dos observadores realizaron de manera independiente el conteo de los anillos utilizando un microscopio con luz transmitida. Se consideró que cada par de bandas, una translúcida y otra opaca, representaba un año de edad del individuo (Panfili *et al.*, 2002).

Análisis de datos

Se llevaron a cabo análisis estadísticos, incluyendo la estadística descriptiva, la proporción de sexos mediante Chi-cuadrado (χ^2), pruebas de normalidad, homogeneidad de varianzas, métodos no paramétricos y pruebas de correlación, utilizando las bibliotecas stats, car y nortest del lenguaje y entorno estadístico RStudio (R Core Team, 2023).

La relación talla y peso de *E. brunneus* se representó mediante la ecuación de Ricker (1975):

$$Pt = a * LT^b$$

Donde Pt es el peso total del pez (g), LT es la longitud total (cm), a es el intercepto y b es la pendiente o coeficiente de alometría. Para evaluar si el crecimiento es de tipo isométrico ($b = 3$) o alométrico ($b \neq 3$), se comprobó la existencia de diferencias significativas entre la pendiente calculada y el valor teórico de referencia 3. Para ello, se utilizó una prueba t mediante la función $hoCoef()$ del paquete FSA de R, empleando la ecuación:

$$t = \frac{b - \beta_0}{ES_b}$$

Donde b representa a la pendiente obtenida a partir de los datos, β_0 el valor de la hipótesis nula (en este caso 3) y ES_b el error estándar del parámetro b estimado.

Precisión y sesgo

Para comprobar la precisión de las lecturas en los otolitos, se calculó el porcentaje de acuerdo entre lectores (PA), error porcentual promedio (APE) y el coeficiente de variación (CV):

Porcentaje de acuerdo entre lectores (Goldman, 2005)

$$PA = \frac{\text{Número de acuerdos}}{\text{Número de vértebras leídas}} * 100$$

Error porcentual promedio (Beamish y Fournier, 1981)

$$APE = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)}{X_j} * 100$$

was assumed that each pair of bands—one translucent and one opaque—represented one year of the individual's age (Panfili *et al.*, 2002).

Data Analysis

Statistical analyses were performed, including descriptive statistics, sex ratios via the chi-squared test (χ^2), tests for normality, homogeneity of variance, non-parametric methods, and correlation tests. These were conducted using the stats, car, and nortest packages within the RStudio statistical language and environment (R Core Team, 2023). The length-weight relationship of *E. brunneus* was represented using the equation described by Ricker (1975):

$$W = a * TL^b$$

Where W is the total weight of the fish (g), TL is the total length (cm), a is the intercept, and b is the slope or coefficient of allometry. To assess whether the growth is isometric ($b = 3$) or allometric ($b \neq 3$), the existence of significant differences between the calculated slope and the theoretical reference value of 3 was tested. For this purpose, a t -test was performed using the $hoCoef()$ function from the FSA package in R, employing the following equation:

$$t = \frac{b - \beta_0}{E_b}$$

Where b represents the slope obtained from the data, β_0 is the null hypothesis value (in this case, 3), and E_b is the standard error of the estimated parameter b .

Precision and bias

To verify the precision of the otolith readings, the percentage agreement between readers (PA), the average percentage error (APE), and the coefficient of variation (CV) were calculated:

Percentage agreement between readers (Goldman, 2005)

$$PA = \frac{\text{Number of agreements}}{\text{Number of otoliths read}} * 100$$

Average percentage error (Beamish and Fournier, 1981)

$$APE = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)}{X_j} * 100$$

Coefficient of variation (Chang, 1982)

Coefficiente de variación (Chang, 1982)

$$CV = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R-1}}}{X_j} * 100$$

Donde R es el número de veces que se calculó la edad del espécimen, X_j es la edad promedio calculada para la j -ésima espécimen y X_{ij} fue la i -ésima edad calculada del j -ésima espécimen.

Además, se empleó la prueba de simetría de Bowker para comprobar la hipótesis de que no existió sesgo sistemático entre ambos lectores, y se aplicó el gráfico propuesto por Cailliet *et al.* (1983) para la observación de las lecturas. Tanto el cálculo de los índices de precisión como el análisis de sesgo sistemático se realizaron utilizando el paquete FSA (Ogle, 2018).

Edad y crecimiento

Los análisis de talla por edad se realizaron utilizando el paquete *BayesGrowth* (Smart, 2020); se aplicó estadística bayesiana debido a la ausencia de ejemplares juveniles en las muestras. Los modelos de crecimiento utilizados para estimar los parámetros de crecimiento fueron modelo de crecimiento de von Bertalanffy (VB), modelo Logístico (Log) y modelo Gompertz (Gom). Para comprobar cuál de los modelos candidatos se ajustaron mejor a los datos, se utilizó el criterio de información de validación cruzada (LOOIC), considerando el valor más bajo resultante. Las ecuaciones de los modelos utilizados fueron las siguientes:

Modelo de von Bertalanffy (von Bertalanffy, 1938)

$$L(t) = L_0 + (L_\infty - L_0)(1 - \exp(-kt))$$

Modelo Logístico (Ricker, 1979)

$$L(t) = \frac{L_\infty L_0 (\exp(gt))}{L_\infty + L_0 (\exp(gt) - 1)}$$

Modelo Gompertz (Gompertz, 1825)

$$L_\alpha = L_0 e^{log\left(\frac{L_\infty}{L_0}\right)} (1 - e^{(-gt)})$$

Donde L_t representa la longitud esperada a una determinada edad (t), L_∞ es la longitud asintótica, L_0 es la longitud al nacer,

$$CV = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R-1}}}{X_j} * 100$$

Where R is the number of times the specimen was aged, X_j is the average age calculated for the j -ésima specimen, and X_{ij} was the i -ésima age calculated for the j -ésima specimen.

Furthermore, Bowker's symmetry test was employed to test the hypothesis that there was no systematic bias between both readers, and the plot proposed by Cailliet *et al.* (1983) was applied for the observation of the readings. Both the calculation of the precision indices and the systematic bias analysis were performed using the FSA package (Ogle, 2018).

Age and growth

Length-at-age analyses were performed using the *BayesGrowth* package (Smart, 2020); Bayesian statistics were applied due to the absence of juvenile specimens in the samples. The growth models used to estimate growth parameters were the von Bertalanffy growth model (VB), the Logistic model (Log), and the Gompertz model (Gom). To determine which of the candidate models best fitted the data, the Leave-One-Out Cross-Validation Information Criterion (LOOIC) was used, considering the lowest resulting value. The equations for the models used were as follows:

von Bertalanffy model (von Bertalanffy, 1938)

$$L(t) = L_0 + (L_\infty - L_0)(1 - \exp(-kt))$$

Logistic Model (Ricker, 1979)

$$L(t) = \frac{L_\infty L_0 (\exp(gt))}{L_\infty + L_0 (\exp(gt) - 1)}$$

Gompertz model (Gompertz, 1825)

$$L_\alpha = L_0 e^{log\left(\frac{L_\infty}{L_0}\right)} (1 - e^{(-gt)})$$

Where L represents the expected length at a specific age (t), L_∞ is the asymptotic length, L_0 is the length at birth, k represents the growth coefficient for the von Bertalanffy model, and g is the growth coefficient for the Logistic and Gompertz models. Furthermore, the overlap and overlapping packages were used to determine whether the Bayesian parameter estimates differed between sexes (Pastore, 2018).

k representa el coeficiente de crecimiento del modelo de von Bertalanffy y g el coeficiente de crecimiento del modelo Logístico y Gompertz. Se utilizó, además, el paquete `overlap` y `overlapping` para comprobar si las estimaciones de los parámetros bayesianos diferían entre sexos (Pastore 2018). Los antecedentes para el método bayesiano se establecieron mediante la talla máxima observada en el presente estudio (190 ± 5 cm LT) y una talla mínima de 6.5 ± 5 cm LT; considerando que los peces óseos presentan estadios larvarios, y las larvas de algunas especies de anguilas (Ophichthidae) alcanzan los ≤ 8 cm antes de la metamorfosis (Castle, 1980)

