

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Aspectos Poblacionales de *Pterygoplichthys* sp. (Siluriformes: Loricariidae) en el Sistema Lagunar Champayán, Altamira, Tamaulipas, México

Population Aspects of *Pterygoplichthys* sp. (Siluriformes: Loricariidae) in the Champayán Lagoon System, Altamira, Tamaulipas, México

Authors/Autores: Balderas Mancilla, U.J., Cipriano Anastasio, J., Azuara Domínguez A., Payán Alejo, J., Cruz Castán, R.M., Avilés Mariño, A.L., Sánchez Cervantes, M.I., Díaz Iruegas, C.A.

ID: e1975

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1975>

Received/Fecha de recepción: May 24th 2025

Accepted /Fecha de aceptación: January 19th 2026

Available online/Fecha de publicación: February 09th 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Balderas Mancilla, U.J., Cipriano Anastasio, J., Azuara Domínguez A., Payán Alejo, J., Cruz Castán, R.M., Avilés Mariño, A.L., Sánchez Cervantes, M.I., Díaz Iruegas, C.A. (2026). Population Aspects of *Pterygoplichthys* sp. (Siluriformes: Loricariidae) in the Champayán Lagoon System, Altamira, Tamaulipas, México. *Revista Bio Ciencias*, 13, e1975. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1975>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

Artículo original

Aspectos Poblacionales de *Pterygoplichthys* sp. (Siluriformes: Loricariidae) en el Sistema Lagunar Champayán, Altamira, Tamaulipas, México.

Population Aspects of *Pterygoplichthys* sp. (Siluriformes: Loricariidae) in the Champayán Lagoon System, Altamira, Tamaulipas, México.

Estructura poblacional del pez diablo invasor/
Population structure of the invasive sailfin catfish

Balderas Mancilla, U.J.*¹ , Cipriano Anastasio, J.² , Azuara Domínguez A.³ , Payán Alejo, J.⁴ , Cruz Castán, R.M.⁵ , Avilés Mariño, A.L.¹ , Sánchez Cervantes, M.I.¹ , Díaz Iruegas, C.A.⁶ 

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Altamira. Carretera Tampico- Mante, Km 24.5. C.P. 89600, Altamira, Tamaulipas, México.

²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Huejutla. Carretera Huejutla-Chalahuiyapa, Km 5.5. C.P 43000, Huejutla de Reyes, Hidalgo, México.

³División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Boulevard Emilio Portes Gil #1301 Pte. A.P. 175 Calle. C.P 87010, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México

⁴Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. Paseo Clausen, S/N, C.P. 80000, Mazatlán, Sinaloa, México.

⁵Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana. Miguel Ángel de Quevedo S/N, C.P.91710, Veracruz, Veracruz.

⁶Centro de Bachillerato Tecnológico agropecuario No.5 Hermanos Flores Magón. Carretera Huejutla-Chalahuiyapa, Km1. C.P 43000, Huejutla de Reyes, Hidalgo, México.

*Corresponding Author:

Ulises de Jesús Balderas-Mancilla. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Altamira. Carretera Tampico- Mante, Km 24.5. C.P. 89600, Altamira, Tamaulipas, México. Teléfono: (833) 449 9904. E-mail: biol.ulises.20690@gmail.com

RESUMEN

Se examinaron individuos de *Pterygoplichthys* sp. del Sistema Lagunar Champayán (CHLS), Altamira, Tamaulipas, México, entre 2023 – 2024. Para determinar la relación longitud-peso, el índice de condición relativa, el crecimiento, la mortalidad, la probabilidad de captura y la tasa de explotación, se llevó a cabo mediante la medición de la longitud total (TL) y peso total (TW). Se recolectaron datos mensuales de frecuencia de talla y peso de 316 muestras y se analizaron utilizando el software FISAT II. Los parámetros de crecimiento estimados fueron: $L_{\infty} = 453.60$ mm, $K = 0.340$ año $^{-1}$, $t_0 = -0.636$ y $\phi = 2.84$. Los valores de la tasa de mortalidad fueron: $Z = 0.830$ año $^{-1}$, $M = 0.420$ año $^{-1}$ y $F = 0.410$ año $^{-1}$. El nivel de explotación ($E = 0.490$) fue inferior al nivel óptimo de 0.5, lo que indica que la especie no está siendo aprovechada. La edad máxima fue de 8.31 y 8.98 años y el valor de la longitud en la primera captura ($L_{50} = 324$ mm) fue superior a la longitud de la primera madurez sexual teórica ($L_m = 236$ mm). *Pterygoplichthys* sp. mostró un reclutamiento

continuo a lo largo del año. El análisis poblacional virtual estructurado por longitud (VPA) mostró una baja mortalidad natural y por pesca en *Pterygoplichthys* sp. de tallas comprendidas entre 150 y 340 mm. Una evaluación de la población, basada en el estudio de las frecuencias de talla de *Pterygoplichthys* sp. en el CHLS, reveló que un crecimiento moderado, una larga longevidad, un reclutamiento continuo y un estado de subexplotación podrían favorecer el éxito de su proceso de invasión. El aumento de la presión pesquera sobre los juveniles (≤ 250.0 mm) conducirá a la sobreexplotación y al colapso de la población.

PALABRAS CLAVE:

Especies invasoras, noreste, pez diablo invasor, Sistema Lagunar Champayán.

ABSTRACT

Individuals of *Pterygoplichthys* sp. from the Champayán Lagoon System (CHLS), Altamira, Tamaulipas, Mexico, were examined during 2023 – 2024. The length-weight relationship, relative condition index, growth, mortality, probability of capture, and exploitation level, were determined using total length (TL) and total weight (TW) measurements. Monthly length-frequency and weight data were collected from 316 samples and analyzed using the FISAT II software. The estimated growth parameters were: $L_{\infty} = 453.60$ mm, $K = 0.340$ year $^{-1}$, $t_0 = -0.636$ and $\phi = 2.84$. The mortality rate values were: $Z = 0.830$ year $^{-1}$, $M = 0.420$ year $^{-1}$, and $F = 0.410$ year $^{-1}$. The exploitation level ($E = 0.490$) was below the optimal level of 0.5, indicating that the species is underexploited. The maximum age was 8.31 and 8.98 years, and the value of the length at first capture ($L_{50} = 324$ mm) was higher than the length of theoretical first sexual maturity ($L_m = 236$ mm). *Pterygoplichthys* sp. showed continuous recruitment throughout the year. Length-structured virtual population analysis (VPA) showed low natural and fishing mortality in *Pterygoplichthys* sp. for individuals ranging in size from 150 to 340 mm. A stock assessment, based on the study of length frequencies of *Pterygoplichthys* sp. in the CHLS, revealed that moderate growth, long longevity, continuous recruitment, and an underexploited state could favor the success of their invasive process. Increasing fishing pressure on juveniles (≤ 250.0 mm) will lead to overexploitation and population collapse.

KEY WORDS:

Invasive species, northeast, invasive sailfin catfish, Champayán Lagoon System.

Introducción

Las especies de la familia Loricariidae como *Pterygoplichthys pardalis*, *Pterygoplichthys disjunctivus* y *Pterygoplichthys multiradiatus* son considerados exóticos-invasores, causando problemas a los ecosistemas acuáticos (Orfinger & Goodding, 2018) y las pesquerías, debido a su rápido crecimiento, éxito invasivo reproductivo y cuidado parental (Sumanasinghe & Amarasinghe, 2013; Gibbs *et al.*, 2013; Sousa *et al.*, 2019; Raj *et al.*, 2019; Aida *et al.*, 2021). Uno de los problemas que representan estas especies es que, una vez establecidas, es casi imposible erradicarlas (Hill & Sowards, 2015).

Un dato interesante es que estos organismos al ser populares como peces de ornato fueron introducidos en diferentes ecosistemas del mundo de manera incidental (Orfinger & Goodding, 2018). En México, la especie fue registrada por primera vez como invasora en 1995 en el estado de Guerrero (Guzmán & Barragán, 1997); posteriormente, se han documentado en varios ecosistemas

acuáticos del sureste y suroeste (Mendoza-Alfaro *et al.*, 2007), así como en el noroeste (Ruiz-Campos *et al.*, 2014), noreste (Amador-del Ángel *et al.*, 2014; Mendoza-Illaliturri *et al.*, 2022) y en el centro de México (Mejía-Mojica *et al.*, 2015). Sin embargo, de acuerdo con Mendoza-Alfaro *et al.* (2007) hoy en día el pez diablo invasor se considera una de las mayores amenazas a la biodiversidad de los ecosistemas continentales en México y sus pesquerías de agua dulce.

En México, se han realizado diversos estudios acerca de *Pterygoplichthys* spp., como el llevado a cabo por Wakida-Kusunoki & Amador-del Ángel (2011), quienes examinaron la población de *Pterygoplichthys pardalis* en el río Palizada, Campeche. Castillo *et al.* (2014) estudiaron la población de *Pterygoplichthys* spp. en la cuenca de Chacalapa, Veracruz. Cruz (2016) evaluó aspectos biológicos y poblacionales del género *Pterygoplichthys* en los cuerpos de agua de la zona metropolitana de Veracruz, y Chávez (2022) analizó la dinámica poblacional de *Pterygoplichthys* spp. en el río Amacuzac y presa Emiliano Zapata, Morelos. Estos estudios sobre el pez diablo invasor ayudan en investigaciones futuras para su manejo y control.

El Sistema Lagunar Champayán es una red hidráulica en el sur del estado de Tamaulipas. Este sistema actúa como un medio de comunicación para comunidades pesqueras y es la principal fuente de agua para uso doméstico e industrial en los municipios de Altamira, Ciudad Madero y Tampico (CONAGUA, 2012). Los servicios ambientales que este sistema lagunar proporciona a la sociedad incluyen beneficios directos, como agua potable y alimentos por medio de la pesca y la acuicultura (González-Castillo *et al.*, 2024). Se han encontrado especies introducidas que son importantes para los pescadores (CONAPESCA, 2008). Además, era previsible la aparición del pez diablo invasor, dada la interconectividad hidrológica presente en la región.

Pterygoplichthys spp. es un grupo de peces invasores ampliamente distribuidos por todo el mundo incluido en México y de comportamiento invasivo en una gran variedad de ecosistemas, sería esperable para los cuerpos de agua en el sur de Tamaulipas se encuentre en un estado de subexplotación. Sin embargo, hasta la fecha no se han realizado estudios sobre la biología y dinámica poblacional del pez diablo invasor en el Sistema Lagunar Champayán. Asimismo, no se ha llevado a cabo un estudio para determinar si existe más de una especie, dado que únicamente se ha reportado *Pterygoplichthys* sp. (Mendoza-Illaliturri *et al.*, 2022). Sin embargo, de acuerdo con Wu *et al.* (2011) y Godwin *et al.* (2016), basándose en la recopilación especímenes introducidos de todo el mundo, así como los especímenes del comercio de acuarios, oscilan en morfología entre *P. pardalis* y *P. disjunctivus*, concluyendo que deberían considerarse híbridos.

La relevancia de este trabajo es conocer la dinámica poblacional de *Pterygoplichthys* sp. en el Sistema Lagunar Champayán utilizando metodologías de evaluación de poblaciones basado en la longitud. Dicho trabajo podría ser un referente para estudios a futuro encaminados a la mitigación para reducir el impacto de sus poblaciones, así como la posibilidad de un mayor aumento de la explotación como una medida de control.

Material y Métodos

Área de estudio

El Sistema Lagunar Champayán (CHLS) se encuentra ubicado en el municipio de Altamira en el estado de Tamaulipas en las coordenadas 22°23'10.94"N y 98° 0'33.52"O y es un cuerpo de agua alimentado por el río Guayalejo-Tamesí con una superficie aproximada de 213 km², una longitud de 38.4 km y un ancho promedio de 5.6 km. La profundidad promedio registrada es de 1.5 m, con una profundidad máxima de 5.9 m (Figura 1). El clima predominante de la región es cálido subhúmedo con precipitaciones en verano. La temperatura media anual supera los 22 °C a lo largo del año; los valores más altos se registran entre mayo y septiembre, fluctuando entre 25 °C y 29 °C, y en ocasiones superando los 40 °C. La temporada de lluvias se presenta generalmente de junio a

octubre, con una precipitación media anual de 1,043 mm. Septiembre se destaca como el mes más lluvioso, alcanzando una media de 250 mm, mientras que la estación más seca se extiende de noviembre a mayo. Los meses de enero y febrero son los más áridos, con promedios de 21.1 mm y 28.0 mm, respectivamente. Estas condiciones de temperatura y precipitación dan lugar a un verano cálido y húmedo, así como a un invierno seco y frío (CONAGUA, 2012).