RESULTADOS

Entre Junio y noviembre de 2024 se muestrearon un total de 200 ejemplares de *E. brunneus* en los desembarques artesanales del puerto de Jaramijó, de los cuales 110 individuos correspondieron a hembras (55%) y 90 a machos (45%). La proporción sexual fue de 0.82M:1H, sin ser significativamente diferente a la esperada 1M:1H ($\chi^2 = 2.0$, $p > 0.05$). Las hembras presentaron una longitud de 43.20 – 189.00 cm LT (promedio \pm DE: 86.82 ± 26.35), a diferencia de los machos que exhibieron tallas de 43.80 a 170.00 cm LT (81.05 ± 20.71) ($W = 5593.5$, $p > 0.05$) (Figura 2). Ambos sexos presentaron edades entre 1 y 9 años. Los datos de longitud total, peso y edad no cumplieron con los supuestos de normalidad (Kolmogorov-Smirnov: $D = 0.08$, $p < 0.05$) y homogeneidad en las varianzas entre sexos (Prueba de Levene: $Df = 1$, $p < 0.05$). Por lo tanto, se procedió a utilizar estadística no paramétrica. La prueba U de Mann-Whitney demostró que no se presentaron diferencias significativas en la longitud total y las edades de hembras y machos.

The priors for the Bayesian method were established using the maximum total length observed in the present study (190 ± 5 cm TL) and a minimum total length of 6.5 ± 5 cm TL, considering that bony fish have larval stages, and the larvae of some eel species (Ophichthidae) reach ≤ 8 cm before metamorphosis (Castle, 1980).

RESULTS

From June to November 2024, a total of 200 specimens of *E. brunneus* were sampled from artisanal landings at the port of Jaramijó, of which 110 individuals were females (55%) and 90 were males (45%). The sex ratio was 0.82M:1F, which was not significantly different from the expected 1M:1F ratio (chi-square = 2.0, $p > 0.05$). Females ranged in length from 43.20 to 189.00 cm TL (mean \pm SD: 86.82 ± 26.35), whereas males exhibited sizes from 43.80 to 170.00 cm TL (81.05 ± 20.71) ($W = 5593.5$, $p > 0.05$) (Figure 2). Both sexes ranged in age between 1 and 9 years. Total length, weight, and age data did not meet the assumptions of normality (Kolmogorov-Smirnov: $D = 0.08$, $p < 0.05$) and homogeneity of variance between sexes (Levene's Test: $df = 1$, $p < 0.05$). Therefore, non-parametric statistics were applied. The Mann-Whitney U test demonstrated that there were no significant differences in total length and age between females and males.

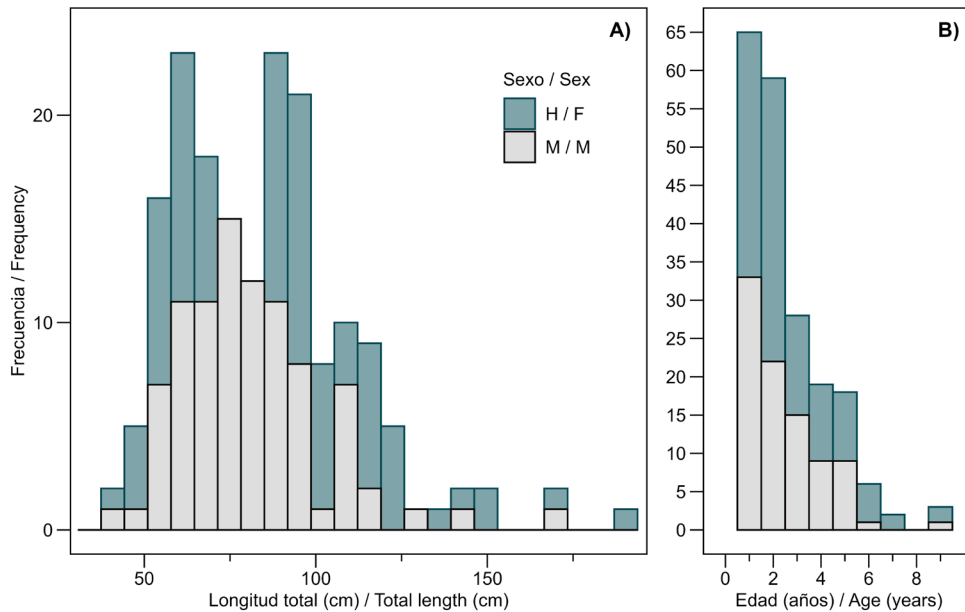


Figura 2. Distribución de A) tallas y B) edades de *Echiophis brunneus* desembarcado en el puerto artesanal de Jaramijó, Manabí. H representa a las hembras y M a los machos muestreados.

Figure 2. Distribution of A) sizes and B) ages of *Echiophis brunneus* landed at the artisanal port of Jaramijó, Manabí. The letter F represents sampled females and M represents sampled males.

El peso de los individuos machos y hembras no difirió significativamente ($W = 5527$, $p > 0.05$). Se evidenció un crecimiento de tipo alométrico negativo ($b = 2.71$), ya que el valor estimado con los datos observados de longitud y peso fue significativamente diferente a 3 ($t = -3.01$, $df = 198$, $p < 0.05$). El modelo longitud-peso para sexos combinados se representó como $Pt = 0.002158Lt^{2.4068}$ ($R^2 = 0.48$) (Figura 3).

The weight of male and female individuals did not differ significantly ($W = 5527$, $p > 0.05$). Negative allometric growth was evidenced ($b = 2.71$), as the value estimated from the observed length and weight data was significantly different from 3 ($t = -3.01$, $df = 198$, $p < 0.05$). The length-weight model for combined sexes was represented as $W = 0.002158Lt^{2.4068}$ ($R^2 = 0.48$) (Figure 3).

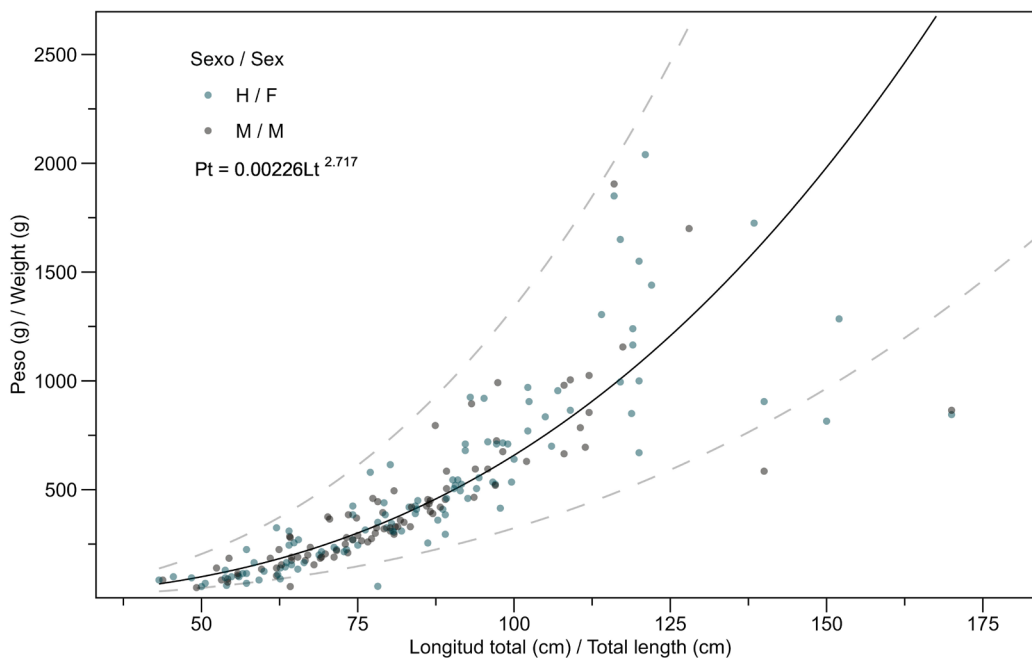


Figura 3. Relación potencial de talla-peso de *Echiophis brunneus* para sexos combinados. Los límites reflejan los intervalos de confianza de 95% y los puntos los valores observados que se obtuvieron para cada sexo.