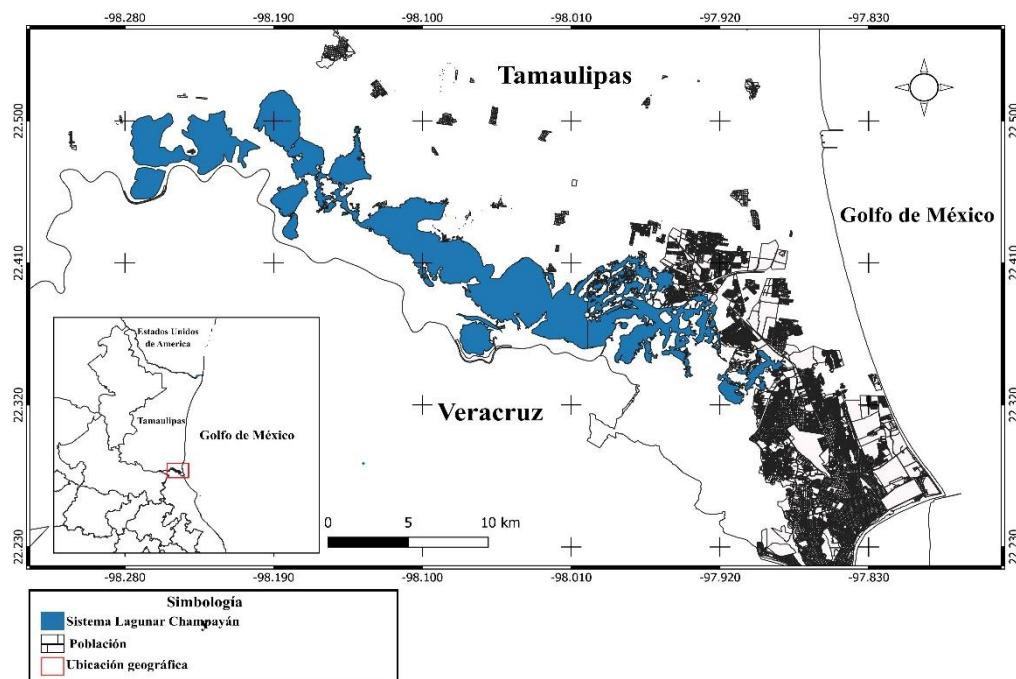


Figura 1. Localización del Sistema Lagunar Champayán, Altamira, Tamaulipas. Fuente: Elaboración propia a partir de QGIS 3.38 Grenoble.

Colecta de la muestra

El muestreo del pez diablo invasor se realizó a través de la pesca artesanal entre agosto de 2023 y julio de 2024, los organismos se obtuvieron con redes de enmallado con aberturas de luz de malla de 10.47 y 11.43 cm. A los organismos se les registraron datos de longitud total (TL; mm) mediante un ictiómetro, así como el peso total (TW; g) de cada individuo mediante el uso de una balanza digital marca Ohaus, con una apreciación de 0.01 g. La identificación del pez diablo invasor se basó en características morfológicas visibles, como la forma del cuerpo, disposición de las aletas, boca ventral succionadora y cabeza acorazada (Wakida-Kusunoki *et al.*, 2007; Golani & Snovsky, 2013; Amador-del Ángel & Wakida-Kusunoki, 2014). Dado que *Pterygoplichthys* es el único género de loricáridos reportado en el CHLS (Mendoza-Ilizaliturri *et al.*, 2022), las identificaciones se asignaron a este género. Es importante mencionar que no se logró identificar la especie, debido a las diversas variaciones en los patrones de coloración ventral, que no se corresponden con *Pterygoplichthys pardalis* o *Pterygoplichthys disjunctivus*, ya que, según varios autores, existen híbridos entre estas dos especies (Wu *et al.*, 2011; Bijukumar *et al.*, 2015; Hussan *et al.*, 2019).

Frecuencia de tallas, relación longitud-peso y condición relativa

El análisis de la distribución de la frecuencia de tallas de la longitud total (TL; mm) de los peces recolectados se efectuó mensualmente, cuyo número de intervalos fueron calculados mediante la regla de Sturges (Scherrer, 1984):

$$(Ecuación 1) \quad K = 1 + 3.32 (\log_{10} n)$$

Donde K = número de intervalos de clase, n = número total de muestras, siendo 10 el número de intervalos, lo que permitió obtener un mejor detalle en la estructura de tallas del pez diablo invasor.

Para establecer la etapa correspondiente de los ejemplares recolectados, se tomó como referencia lo estipulado por Nico (2010) y Nico *et al.* (2012), quien considera etapa de juvenil ≤ 250.0 mm y adulto ≥ 250.1 mm.

La relación longitud-peso se estimó mediante el modelo potencial:

$$(Ecuación 2) \quad Y = aX^b$$

Donde "a" es el intercepto (coeficiente de crecimiento inicial) y "b" es la pendiente (coeficiente de alometría), bajo el supuesto de que si $b < 3$ existe un crecimiento alométrico negativo, si $b = 3$ el crecimiento es isométrico y si $b > 3$ el crecimiento que presenta la especie es un crecimiento alométrico positivo (Berhan *et al.*, 2019). El factor de condición relativa se estimó siguiendo la ecuación de Le Cren (1951):

$$(Ecuación 3) \quad K = W / aL^b$$

Crecimiento, mortalidad, edad y nivel de explotación

El crecimiento del pez diablo invasor fue descrito mediante el modelo de von Bertalanffy (1938), cuya expresión matemática es:

$$(Ecuación 4) \quad L_t = L_\infty * [1 - e^{(-K*(t-t_0))}]$$

Posteriormente, se calculó el índice de rendimiento del crecimiento o phi-prima (ϕ) mediante la ecuación de Munro & Pauly (1983):

$$(Ecuación 5) \quad \phi = \log(K) + 2 * \log(L_\infty)$$

t_0 se estimó utilizando la ecuación empírica de Pauly (2024):

$$(Ecuación 6) \quad \log_{10}(-t_0) = -0.392 - 0.275 * \log_{10} L_\infty - 1.038 * \log_{10} K$$

Para las tasas de mortalidad, se obtuvo el valor de la mortalidad total (Z), por medio de la curva de captura convertida en longitud (Pauly, 1983). La mortalidad natural (M): se estimó a través de la ecuación empírica de Pauly (1980) y una temperatura superficial media del agua (T) de 29º C:

$$(Ecuación 7) \quad \log M = -0.0066 - 0.279 \log L_\infty + 0.6543 \log K + 0.4634 \log T.$$

La tasa instantánea de mortalidad por pesca (F) se obtuvo por sustracción de Z sobre M:

$$(Ecuación 8) \quad (F = Z - M)$$

El nivel de explotación fue estimado con base en la ecuación de Pauly & Munro (1984):

(Ecuación 9)

$$E = F / (F + M)$$

La edad máxima de la especie se estimó mediante la ecuación propuesta por Taylor (1958):

(Ecuación 10)

$$A_{0.95} = t_0 + 2.996/K$$

Donde $A_{0.95}$ es la edad máxima o tiempo requerido para alcanzar el 95 % de la longitud máxima (L_∞).

La edad máxima también se determinó según el modelo de Pauly (1980):

(Ecuación 11)

$$3/K$$

Donde K representa el coeficiente de crecimiento anual.

Reclutamiento, longitud de primera captura y longitud de primera madurez

El patrón de reclutamiento se determinó siguiendo los procedimientos descritos por Gayanilo *et al.* (2005) y Pauly (1983). Utilizando la longitud asintótica (L_∞) y el coeficiente de crecimiento (K) como parámetros de entrada, se reconstruyeron los pulsos anuales de reclutamiento mediante la proyección inversa de los datos de frecuencia de tallas.

Estimación de la vulnerabilidad de grupos de longitud seleccionados (L_{25} , L_{50} y L_{75}) fue de acuerdo al método de curva de captura convertida en longitud (Pauly, 1984; Gayanilo *et al.*, 2005). Donde L_{25} = longitud en la cual el 25 % de los peces que entran en la red de pesca son retenidos por el arte; L_{50} = longitud en la que el 50 % de los peces eran retenidos por el arte y se consideran el equivalente a la longitud media del pez en la primera captura (L_{c50}); L_{75} = longitud en la que son retenidos el 75 % de los peces. La talla de primera madurez sexual (L_{m50} , mm) para *Pterygoplichthys* sp. se estimó utilizando la ecuación propuesta por Froese & Binohlan (2000) como:

(Ecuación 12)

$$L_m = 0.8979 * \log(L_\infty) - 0.0781$$

Análisis de población virtual estructurado por longitud (VPA)

En este análisis se empleó el método modificado de Jones & Van Zalinge (1981) y Gayanilo *et al.* (2005). Los parámetros de entrada fueron L_∞ , K, M, F y las constantes de la relación longitud-peso (a y b).

Análisis de datos

Se utilizó el software FiSAT II (Gayanilo *et al.*, 2005) para evaluar los parámetros poblacionales de *Pterygoplichthys* sp. Los parámetros de crecimiento, incluyendo la longitud asintótica (L_∞) y el coeficiente de crecimiento (K), se estimaron mediante la rutina ELEFAN I, calculándose también el índice de rendimiento del crecimiento o phi prima (ϕ) (Pauly & Munro, 1984). Los parámetros de mortalidad total (Z), natural (M) y por pesca (F), así como el nivel de explotación (E), el patrón de reclutamiento y la talla de primera captura (L_{c50}), se determinaron a través de la rutina ELEFAN II (Pauly, 1983). Adicionalmente, se realizó un Análisis de Población Virtual (VPA) estructurado por tallas. El coeficiente alométrico de la relación peso-talla se comprobó mediante una prueba t de Student utilizando el software SPSS.

Resultados y Discusión

Pterygoplichthys sp., conocido comúnmente como pez diablo invasor o pleco, es una especie exótica-invasora en el CHLS, no obstante, su introducción en este cuerpo de agua es incierta. Se ha sugerido que la especie pudo haberse introducido a través de escapes accidentales de acuarios o como resultado de su tenencia como mascota en los hogares (Mendoza-Alfaro *et al.*, 2007), esto debido a que los ejemplares juveniles son especialmente valorados por los aficionados a la acuariofilia debido a su capacidad para controlar el crecimiento de algas en acuarios domésticos (Sumanasinghe & Amarasinghe, 2013). Es probable que existan varias especies de pez diablo invasor en las aguas del CHLS y el río Tamesí, así como en otros cuerpos acuáticos del sur de Tamaulipas. De acuerdo con Mendoza-Alfaro *et al.* (2007) han sugerido la presencia de diversas especies del género *Hypostomus* spp. y *Pterygoplichthys* spp. en el país; además, se han reportado posibles híbridos. Wu *et al.* (2011) sugirieron un posible origen híbrido entre las especies introducidas de *Pterygoplichthys*, las cuales exhibieron un comportamiento más agresivo que podría haber incrementado su adaptabilidad a los ecosistemas ya establecidos. En la actualidad, la limitada investigación sobre especies invasoras en el CHLS restringe la comprensión de su estado actual y de los impactos ecológicos y sociales que podrían imponer en la región.

Frecuencia de tallas, relación longitud-peso y condición relativa

Los resultados se obtuvieron a partir de 316 organismos de pez diablo invasor. El intervalo de tallas fue de 153 a 428 mm (promedio 301.7 ± 58.71) y pesaron de 28 a 556 g (promedio 259.4 ± 136.6). La mayor proporción de organismos estuvo representada entre 264 y 373 mm que representa el 62.34 % de la población capturada (Figura 2).

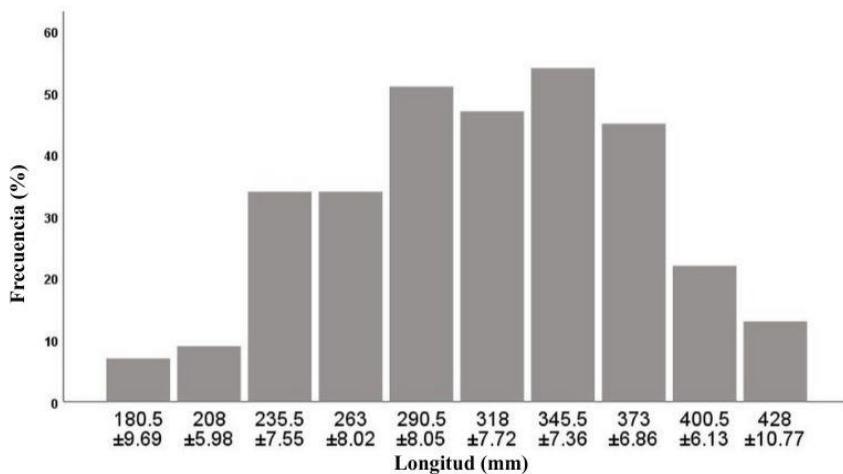


Figura 2. Distribución de frecuencia de tallas de *Pterygoplichthys* sp. Fuente: Elaboración propia a partir de SPSS software.

La talla máxima de captura registrada en este estudio fue de 428 mm. No obstante, este valor fue mayor a lo reportado por Wakida-Kusunoki & Amador-del Ángel (2011), quienes obtuvieron la

talla máxima de 422 mm en *P. pardalis*, Castillo *et al.* (2014) reporta una talla máxima de 390 mm en *P. pardalis*, Cruz (2016) indicó que la talla máxima predominante en *P. pardalis* y *P. disjunctivus* fue de 350 mm, mientras que en *P. multiradiatus* fue de 340 mm. Cruz (2016) menciona que los organismos de este género reportados a nivel nacional no superan los 535 mm. Sin embargo, los datos de la longitud máxima que puede alcanzar en vida libre, aún se siguen modificando debido a que se siguen presentando nuevos reportes, como lo registrado por Chávez (2022), quien hasta la fecha ha registrado la talla más grande de 555 mm en *Pterygoplichthys* spp. en el estado de Morelos. Estas diferencias o similitudes pueden deberse directamente al arte de pesca utilizada, ya que en algunos casos se colectan peces diablo invasores provenientes de la pesca comercial y otras de redes experimentales, por lo que repercute en el tamaño los peces capturados (Chávez, 2022). Por ejemplo, las tallas más pequeñas, que no han sido registradas, suelen tener una representación inferior en el análisis de frecuencias de tallas. De igual manera, cuando la técnica de pesca se orienta hacia los peces de mayor tamaño, este problema puede volver a presentarse (Ralston, 1990). Además, Wilson *et al.* (2015) mencionan que la utilización conjunta de diferentes artes de pesca proporciona estimaciones más precisas de los parámetros individuales y presenta una varianza significativamente menor en comparación con el uso de un único tipo de arte de pesca al estimar el modelo de crecimiento de von Bertalanffy. Esta combinación puede mejorar la representatividad de la muestra y optimizar la estimación de dicho modelo de crecimiento.

En este sistema lagunar se recolectaron 70 organismos en etapa juvenil (≤ 250.0 mm), que representó el 22.08 %, de la población, siendo los meses de julio a septiembre con mayor abundancia, asimismo se obtuvieron 246 organismos en etapa adulta (≥ 250.1 mm) el 77.92 % de la población siendo los meses de mayo, diciembre y enero con mayor abundancia (Figura 3).