Figure 3. Power length-weight relationship of *Echiophis brunneus* for combined sexes. The limits reflect the 95% confidence intervals and the dots represent the observed values obtained for each sex.

Se observó una correlación significativa entre el ancho-largo de los otolitos junto a la longitud total de los especímenes (prueba de correlación de Spearman: $S = 305476$, $p < 0.05$, $\rho = 0.77$ y $S = 340012$, $p < 0.05$, $\rho = 0.74$, respectivamente) (Figura 4). El análisis de precisión y sesgo entre el lector 1 y lector 2, arrojó los siguientes índices: $CV = 3.97$, $APE = 2.81$, y $PA = 83.5\%$, junto a la prueba de Bowker que demostró que no existió sesgo sistemático entre las lecturas de ambos lectores ($df=9$, $\chi^2 = 10.34$, $p > 0.05$) (Figura 5), lo que indica una buena reproducibilidad de las lecturas de esta especie.

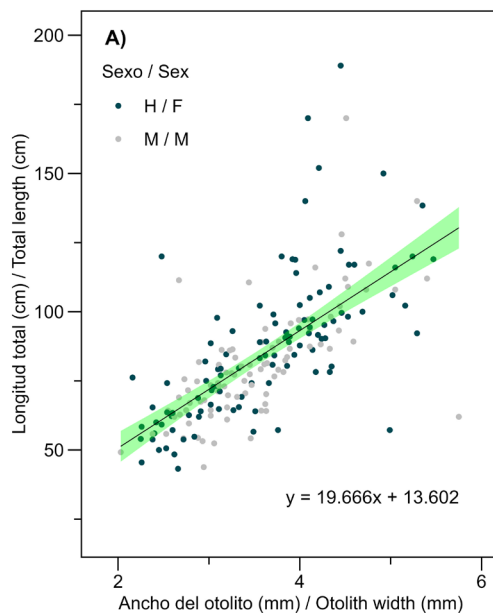


Figura 4. Regresión lineal del A) ancho y B) largo del otolito junto a la longitud total de *Echiophis brunneus*. Los intervalos de confianza representan 95% y los puntos los valores observados que se obtuvieron para cada sexo.

A significant correlation was observed between otolith width-length and the total length of the specimens (Spearman's test: $S = 305476$, $p < 0.05$, $\rho = 0.77$ and $S = 340012$, $p < 0.05$, $\rho = 0.74$, respectively) (Figure 4). The precision and bias analysis between reader 1 and reader 2 yielded the following indices: $CV = 3.97$, $APE = 2.81$, and $PA = 83.5\%$, alongside Bowker's test, which demonstrated that there was no systematic bias between the readings of both readers ($df = 9$, chi-square = 10.34, $p > 0.05$) (Figure 5), indicating good reproducibility of the readings for this species.

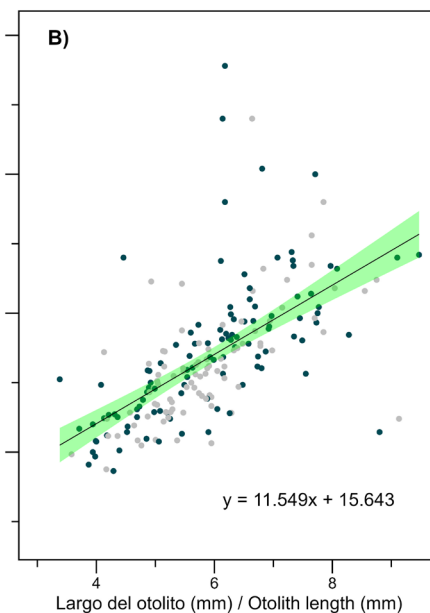


Figure 4. Linear regression of otolith A) width and B) length against the total length of *Echiophis brunneus*. The confidence intervals represent 95% and the dots represent the observed values obtained for each sex.

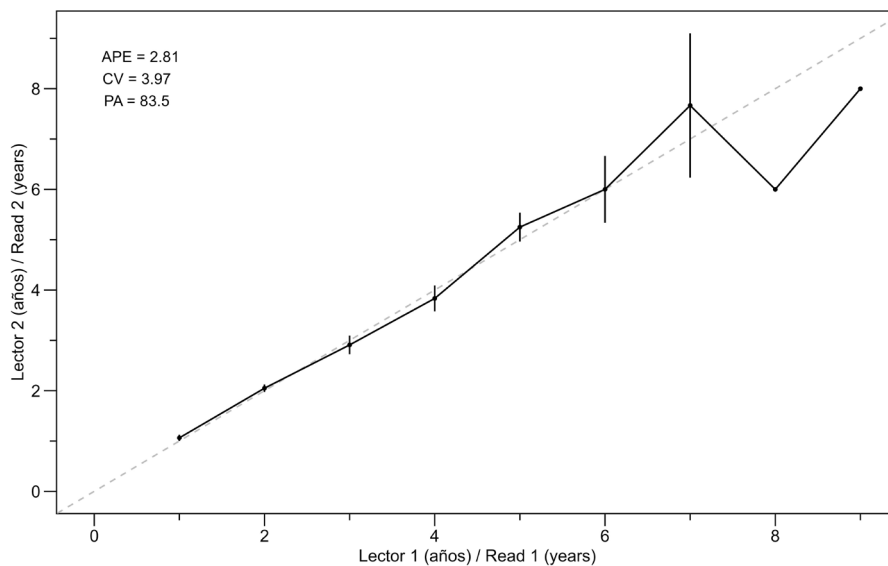


Figura 5. Gráfico de precisión y sesgo entre el lector 1 y lector 2. Las líneas discontinuas representan la equivalencia 1:1, y las barras del error los intervalos de confianza de 95%. Las siglas APE , CV , y PA representan al error porcentual promedio, coeficiente de variación y el porcentaje de acuerdo entre lectores, respectivamente.

Figure 5. Precision and bias plot between reader 1 and reader 2. The dashed lines represent the 1:1 equivalence, and the error bars represent the 95% confidence intervals. The acronyms APE , CV , and PA represent the average percent error, coefficient of variation, and percentage of agreement between readers, respectively.

El LOOIC obtenido por medio de los tres modelos candidatos, demostró que el modelo de VB fue que el mejor se ajustó a los datos observados de *E. brunneus*, ya que este presentó los valores más bajos y el LOOICw más alto en contraste a los otros modelos. Los datos de talla por edad de las hembras y machos se combinaron debido al gran porcentaje de solapamiento evidenciado en el parámetro de crecimiento k y L_{∞} (53.98 y 81.23%, respectivamente). Las estimaciones del modelo de VB obtuvieron una L_{∞} de 181.28 cm LT y un k de 0.24 yr^{-1} (Tabla 1, Figura 6).

The LOOIC obtained from the three candidate models demonstrated that the VB model was the one that best fitted the observed data for *E. brunneus*, as it presented the lowest values and the highest LOOICw compared to the other models. Length-at-age data for females and males were combined due to the high percentage of overlap observed in the growth parameter k and L_{∞} (53.98% and 81.23%, respectively). The VB model estimates yielded an L_{∞} of 181.28 cm TL and a k of 0.24 yr^{-1} (Table 1, Figure 6).

Tabla 1. Estimaciones de los multimodelos de crecimiento bayesianos de *Echiophis brunneus* para sexos combinados. Las siglas VB hacen referencia al modelo de von Bertalanffy, Gom: Gompertz, Log: Logístico, LOOIC: Criterio de información de validación cruzada, LOOICw: peso del LOOIC, L_{∞} : longitud asíntótica, k/g , coeficiente de crecimiento para cada modelo \pm : Intervalos de confianza. Los caracteres marcados negrilla indican el modelo que mejor se ajustó a los datos según el LOOIC.