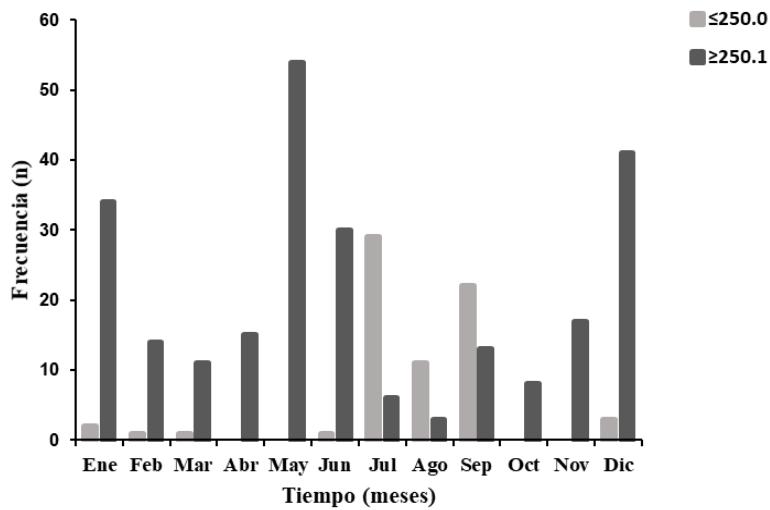


Figura 3. Distribución de estadios de *Pterygoplichthys* sp. Fuente: Elaboración propia a partir de SPSS software.

De acuerdo con el criterio de Nico (2010) y Nico *et al.* (2012), el mayor registro de organismos en etapa adulta ocurrió en las estaciones de verano. Esto puede estar relacionado con la temporada de reproducción, debido a que es el periodo de mayor actividad de estos organismos; lo cual tiene como consecuencia un aumento en su captura, y por ende un incremento de la captura por unidad de esfuerzo (Wakida-Kusunoki & Amador-del Ángel, 2011). Asimismo, el inicio de dicho comportamiento da como resultado el incremento de organismos en talla y peso (Chávez, 2022) y el desarrollo gonadal, el cual ocurre en los meses cálidos, extendiéndose de abril a octubre (Castillo *et al.*, 2014). Dicho comportamiento para este estudio es similar a lo reportado por Chávez (2022).

quién observó un incremento en la actividad reproductiva con la mayor captura de adultos en los meses de abril a julio, mientras que Castillo *et al.* (2014) observaron mayor actividad en los meses de junio y julio en Chacalapa, Veracruz, y Rueda-Jasso *et al.* (2013) reportó mayores incrementos de actividad de julio a septiembre en la presa el “Infiernillo” Michoacán. Otros factores como la temperatura, la disponibilidad de recursos y las interacciones bióticas (competidores y depredadores) son elementos clave que benefician la madurez y la reproducción de las especies de peces, dejando la etapa juvenil para entrar en etapa adulta (reproductiva) (Alp *et al.*, 2003). Se ha documentado que en especies del género *Pterygoplichthys*, los individuos alcanzan su primera fase reproductiva a longitudes menores (≤ 250 mm; 130 a 220 mm) (Samat *et al.*, 2016; Sousa *et al.*, 2019; Tamsil *et al.*, 2024). Estos organismos son clasificados como juveniles en otras investigaciones (Nico, 2010; Nico *et al.*, 2012; Hossain *et al.*, 2018).

Con respecto a la relación longitud-peso de *Pterygoplichthys* sp. registró diferencia estadística significativa ($t = 0.001$, $p < 0.05$). Se determinó un valor $b = 3.029$, lo que evidenció un crecimiento isométrico. Asimismo, se estableció la ecuación: $(TW = 0.007 * TL^{3.029} r = 0.953)$ (Figura 4). Otros estudios han reportado en peces diablo con un valor de ($b < 3.0$; Wakida-Kusunoki & Amador-del Ángel, 2011; Chávez, 2022), lo que significa que de acuerdo a estos autores estos organismos están incrementando preferencialmente su longitud más que su peso, lo que indica que esta especie tiene una tasa de crecimiento relativamente lenta y por consecuencia tiende a disminuir su peso (Jisr *et al.*, 2018). Así mismo Castillo *et al.* (2014) registraron para individuos machos un valor de ($b < 3.0$) y para hembras ($b > 3.0$), lo que significa que las hembras ganan más peso por unidad de talla que los machos. Por otra parte, Cruz (2016) reportó en hembras un valor de $b > 3.0$, mientras que para los machos obtuvo $b = 3.0$. Este último valor coincide con los resultados del presente estudio, lo que indica que la talla y el peso aumentaron de manera proporcional (Balai *et al.*, 2017). Asimismo, el factor de condición relativa (Kn) indica el bienestar/condición de los peces. Se estimó que era $Kn = 1.04$, lo que reveló una condición de crecimiento normal, bajo el supuesto que $Kn \geq 1$ indica una mejor condición de crecimiento, mientras que $Kn < 1$ indica una condición de crecimiento deficiente (Maurya *et al.*, 2018). Los factores que influyen en el bienestar/condición de crecimiento de los peces incluyen la alimentación disponibilidad, enfermedades y factores fisicoquímicos del entorno del hábitat (Le Cren, 1951; Jisr *et al.*, 2018), por lo que el pez diablo invasor en el presente estudio, pudiera tener los recursos necesarios disponibles para un crecimiento óptimo, como lo son: la falta de depredadores, variabilidad en la calidad del agua, disponibilidad de alimento, alta concentración de materia orgánica provenientes de las actividades domésticas e industriales, ya que este último tiene una fuerte correlación entre la densidad y supervivencia del pez diablo invasor en sitios contaminados (Escalera-Vázquez *et al.*, 2019; Elfidasari *et al.*, 2020a, 2020b). De acuerdo con González-Castillo *et al.* (2024) en el CHLS se han detectado zonas de eutrofización e hipoxia, así como altas concentraciones de nitrógeno amoniacal, sin embargo, *Pterygoplichthys* sp. puede tolerar una mala calidad del agua, así como el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco y nitrato, que son perjudiciales para otras especies (Wei *et al.*, 2018).

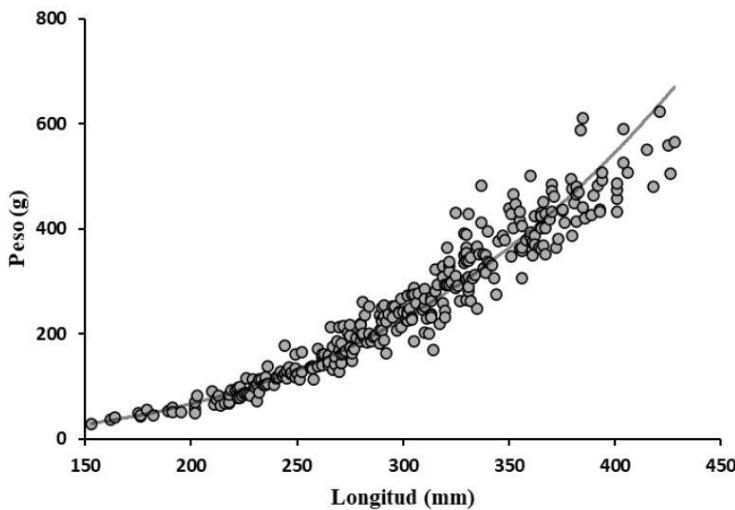


Figura 4. Relación entre las variables longitud-peso de *Pterygoplichthys* sp. Fuente: Elaboración propia a partir de SPSS software.