Table 1. Estimates of the Bayesian multimodel growth models for *Echiophis brunneus* for combined sexes. The acronyms VB refer to the von Bertalanffy model, Gom: Gompertz, Log: Logistic, LOOIC: Leave-One-Out Information Criterion, LOOICw: LOOIC weight, L_{∞} : asymptotic length, k/g : growth coefficient for each model, \pm : Confidence intervals. Characters marked in bold indicate the model that best fitted the data according to the LOOIC.

Modelos/Model	LOOIC	LOOICw	Parámetros de crecimiento/ Growth parameters	
			L_{∞} (cm LT)	k/g (yr^{-1})
VB	1664.47	1	181.28 \pm 0.04	0.24 \pm 0.00
Gom	1790.79	0	175.29 \pm 0.04	0.50 \pm 0.00
Log	1880.56	0	174.30 \pm 0.05	0.88 \pm 0.00

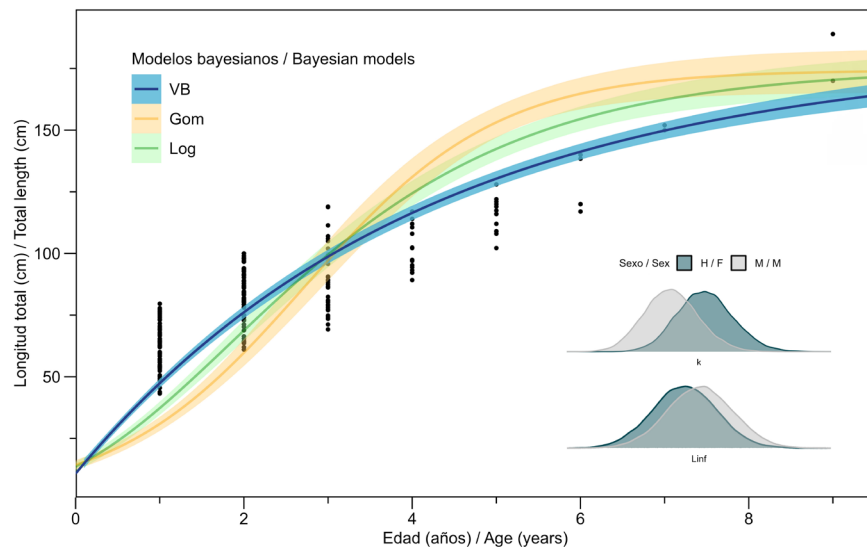


Figura 6. Curvas de crecimiento bayesiana de *Echiophis brunneus* para sexos combinados. Las siglas VB, Gom y Log hacen referencia a los modelos de crecimiento de von Bertalanffy, Gompertz y Logístico, respectivamente. Los puntos reflejan los valores observados de talla por edad, y los gráficos de densidad representan el solapamiento de los parámetros de crecimiento. La sigla k simboliza al coeficiente de crecimiento, L_{∞} : longitud asíntótica, H: hembras y M: machos.

Figure 6. Bayesian growth curves of *Echiophis brunneus* for combined sexes. The acronyms VB, Gom, and Log refer to the von Bertalanffy, Gompertz, and Logistic growth models, respectively. The dots reflect the observed length-at-age values, and the density plots represent the overlap of the growth parameters. The acronym k symbolizes the growth coefficient, L_{∞} : asymptotic length, F: females, and M: males.

DISCUSIÓN

La longitud total registrada en aguas ecuatorianas se sitúa entre las más grandes registradas hasta la fecha en el Pacífico centro-oriental (McCosker y Rosenblatt, 1995) y el Pacífico sudoriental (Campos-León *et al.*, 2023). Esto puede atribuirse a que en Ecuador, debido a la naturaleza multiespecífica de las pesquerías, fue posible muestrear un amplio rango de tallas de esta especie en un período de tiempo relativamente corto, exceptuando ejemplares extremadamente pequeños.

La anguila pecosa en esta región exhibió un crecimiento de tipo alométrico negativo ($b < 3$), reflejando que los individuos incrementaron mayoritariamente su longitud total, más que el peso de su cuerpo (Carlander, 1951). Estos datos obtenidos en el valor de la pendiente b fueron similares a lo registrado por Napa España (2015) para machos y sexos combinados de *Ophichthus remiger* en el Pacífico ecuatoriano ($n = 904$), pero diferente a lo presentado por Vera (2004) y Chicaiza (2013) en los ejemplares de *O. remiger*, exhibiendo un crecimiento alométrico positivo ($b > 3$) en el Golfo de Guayaquil – Ecuador ($n = 2074$) y en el Departamento de Lambayeque – Perú ($n = 247$), respectivamente. La variabilidad en los resultados podría estar influenciada por diversos factores, entre ellos el número de individuos analizados (Froese, 2006), las condiciones ambientales estacionales (Jisr *et al.*, 2018), las características biológicas propias de cada especie (Karachle y Stergiou, 2012), la distribución de tallas en los distintos estadios de vida (Froese, 2006) y la disponibilidad de alimento (Yilmaz *et al.*, 2012). El crecimiento alométrico en peces refleja estrategias adaptativas diferenciadas: mientras la alometría positiva suele asociarse con eficiencia alimenticia y ambientes favorables (Saikia *et al.*, 2011; Buragohain y Goswami, 2014); la alometría negativa, como en las anguilas, implica un mayor incremento en longitud que en peso, favoreciendo la agilidad y eficiencia de nado, especialmente en etapas tempranas del desarrollo (Tresierra y Culquichicon, 1993; Morales y González, 2010; Barua *et al.*, 2023).

En el presente estudio, los datos se limitaron a un corto periodo de tiempo y ausencia de individuos colectados durante época lluviosa, lo que en consecuencia dificultó realizar las respectivas comparaciones en relación con el tiempo y épocas del año. Los índices del análisis de precisión y sesgo se encontraron dentro del umbral sugerido por Campana (2001), quien para peces óseos y especies de longevidad moderada sugiere un APE y CV de 5.5 y 7.6, respectivamente.

DISCUSSION

The total length recorded in Ecuadorian waters is among the largest reported to date in the Eastern Central Pacific (McCosker and Rosenblatt, 1995) and the Southeast Pacific (Campos-León *et al.*, 2023). This can be attributed to the fact that in Ecuador, due to the multi-species nature of the fisheries, it was possible to sample a wide range of sizes for this species in a relatively short period of time, with the exception of extremely small specimens.

The freckled eel in this region exhibited negative allometric growth ($b < 3$), reflecting that the individuals mainly increased in total length rather than body weight (Carlander, 1951). These data obtained for the slope value b were similar to those reported by Napa España (2015) for males and combined sexes of *Ophichthus remiger* in the Ecuadorian Pacific ($n = 904$), but different from what was reported by Chicaiza (2013) and Vera (2004) for common eel (*O. remiger*) specimens, which exhibited positive allometric growth ($b > 3$) in the Gulf of Guayaquil – Ecuador ($n = 2074$) and in the Department of Lambayeque – Peru ($n = 247$), respectively. The variability in these results could be influenced by various factors, including the number of individuals analysed (Froese, 2006), seasonal environmental conditions (Jisr *et al.*, 2018), the specific biological characteristics of each species (Karachle and Stergiou, 2012), size distribution across different life stages (Froese, 2006), and food availability (Yilmaz *et al.*, 2012). Allometric growth in fish reflects differentiated adaptive strategies: while positive allometry is usually associated with feeding efficiency and favourable environments (Saikia *et al.*, 2011; Buragohain and Goswami, 2014), negative allometry—as seen in eels—implies a greater increase in length than in weight, promoting agility and swimming efficiency, especially during early developmental stages (Tresierra and Culquichicon, 1993; Morales and González, 2010; Barua *et al.*, 2023).

In the present study, data were limited to a short period of time and by the absence of individuals collected during a certain season (the rainy season), which consequently hindered the ability to make respective comparisons regarding time and seasons of the year. The indices from the precision and bias analysis fell within the threshold suggested by Campana (2001), who suggests an APE and CV of 5.5% and 7.6%, respectively, for bony fish and species with moderate longevity.

The estimated ages, characterised by a low representation of 7- and 8-year-old individuals, could influence the estimation of growth

Las edades estimadas, caracterizadas por baja representación de individuos de 8 y 7 años, podría influir en la estimación de los parámetros de crecimiento, particularmente en la longitud asintótica (L_{∞}), dado que las clases de edad extremas ejercen un peso importante en el ajuste de modelos no lineales como el de von Bertalanffy (Beverton y Holt, 1957; Quinn y Deriso, 1999). En este tipo de escenarios, distribuciones irregulares pueden generar mayor incertidumbre y sesgos en la estimación de los parámetros cuando las edades mayores están subrepresentadas (Campana, 2001). No obstante, el enfoque bayesiano empleado permite incorporar explícitamente dicha incertidumbre mediante la estimación de distribuciones posteriores, lo que reduce potenciales sesgos asociados a vacíos en determinadas clases etarias y mejora la robustez de las inferencias (Gelman *et al.*, 2020). Aun así, futuros estudios con mayor cobertura temporal y representación más uniforme de edades contribuirán a validar y refinar las estimaciones aquí obtenidas, fortaleciendo la precisión de los parámetros poblacionales estimados.

El modelo de von Bertalanffy resultó ser el más adecuado para describir el crecimiento de *E. brunneus*, ya que captura con precisión su patrón de crecimiento indeterminado y asintótico, característico de peces longevos y uno de los más utilizados para peces. Este modelo refleja cómo la tasa de crecimiento disminuye gradualmente con la edad, sin imponer un límite rígido (Duan *et al.*, 2021). En contraste, el modelo de Gompertz, orientado a organismos con maduración temprana (Flinn y Midway, 2021), y el modelo Logístico, que supone una simetría en la curva de crecimiento rápido inicial seguido de una desaceleración simétrica (Denis *et al.*, 2022), lo que no reflejaría la dinámica real de *E. brunneus*. Esto se debe a que ambos modelos asumen restricciones metabólicas más severas y una rápida aproximación al tamaño máximo, lo que no se ajusta al crecimiento prolongado y sostenido observado en estas especies (Secor *et al.*, 2020; Piper *et al.*, 2022; Correia *et al.*, 2023).

Las estimaciones obtenidas reflejan que *E. brunneus* presenta un tamaño considerable y un coeficiente de crecimiento mayor en comparación a otras especies de la familia Ophichthidae y regiones del mundo. El parámetro L_{∞} fue superior al registrado en la especie *O. remiger* por Vera (2004), Goicochea *et al.* (2012) en el norte de Perú y Arancibia *et al.* (2000) en el centro de Chile. Sin embargo, este fue inferior al de la anguila gigante (Clark, 2000) en el golfo de México, donde se evidenció una longitud asintótica

parameters, particularly the asymptotic length (L_{∞}), given that extreme age classes exert a significant weight on the fit of non-linear models such as the von Bertalanffy model (Beverton and Holt, 1957; Quinn and Deriso, 1999). In these types of scenarios, irregular distributions can generate greater uncertainty and bias in parameter estimation when older ages are underrepresented (Campana, 2001). However, the Bayesian approach employed allows for the explicit incorporation of such uncertainty through the estimation of posterior distributions, which reduces potential biases associated with gaps in certain age classes and improves the robustness of the inferences (Gelman *et al.*, 2020). Even so, future studies with broader temporal coverage and a more uniform representation of ages will help to validate and refine the estimates obtained here, strengthening the precision of the estimated population parameters.

The von Bertalanffy model proved to be the most adequate to describe the growth of *E. brunneus*, as it accurately captures its indeterminate and asymptotic growth pattern, which is characteristic of long-lived fish and one of the most widely used for fish. This model reflects how the growth rate gradually decreases with age, without imposing a rigid limit (Duan *et al.*, 2021). In contrast, the Gompertz model, which is oriented towards organisms with early maturation (Flinn and Midway, 2021), and the Logistic model, which assumes symmetry in the curve with a rapid initial growth followed by a symmetrical deceleration (Denis *et al.*, 2022), would not reflect the real dynamics of *E. brunneus*. This is because both models assume more severe metabolic restrictions and a rapid approach to maximum size, which does not fit the prolonged and sustained growth observed in these species (Secor *et al.*, 2020; Piper *et al.*, 2022; Correia *et al.*, 2023).

The estimates obtained reflect that *E. brunneus* exhibits a considerable size and a higher growth coefficient compared to other species within the Ophichthidae family and other regions of the world. The parameter L_{∞} was higher than that reported for the species *O. remiger* by Vera (2004) and Goicochea *et al.* (2012) in Northern Peru, and by Arancibia *et al.* (2000) in Central Chile. However, it was lower than that of the king snake eel (Clark, 2000) in the Gulf of Mexico, where a larger asymptotic length was evidenced than for *E. brunneus* in the Ecuadorian South Pacific (Table 2). Females and males of the freckled eel did not exhibit sexual dimorphism in their total length and estimated growth parameters, in contrast to *O. rex* and *O. remiger*, whose female

mayor que *E. brunneus* en el Pacífico ecuatoriano Sur (Tabla 2). Las hembras y machos de la anguila pecosa no exhibieron dimorfismo sexual en su longitud total y parámetros de crecimiento estimados, en contraste a *O. rex* y *O. remiger*, cuyos especímenes hembras alcanzaron longitudes mayores a comparación de los machos (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros de crecimiento estimados en diferentes especies de anguila (familia Ophichthidae) alrededor del mundo. L_{∞} : longitud asintótica, k/g : coeficiente de crecimiento para cada modelo, t_0 : edad, H: hembras, M: machos, C: combinados.

Región/ Region	Especie/ Species	Sexo/ Sex	Modelo/ Model	Parámetros de crecimiento/ Growth parameters			Autor/Author
				L_{∞} (cm LT)	K (yr^{-1})	t_0 (yr)	
Golfo de México/Gulf of Mexico	<i>Ophichthus rex</i>	H/F	VB	200.95	0.136	-	Clark (2000)
		M/M		183.58	0.144	-	
Norte de Perú/Northern Peru	<i>Ophichthus remiger</i>	H/F	VB	136.50	0.122	-0.105	Goicochea et al. (2012)
		M/M		114.0	0.159	-0.105	
Chile Central/Central Chile	<i>Ophichthus remiger</i>	C/C	VB	90.8	0.115	-1.108	Arancibia et al. (2000)
Norte de Perú/ Northern Peru	<i>Ophichthus remiger</i>	H/F	VB	76.65	0.25	-1.23	Vera (2004)
		M/M		51.45	0.27	-2.46	
Pacífico Sur ecuatoriano/ Ecuadorian South Pacific	<i>Echiophis brunneus</i>	C/C	VB	181.28	0.24	-	Presente estudio/ This study

En cuanto al coeficiente de crecimiento (k), este fue superior al de otras especies de anguilas de la familia Ophichthidae. Sin embargo, esta variable no debería de tomarse como una medida de referencia en el crecimiento para realizar comparaciones entre regiones o especies, ya que no representan una tasa de crecimiento empírica; sino que reflejan la velocidad en alcanzar una determinada L_{∞} (Smart et al., 2015). Por ende, las curvas de crecimiento mundiales evidenciaron que los ejemplares en *E. brunneus* en esta región alcanzan su longitud asintótica más rápidamente que las especies de anguila *O. remiger* y *O. rex* en latitudes adyacentes (Figura 7). Las condiciones ambientales, junto con las diferencias de sexo y las variaciones del stock, influyen en los parámetros de crecimiento, los cuales pueden cambiar a lo largo de la vida de una especie (Barua et al., 2023).

specimens reached larger lengths compared to males (Table 2).

Table 2. Estimated growth parameters for different eel species (family Ophichthidae) around the world. L_{∞} : asymptotic length, k/g : growth coefficient for each model, t_0 : age, F: females, M: males, C: combined.