Crecimiento, mortalidad y edad

Los parámetros de crecimiento de *Pterygoplichthys* sp. en el CHLS presentaron los valores siguientes: L_{∞} de 453.60 mm, el valor de K fue 0.340 año^{-1} y t_0 fue de -0.636. Los valores de L_{∞} y K obtenidos en este estudio se encuentran dentro del rango reportado para diversas especies del género *Pterygoplichthys* en investigaciones realizadas en diferentes regiones del mundo (Gibbs *et al.*, 2013; Sumanasinghe & Amarasinghe, 2013; Sousa *et al.*, 2019; Raj *et al.*, 2019; Wickramaratne *et al.*, 2020; Aida *et al.*, 2021; Chávez, 2022). No obstante, L_{∞} del presente estudio fue mayor en la mayoría de los casos que se ha reportado (Sumanasinghe & Amarasinghe, 2013; Sousa *et al.*, 2019; Wickramaratne *et al.*, 2020; Aida *et al.*, 2021). El valor más alto de L_{∞} (791.0 mm) se registró en *P. pardalis* en Morelos, México (Chávez, 2022), mientras que el valor más bajo L_{∞} (331.0 mm) se observó en *P. disjunctivus* en Sri Lanka (Wickramaratne *et al.*, 2020).

El valor K determina la velocidad a la que una especie se aproxima a su L_{∞} y se ha relacionado con la longevidad o la duración de vida de las especies (Beverton & Holt, 1959). El valor K en este estudio, se encontró muy cercano con los resultados de investigaciones previas (Sumanasinghe & Amarasinghe, 2013; Sousa *et al.*, 2019; Wickramaratne *et al.*, 2020). El valor máximo de K (0.53 año^{-1}) fue observado en *P. pardalis* en aguas de la India (Raj *et al.*, 2019), mientras el valor mínimo de K (0.13 año^{-1}) también se registró en *P. pardalis* en Morelos, México (Chávez, 2022). Generalmente, los valores más altos de L_{∞} se asocian con valores de K más bajos y viceversa. A medida que los valores de K disminuyen, la longevidad del organismo tiende a aumentar, y cuando los valores de K son más altos, la vida del organismo es más corta (King, 1995, 2007). En este contexto, según la estimación de la edad basada en la frecuencia de tallas utilizando el modelo de von Bertalanffy, los peces diablo de la India presentan un valor de K más elevado, lo que sugiere un crecimiento inicial más acelerado, pero con una menor longevidad. En su primer año alcanzan una longitud de 38 mm y en el segundo 224 mm, logrando una talla cercana a la asintótica hacia los 15 años. Por otro lado, los peces diablo en Morelos, México, tienen un valor de K menor, pero con una mayor longevidad, creciendo 68 mm en el primer año y 151 mm en el segundo, alcanzando una

longitud asintótica a los 38 años, lo que hasta ahora representa el valor más elevado de L_{∞} y el valor más bajo de K. Para el pez diablo invasor del CHLS, la curva de crecimiento describió un patrón asintótico, con un crecimiento inicial de 52 mm durante el primer año. En el segundo y tercer año el crecimiento es moderadamente rápido, mientras que en los años posteriores la tasa de crecimiento disminuye gradualmente. Aunque la proyección del modelo sugiere que la especie alcanzaría su longitud máxima teórica hacia los 25 años, la longevidad máxima observada (t_{max}) en este estudio se situó entre los 8.31 y 8.98 años (Taylor, 1958; Pauly, 1980). Este valor es mayor al reportado en otros estudios (5.66 – 7.31 años; Sousa *et al.*, 2019; Raj *et al.*, 2019), lo que sugiere que la población en el CHLS tiene una mayor supervivencia o que las condiciones del hábitat son tan favorables que permiten que los individuos vivan más tiempo. Este hallazgo no es contradictorio, sino que refleja la naturaleza del modelo: mientras que los individuos muestreados alcanzan una edad biológica cercana a los 9 años, la baja tasa de curvatura (K) indica que teóricamente requerirían de un periodo más extenso para estabilizar su crecimiento total. Cabe destacar que este dato de longevidad proyectada representa el segundo valor más alto en comparación con lo reportado por otros autores, cuyo rango de vida observado suele oscilar entre los 6 y 18 años (Gibbs *et al.*, 2013; Sumanasinghe & Amarasinghe, 2013; Sousa *et al.*, 2019; Aida *et al.*, 2021). El incremento en la longitud de los peces se reducirá a medida que aumente su edad, ya que la tasa de crecimiento de cada organismo está estrechamente relacionada con su edad. Los peces jóvenes suelen experimentar un crecimiento más acelerado en comparación con los adultos. Aunque el crecimiento de los peces de mayor longevidad continuará, lo hará de manera más lenta, dado que la proporción de energía derivada de los alimentos disminuye, mientras que la energía destinada a la reproducción, al mantenimiento de la condición física y a la regeneración de células dañadas aumenta con la edad (Suwarni & Sri, 2021). La familia de los loricáridos es extensa, lo que dificulta la definición de las características de edad y crecimiento entre las diferentes especies. Sin embargo, se ha determinado que su longitud asintótica puede oscilar entre 350 y 750 mm, ya que estos patrones de crecimiento pueden estar influenciados por la presión ambiental que afecta al organismo, incluyendo factores como los hábitos alimenticios, la estacionalidad, la actividad pesquera y la temperatura, entre otros (Canosa & Bertucci, 2023).