Regarding the growth coefficient (k), this was higher than that of other eel species within the Ophichthidae family. However, this variable should not be taken as a growth reference metric for comparisons between regions or species, as it does not represent an empirical growth rate; instead, it reflects the speed at which a specific L_{∞} is reached (Smart et al., 2015).

Therefore, global growth curves evidenced that *E. brunneus* specimens in this region reach their asymptotic length more rapidly than the eel species *O. remiger* and *O. rex* in adjacent latitudes (Figure 7). Environmental conditions, along with sex differences and stock variations, influence growth parameters, which can change throughout the lifespan of a species (Barua et al., 2023).

Las diferencias observadas en los parámetros de crecimiento respecto a otras regiones pueden estar asociadas a factores ambientales, productivos y metodológicos, variables como la temperatura del agua, disponibilidad de alimento y presión pesquera influyen directamente en las tasas metabólicas y en la asignación energética al crecimiento somático (He y Madenjin, 2025). Además, es importante señalar que en Ecuador la dinámica oceanográfica está fuertemente influenciada por el fenómeno El Niño–Oscilación del Sur (ENOS), el cual modifica la temperatura superficial del mar y la intensidad de las surgencias, alterando la disponibilidad de nutrientes y la productividad. Se han documentado tendencias y variabilidad significativa en la temperatura superficial frente a la costa ecuatoriana asociadas a procesos oceanográficos regionales (Breaker *et al.*, 2016); en consecuencia, impacta en el crecimiento y reclutamiento de las especies marinas. Asimismo, la estructura etaria de la muestra y el enfoque estadístico empleado pueden generar variaciones en los parámetros estimados, especialmente cuando las clases de edad avanzadas están subrepresentadas (Flinn y Midway, 2021; Chamberlin *et al.*, 2025).

En el contexto de las pesquerías artesanales del Ecuador, donde *Echiophis brunneus* es capturada incidentalmente y no existe regulación específica basada en edad o talla, la estimación de sus parámetros de crecimiento constituye un insumo central para comprender su dinámica poblacional y evaluar su vulnerabilidad frente a incrementos en la presión pesquera. La combinación de L_{∞} y k permite inferir longevidad, ritmo de recambio generacional y productividad, variables estrechamente asociadas con la resiliencia de los stocks explotados (Beverton y Holt, 1957; Pauly, 1980). En particular, especies con bajo coeficiente de crecimiento y mayor longevidad tienden a presentar menor capacidad de recuperación ante aumentos en la mortalidad por pesca (Hilborn y Walters, 1992; Froese *et al.*, 2011). En sistemas tropicales como en Ecuador con información limitada, estos parámetros pueden incorporarse en evaluaciones estructuradas por edad o talla, análisis de rendimiento por recluta para estimar mortalidad natural y modelos de producción excedentaria importantes para establecer puntos de referencia biológicos y analizar escenarios de explotación bajo un enfoque precautorio (Winkler *et al.*, 2019; FAO, 2020; Pauly *et al.*, 2023). De este modo, los resultados obtenidos no solo amplían el conocimiento biológico de la especie en aguas ecuatorianas, sino que proporcionan una base cuantitativa para sustentar decisiones de gestión sostenible.

The differences observed in growth parameters relative to other regions may be associated with environmental, productive, and methodological factors; variables such as water temperature, food availability, and fishing pressure directly influence metabolic rates and energy allocation for somatic growth (He and Madenjin, 2025). Furthermore, it is important to note that oceanographic dynamics in Ecuador are strongly influenced by the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) phenomenon, which modifies sea surface temperature and upwelling intensity, altering nutrient availability and productivity. Significant trends and variability in surface temperature off the Ecuadorian coast associated with regional oceanographic processes have been documented (Breaker *et al.*, 2016), consequently impacting the growth and recruitment of marine species.

Likewise, the age structure of the sample and the statistical approach employed can generate variations in the estimated parameters, especially when advanced age classes are underrepresented (Flinn and Midway, 2021; Chamberlin *et al.*, 2025). Within the context of artisanal fisheries in Ecuador, where *E. brunneus* is caught incidentally and no specific regulation based on age or size exists, the estimation of its growth parameters constitutes a central input for understanding its population dynamics and assessing its vulnerability to increases in fishing pressure. The combination of L_{∞} and k allows for the inference of longevity, generational turnover rate, and productivity—variables closely associated with the resilience of exploited stocks (Beverton and Holt, 1957; Pauly, 1980). In particular, species with a low growth coefficient and greater longevity tend to exhibit lower recovery capacity in the face of increases in fishing mortality (Hilborn and Walters, 1992; Froese *et al.*, 2011). In data-limited tropical systems such as Ecuador, these parameters can be incorporated into age- or size-structured assessments, yield-per-recruit analyses, natural mortality estimations, and surplus production models, which are important for establishing biological reference points and analysing exploitation scenarios under a precautionary approach (Winkler *et al.*, 2019; FAO, 2020; Pauly *et al.*, 2023). In this way, the results obtained not only expand the biological knowledge of the species in Ecuadorian waters but also provide a quantitative basis to support sustainable management decisions.

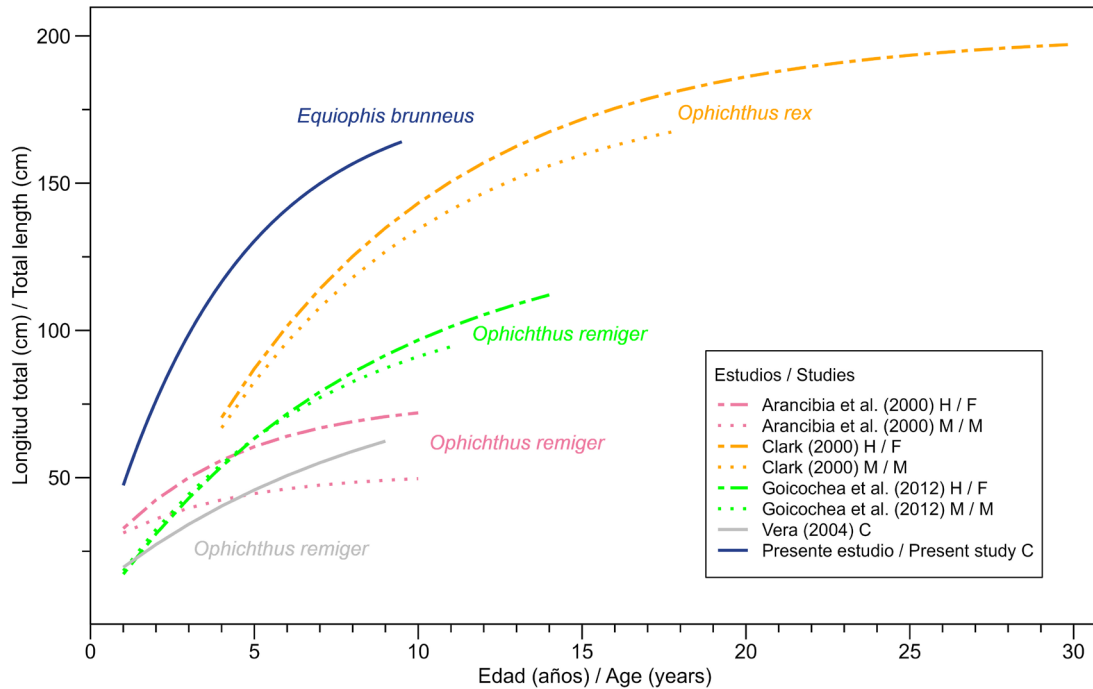


Figura 7. Curvas de crecimiento de especies de la familia Ophichthidae alrededor del mundo. Chile central (*Ophichthus remiger*: Arancibia *et al.*, 2000), Golfo de México (*Ophichthus rex*: Clark, 2000), norte de Perú (*O. remiger*: Goicochea *et al.*, 2012; Vera, 2004). Las letras H, M, C hacen referencia a las estimaciones de las hembras, machos y sexos combinados, respectivamente.

CONCLUSIONES

El presente estudio proporciona la primera estimación de edad y crecimiento de *Echiophis brunneus* en el Pacífico ecuatoriano, estableciendo una línea base biológica para la especie. El modelo de von Bertalanffy fue el que mejor describió su patrón de crecimiento, evidenciando una longitud asintótica ($L_{\infty} = 181.28$ cm) y un crecimiento moderado ($k = 0.24 \text{ yr}^{-1}$). La estructura etaria observada indicó edades entre 1 y 9 años, sin evidencia de dimorfismo sexual en los parámetros de crecimiento. Aunque la especie es actualmente capturada de manera incidental, la información generada constituye un insumo relevante para futuras evaluaciones poblacionales y posibles estrategias de gestión en el Ecuador.

Figure 7. Growth curves of species within the Ophichthidae family around the world. Central Chile (*Ophichthus remiger*: Arancibia *et al.*, 2000), Gulf of Mexico (*Ophichthus rex*: Clark, 2000), Northern Peru (*O. remiger*: Vera, 2004; Goicochea *et al.*, 2012). The letters F, M, and C refer to the estimates for females, males, and combined sexes, respectively.

CONCLUSIONS

The present study provides the first estimation of age and growth for *Echiophis brunneus* in the Ecuadorian Pacific, establishing a biological baseline for the species. The von Bertalanffy model best described its growth pattern, evidencing an asymptotic length ($L_{\infty} = 181.28$ cm) and a moderate growth rate ($k = 0.24 \text{ yr}^{-1}$). The observed age structure indicated ages ranging from 1 to 9 years, with no evidence of sexual dimorphism in growth parameters. Although the species is currently caught incidentally, the information generated constitutes a relevant input for future population assessments and potential management strategies in Ecuador.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los pescadores artesanales del cantón Jaramijó, cuya colaboración fue esencial para el desarrollo de este trabajo, así como al Grupo de Investigación “Aquatic Life History” de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) por su valioso apoyo. Este estudio forma parte del Proyecto de Investigación “Biología y pesquería de los recursos acuáticos del Ecuador: aguas marinas e interiores”, desarrollado también en la ULEAM, y cuyo objetivo es contribuir al conocimiento y manejo sostenible de los recursos pesqueros del país.

ACKNOWLEDGEMENTS

We express our gratitude to the artisanal fishers of the Jaramijó canton, whose collaboration was essential for the development of this work, as well as to the “Aquatic Life History” Research Group of the Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) for their valuable support. This study is part of the Research Project “Biology and Fisheries of the Aquatic Resources of Ecuador: Marine and Inland Waters”, also developed at ULEAM, which aims to contribute to the knowledge and sustainable management of the country’s fishery resources.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Arancibia, H., Alarcón, L., Caballero, R., Concha, R. y Carmona, A. (2000). *Nuevas pesquerías para Chile Central. Anguila común (Ophichthus pacifici)*. Proyecto FONDEF D971-1058. Desarrollo de nuevas pesquerías de recursos marinos bentónicos, pelágicos y demersales en Chile Central. Documento Técnico N°3, UNITED, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción.
- Barua, S., Liu, Q., Alam, M. S., Schneider, P., Mozumder, M. M. H. and Rouf, M. A. (2023). Population dynamics and stock assessment of two major eels (*Muraenesox bagio* and *Congrosex talabonoides*) from the marine waters of Bangladesh. *Frontiers in Marine Science*, 10. doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1134343>
- Beamish, R. J. and Fournier, D. A. (1981). A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(8), pp. 982–983. doi: <https://doi.org/10.1139/f81-132>
- Berg, L. S. (1958). *System der rezenten und fossilen Fischartigen und Fische*. Berlin: VEB Verlag der Wissenschaften, p. 311.
- Beverton, R.J.H. and Holt, S.J. (1957). *On the dynamics of exploited fish populations*. London: Chapman and Hall, p. 533.
- Breaker, L.C., Loor, H. and Carroll, H. (2016). Trends in sea surface temperature off the coast of Ecuador and the major processes that contribute to them. *Journal of Marine Systems*, 164: pp. 151-164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.09.002>
- Buragohain, A. and Goswami, M. M. (2014). Relationship of fecundity and different body parameters of *Clarias magur* (Hamilton, 1822) in captive condition in the Agro climatic condition of Assam, India. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 7(3), pp. 44–50.
- Cailliet, G., Martin, L. K., Kusher, D., Wolf, P. and Weldon, B. A. (1983). Techniques for enhancing vertebral bands in age estimation of California elasmobranchs. *NOAA Technical Report*, 8, pp.157-165.
- Campana, S. E. (2001). Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology*, 59(2), pp. 197–242. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2001.tb00127.x>
- Campos-León, S., Miranda, J., Moreno-Méndez, A. y Vásquez, C. (2023). Primeros registros de *Echiophis brunneus* (Teleosteo: Ophichthidae) “anguila pecosa” en el norte del Perú. *Revista Peruana de Biología*, 30(1). doi: <https://doi.org/10.15381/rpb.v30i1.23889>
- Carlander, K. D. (1950). *Handbook of freshwater fishery biology: With a first supplement for 1950–1953*. Dubuque: Wm. C. Brown Company, p. 281.
- Casadevall, M., Munoz, M., Carrasson, M. and Matallanas, J. (2001). The reproductive cycle of *Ophichthus rufus* (Anguilliformes) in the northwest Mediterranean. *Cybiurn*, 25(1), pp. 53-65.
- Castle, P. H. J. (1980). Larvae of the ophichthid eel genus *Neenchelys* in the Indo-Pacific. *Pacific Science*, 34: pp. 165–171.
- Castro-Aguirre, J. L. y Suárez de los Cobos, S. (1983). *Notophtophis brunneus*, nuevo género y especie de la familia Ophichthidae, (Pisces: Anguilliformes [sic]) hallado en la bahía de Acapulco, Guerrero, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 27, pp. 113–128.
- Chamberlin, D.W., Siders, Z.A., Potts, J.C., Rogers, W.D., Taylor, M.A. and W.F. Patterson. (2025). Bayesian estimation of von Bertalanffy growth parameters for gray triggerfish, *Balistes capriscus*, incorporating multiple readers and ageing structures. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 82: pp. 1-12. doi: <https://doi.org/10.1139/cjfas-2024-0315>
- Chang, W. Y. B. (1982). A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 39(8), pp. 1208–1210. doi: <https://doi.org/10.1139/f82-158>
- Chicaiza, D.V. (2013). Informe final del proyecto de investigación “Estimación de los parámetros biológicos-pesqueros de la anguila (*Ophichthus remiger*) en el ordenamiento pesquero”. Guayaquil: Instituto Nacional de Pesca (INP), pp. 52. <https://institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2017/07/Informe-Final-anguila-2013.pdf>
- Clark, S. T. (2000). Age, growth, and distributions of the giant snake eel, *Ophichthus rex*, in the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 67(3), pp. 911–922.
- Denis, J., Mahe, K. and Amara, R. (2022). Abundance and growth of the European eels (*Anguilla anguilla* Linnaeus, 1758) in small estuarine habitats from the eastern English Channel. *Fishes*, 7(5), p. 213. doi: <https://doi.org/10.3390/fishes7050213>
- Duan, Y., Madenjian, C. P., Zhao, Y. and Huo, B. (2021). Modeling round goby growth in Lake Michigan and Lake Huron with multi-model inference. *Fisheries*