En relación con la estimación de los parámetros de crecimiento, el índice de rendimiento del crecimiento o phi-prima (ϕ) en el presente estudio fue de 2.84 que relaciona los parámetros de L_{∞} y K. Se identificaron tanto diferencias como similitudes entre los loricáridos a nivel mundial. Asimismo, Sumanasinghe & Amarasinghe (2013) reportaron para *P. pardalis* un valor de ($\phi = 2.71$), mientras que Gibbs *et al.* (2013) documentaron valores de ($\phi = 3.10$ y 2.84) en *P. disjunctivus* y Raj *et al.* (2019) registraron un valor de ($\phi = 3.10$) para *P. pardalis*. No obstante, la tasa de crecimiento estimada (K) y el índice de crecimiento (ϕ) de *Pterygoplichthys* sp., para este estudio se sitúa justo en el rango recomendado para especies tropicales de rápido crecimiento ($K = 0.330 – 0.670 \text{ año}^{-1}$; Kienzle, 2005) y ($\phi = 2.65 – 3.32$; Baijot *et al.*, 1997; Montchowui *et al.*, 2022), esto sugiere que el pez diablo invasor del CHLS tiene un crecimiento moderado ($\phi = 2.84$, $K = 0.340 \text{ año}^{-1}$). Estas diferencias y similitudes podrían deberse a características de hábitat, distribución geográfica, factores ambientales, estimaciones a partir de distintos métodos de análisis de datos, tamaño de la muestra, modalidad de captura y selectividad de las artes de pesca (Hoyle *et al.*, 2024). En este mismo contexto Pauly & Munro (1984) mencionan que, esta prueba proporciona una indicación de la fiabilidad de las estimaciones de edad y crecimiento, ya que se ha sugerido que los valores del Índice de rendimiento del crecimiento o phi-prima (ϕ) son similares para las mismas especies y géneros. Dicha tasa de crecimiento moderado (K, ϕ), un valor bajo de K, un valor alto de L_{∞} , junto con una longevidad prolongada (t_{max}), un crecimiento isométrico, un factor de condición normal, indican que el pez diablo invasor del CHLS no requiere un crecimiento acelerado para alcanzar su madurez sexual y reproducirse, lo que se considera como rasgos de selección k (Pianka, 1974; Adams, 1980; Boyce, 1984). Esto se diferencia de otros peces pequeños, como sardinas (Clupeidae), anchoas y arenques (Engraulidae), que presentan valores altos de K y valores más bajos de L_{∞} , un crecimiento rápido, una maduración temprana y vidas cortas, características asociadas a los rasgos de selección r, debido a que son presas de peces más grandes (Samsun *et al.*, 2004; González- Cabellos *et al.*, 2016).

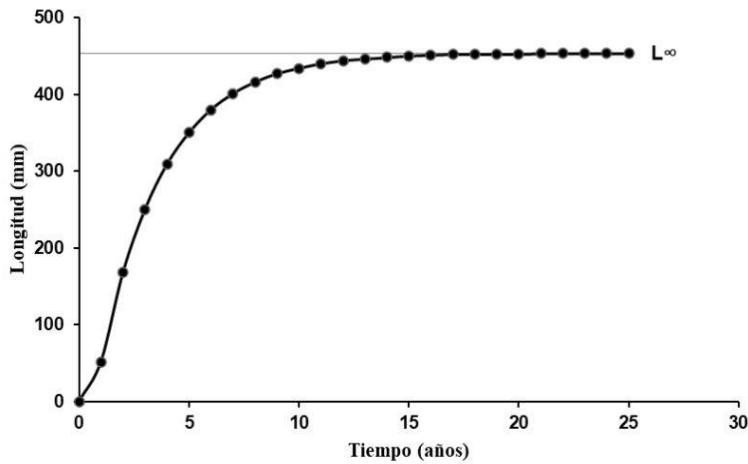


Figura 5. Curva de crecimiento en longitud de *Pterygoplichthys* sp. de acuerdo con el modelo de von Bertalanffy (1938). Fuente: Elaboración propia a partir de SPSS software.

La tasa de mortalidad total fue: $Z = 0.830 \text{ año}^{-1}$, mientras que la mortalidad natural ($M = 0.420 \text{ año}^{-1}$) superó a la tasa de mortalidad ocasionada por la pesca ($F = 0.410 \text{ año}^{-1}$), lo que indica que los peces diablo mueren en mayor medida por causas biológicas que por la actividad pesquera. Esto se debe a que los pescadores del CHLS aún no consideran al pez diablo invasor como su principal objetivo comercial (Balderas-Mancilla *et al.*, 2025). La mortalidad natural puede verse afectada por una variedad de factores biológicos, como enfermedades y edad, así como por factores ambientales, incluyendo la calidad del agua y la contaminación. La tabla 1 indica que *Pterygoplichthys* sp. en el CHLS se halla en un estado de subexplotación, con un valor de $E = 0.490$. Un valor superior a $E = 0.5$, indicaría una sobreexplotación del recurso, mientras que un valor inferior a $E = 0.5$ señalaría un nivel óptimo de explotación (Gulland, 1971). Esto sugiere que el pez diablo invasor en el CHLS no está siendo capturado ni demandado comercialmente (Balderas-Mancilla *et al.*, 2025). Además, un valor bajo de mortalidad natural (M) comparada con otros estudios (Sousa *et al.*, 2019; Raj *et al.*, 2019; Aida *et al.*, 2021) puede contribuir a su éxito como especie invasora.

Tabla 1. Parámetros poblacionales de *Pterygoplichthys* sp. durante el periodo 2023 – 2024.

Parámetros poblacionales

Longitud asintótica (L_∞) en mm	453.60
Coeficiente de crecimiento (K) año ⁻¹	0.340
Edad del pez a longitud cero (t_0)	-0.636
Índice de rendimiento del crecimiento o phi-prima (ϕ)	2.84
Mortalidad total (Z) año ⁻¹	0.830
Mortalidad natural (M) año ⁻¹	0.420
Mortalidad por pesca (F) año ⁻¹	0.410
Nivel de explotación (E)	0.490
Edad máxima (Taylor, 1958)	8.31 años
Edad máxima (Pauly, 1980)	8.98 años

Fuente: Elaboración propia.

Reclutamiento y probabilidad de captura

El patrón de reclutamiento de la población de *Pterygoplichthys* sp. registró una actividad ininterrumpida a lo largo de los períodos de muestreo, con picos máximos entre febrero – mayo y agosto, mientras que los valores más bajos se observaron en septiembre (Figura 6). Este reclutamiento constante es un factor clave en el éxito invasor de la especie, fundamentado en una madurez sexual temprana bajo condiciones favorables. Diversos autores han documentado la madurez en tallas de 130 – 240 mm a nivel mundial (Samat *et al.*, 2016; Tamsil *et al.*, 2024), mientras que en México se han registrado tallas de 190 a 300 mm (Rueda-Jasso *et al.*, 2013; Cruz, 2016). Esta ventaja adaptativa, sumada al cuidado parental y la construcción de nidos que protegen a los alevines (Lienart *et al.*, 2013), permite que los juveniles alcancen tallas donde su armadura ósea los hace menos vulnerables.