- Research, 236, 105842. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105842>
- FAO. (2020). *The state of world fisheries and aquaculture 2020*. Sustainability in action. Rome: FAO. p. 224 doi: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Flinn, S. A. and Midway, S. R. (2021). Trends in growth modeling in fisheries science. *Fishes*, 6(1), 1. doi: <https://doi.org/10.3390/fishes6010001>
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), pp. 241–253. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
- Froese, R., Tsikliras, A.C. and Stergiou, K.I. (2011). Editorial note on weight-length relations of fishes. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 41(4): pp. 261–263. doi: <https://doi.org/10.3750/AIP2011.41.4.01>
- Froese, R., Winker, H., Coro, G., Palomares, M.-L., Tsikliras, A.C., Dimarchopoulou, D., Touloumis, K., Demirel, N., Vianna, G.M.S., Scarcella, G., Schijns, R., Liang, C. and Pauly, D. (2023). New developments in the analysis of catch time series as the basis for fish stock assessments: The CMSY++ method. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 53: pp. 173–189. doi: <https://doi.org/10.3897/aiep.53.105910>
- Gelman, A., Vehtari, A., Simpson, D., Margossian, C.C., Carpenter, B., Yao, Y., Kennedy, L., Gabry, J., Bürkner, P.-C. and Modrák, M. (2020). Bayesian workflow. *arXiv preprint*, arXiv:2011.01808. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2011.01808>
- Goicochea, C., Mostacero, J. y Mosquillaza, P. (2012). *Edad y crecimiento de Ophichthus remiger (Valenciennes) en el norte del mar peruano, 2004*. Informe. Callao: Instituto del Mar del Perú (IMARPE), p. 17.
- Goldman, K.J. (2005). Age and growth of elasmobranch fishes. In: Musick, J.A. and R. Bonfil (Eds.). *Management techniques for elasmobranch fisheries*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), pp. 76–132. <https://www.fao.org/4/a0212e/A0212E00.htm#TOC>
- Gómez, S., Caicedo, J. A. and Zapata, L. A. 2014. Non-commercial fish catches with experimental bottom long line fishing in Gorgona Island, Colombia, and its surrounding areas. *Revista de Biología Tropical*, 62, pp. 391–405.
- Gompertz, B. (1825). XXIV. 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. In a letter to Francis Baily, Esq. FRS. *Philosophical transactions of the Royal Society of London* (115), pp. 513–583.
- He, J.X. and Madenjian, C.P. (2025). Assessing fish growth changes under an ecosystem regime shift: The approach of linear mixed-effects modeling with application to Lake Huron lake trout. *Fishes*, 10: p. 599. doi: <https://doi.org/10.3390/fishes10120599>
- Hilborn, R. and Walters, C.J. (1992). *Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty*. New York: Chapman and Hall, 570 p.
- Jiménez Prado, P. y Béarez, P. 2004. *Peces marinos del Ecuador continental*. Quito: SIMBIOE/NAZCA/IFEA2004, p. 405.
- Jisr, N., Younes, G., Sukhn, C. and El-Dakdouki, M. H. (2018). Length-weight relationships and relative condition factor of fish inhabiting the marine area of the Eastern Mediterranean city, Tripoli-Lebanon. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(4), pp. 299–305. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.11.004>
- Karachle, P. K. and Stergiou, K. I. (2012). Morphometrics and allometry in fishes. 65–86. In: Wahl. (Ed.). *Morphometrics*. Rijeka: IntechOpen. pp. 65–86.
- Kratochvil, V. L., Sánchez, S. y Silva, N. A. (2023). *Técnicas de predicción de edad y crecimiento a partir de la morfometría y el peso del otolito de Prochilodus lineatus (valenciennes 1837)*. <https://agris.fao.org/search/en/providers/124983/records/67050d61b1dfe472e1450bed>
- McCosker, J.E. y Rosenblatt, R.H.. (1995). Ophichthidae. Tiesos, serpentones. In: Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter and V. Niem (Eds.). *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro-Oriental*. 3 Vols. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), pp.1326–1341.
- McCosker, J., Béarez, P., Lea, B. and Espinosa-Pérez, H. 2010. *Echiophis brunneus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T183888A8194914. doi: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T183888A8194914.en>.
- Monnahan, C.C. (2024). Toward good practices for Bayesian data-rich fisheries stock assessments using a modern statistical workflow. *Fisheries Research*, 275, p. 107024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2024.107024>.
- Morales, M. y González, L. W. (2010). Edad y crecimiento del pez *Haemulon steindachneri* (Perciformes: Haemulidae) en el suroeste de la isla de Margarita, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 58(1), pp. 299–310. doi: <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i1.5211>
- Napa España, J. P. (2015). *Incidencia de la talla en el desarrollo gonadal del recurso Ophichthus remiger (Valenciennes, 1842)*. Tesis de Maestría, Universidad de Guayaquil: 71 p.
- Ogle, D. H. (2018). *Introductory fisheries analyses with R*. New York: Chapman and Hall/CRC.
- Ormaza-González, F. I., Guzmán-Loayza, J. y Pachay-Fuentes, F. (2015). Censo de plantas de harinas de pescado en Ecuador. *Cámara Nacional de Pesquerías*, pp. 25–30.
- Panfili, J., De Pontual, H., Troadec, H. and Wright, P. J. (2002). Manual of fish sclerochronology. *Francia: Ifremer-IRD coedition, Brest*. p.464.
- Pastore, M (2018). Overlapping: A R package for estimating overlapping in empirical distributions. *Journal of Open Source Software* 3(32), p. 1023. doi: <https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.01023>
- Pauly, D. (1980). On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *ICES Journal of Marine Science*, 39: pp. 175–192. doi: <https://doi.org/10.1093/icesjms/39.2.175>
- Quinn, T.J. and Deriso, R.B. (1999). *Quantitative fish dynamics*. New York: Oxford University Press, p. 542.
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org/>
- Ricker, W. E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 191, pp.1–382.
- Ricker, W. E. (1979). Growth rates and models. *Fish physiology*, pp. 677–744.
- Ruiz-Campos, G. and J. L. Castro-Aguirre. (2002). First specimens of the fangjaw eel *Echiophis brunneus* (Pisces: Ophichthidae) from the Gulf of California, Mexico. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences*, 101(1) p. 24–27. doi:10.3160/0038-3872-101.1.24
- Saikia, A.K., Singh, A.S.K., Das, D.N. and Biswas, S.P. (2011). Length-weight relationship and condition factor of spotted snakehead, *Channa punctatus*

(Bloch). *Bulletin of Life Sciences*, 17, pp.102-108.

Smart J. (2020). Bayesgrowth: Estimate fish growth using MCMC analysis. <https://github.com/jonathansmart/BayesGrowth>

Smart, J. J. and Grammer, G. L. (2021). Modernising fish and shark growth curves with Bayesian length-at-age models. *PLOS ONE*, 16(2), e0246734. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246734>

Smart, J. J., Chin, A., Tobin, A. J., Simpfendorfer, C. A. and White, W. T. (2015). Age and growth of the common blacktip shark *Carcharhinus limbatus* from Indonesia, incorporating an improved approach to comparing regional population growth rates. *African Journal of Marine Science*, 37(2), pp. 177–188. doi: <https://doi.org/10.2989/1814232X.2015.1025428>

Tresierra-Aguilar, A., Culquichicón, Z. y Veneros-Urbina, B. (1999). Efecto del fenómeno «El Niño 1997–98» en el desembarque de los recursos pesqueros artesanales de puerto Salaverry (Trujillo). *Revista Peruana de Biología*, 6(3), pp.160-163. doi: <https://doi.org/10.15381/rpb.v6i3.8443>

Vera, M. (2004). *Distribución espacial y aspectos biológico-pesqueros de Ophichthus remiger “anguila común” en el litoral del departamento de Lambayeque (Mayo 2002–Julio 2003)*. Tesis Lic. Biol., Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”, p.94.

Vieira, A. R. (2023). Assessment of age and growth in fishes. *Fishes*, 8(10), 479. doi: <https://doi.org/10.3390/fishes8100479>

von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). *Human Biology*, 10(2), pp.181-213.

Winkler, A. C., Duncan, M. I., Farthing, M. W. and Potts, W. M. (2019). Sectioned or whole otoliths? A global review of hard structure preparation techniques used in ageing sparid fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 29(3), pp.605–611. doi: <https://doi.org/10.1007/s11160-019-09571-1>

Yilmaz, S., Yazıcıoğlu, O. M., Erbaşaran, S., Esen, M. and Zengin, N. (2012). Polar length-weight relationship and relative condition factor of white bream, *Blicca bjoerkna* (L., 1758), from Lake Ladik. *Turkish Journal Marine Sciences*, 18, pp.380-387.