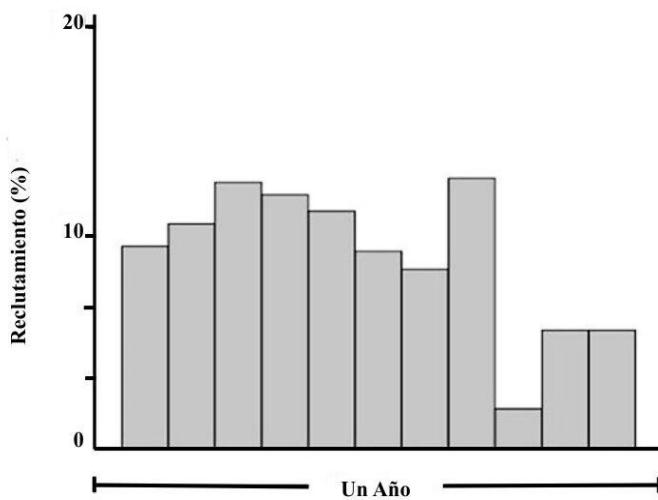


Figura 6. Patrón de reclutamiento anual de *Pterygoplichthys* sp. Fuente: Elaboración propia a partir de FISAT II software

En este contexto, la longitud total (TL) de la primera captura en el área de estudio fue de $L_{c50} = 324$ mm. Las longitudes del 25% (L_{c25}) y 75% (L_{c75}) se estimaron en 291 mm y 356 mm, respectivamente (Figura 7). Asimismo, la longitud de captura ($L_{c50} = 324$ mm) fue superior a la longitud de primera madurez sexual teórica ($L_{m50} = 236$ mm), lo que indica que, bajo el esquema actual, los individuos son capturados tras haber completado al menos un ciclo reproductivo. Desde una perspectiva de manejo de especies invasoras, estos resultados sugieren que el arte de pesca actual es selectivo hacia tallas grandes, permitiendo que una fracción significativa de la población alcance la madurez y garantice el reclutamiento constante mencionado anteriormente. Por lo tanto, como medida de control efectiva, se recomienda una reducción en la luz de malla de las artes de pesca. Disminuir la L_{c50} para incluir individuos juveniles y adultos jóvenes (por debajo de los 236 mm) ejercería una presión selectiva que podría derivar en la sobreexplotación de la población reproductora. Esta estrategia de control poblacional concuerda con Vallejo & Soriano (2011), quienes proponen una presión mayor en la captura de todos los estadios, y con Raj *et al.* (2019), quienes sugieren que la remoción de individuos pequeños es fundamental para acelerar la erradicación de la especie.

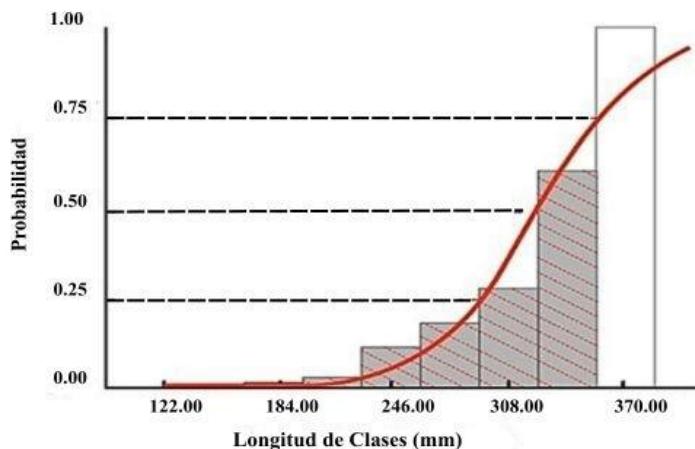


Figura 7. Probabilidad de captura (L_{25} , L_{50} y L_{75}) de *Pterygoplichthys* sp. Fuente: Elaboración propia a partir de FISAT II software

Análisis de la población virtual estructurado por longitud (VPA)

El VPA se realizó utilizando los parámetros de entrada L_{∞} , K , M , a , b y F_t (mortalidad por pesca terminal asumida como 0.5) y los resultados determinaron una mortalidad por pesca con valores menores de 0.43 para cada grupo de longitud. El análisis indicó una mortalidad baja por pesca en los grupos de longitud total (TL) menor a 340.0 mm, mientras que la mayor mortalidad se observó en los grupos de longitud superior a 340.1 mm. El VPA indica que la especie presenta una alta tasa de supervivencia, lo cual se atribuye a la escasa mortalidad natural y a la reducida presión de la pesca (Figura 8). Una simulación del VPA relacionada con el incremento de la mortalidad por pesca indica que un aumento en la presión pesquera, utilizando los métodos que se aplican en la pesca experimental, podría reducir de manera exponencial la población de juveniles antes de que alcancen la madurez sexual. Sin embargo, los efectos sobre la población de clases de tamaño superiores serán menos impactados porque la probabilidad de supervivencia y maduración en adultos es alta debido a la baja mortalidad natural en ausencia de depredadores (Raj *et al.*, 2019). Aunque el aumento de la mortalidad por pesca puede afectar negativamente a las poblaciones, la eliminación completa de esta especie invasora representa un desafío en el CHLS. Esto se debe, en gran medida, a las estrategias de supervivencia y adaptación del pez diablo invasor (Escalera-Vázquez *et al.*, 2019; Elfidasari *et al.*, 2020a, 2020b; Aida *et al.*, 2021). Además, un aspecto relevante es la escasa atención que el gobierno municipal ha prestado a la implementación de un programa destinado al control o erradicación de esta especie, ya que, según los testimonios de los pescadores, esto podría representar un costo considerable para las autoridades (Balderas-Mancilla *et al.*, 2025). En la actualidad, no se ha determinado un valor económico para los peces capturados, lo que lleva a los pescadores a devolverlos a la laguna por falta de interés. No obstante, los pescadores están dispuestos a aprender y aprovechar este organismo para establecer oportunidades de colaboración con las autoridades municipales y estatales para controlar o erradicar esta especie invasora o, en su defecto, buscar beneficios económicos derivados de ella.

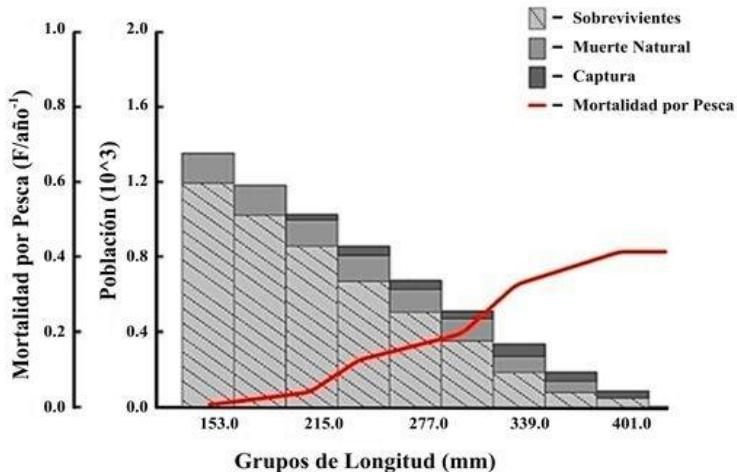


Figura 8. Análisis de población virtual estructurado por longitud (VPA) de *Pterygoplichthys* sp. Elaboración propia a partir de FISAT II software

Conclusiones

Esta investigación ofrece un análisis actualizado sobre la población del pez diablo invasor en una región pesquera de gran relevancia al sur de Tamaulipas, específicamente en el CHLS. Este estudio puede servir como referencia para la implementación de estrategias de control o erradicación de esta especie invasora. Además, este estudio señala que un crecimiento moderado, una longevidad prolongada y un reclutamiento constante a lo largo del año son factores que probablemente contribuyen al éxito de la invasión de *Pterygoplichthys* sp. en la zona estudiada, así como en otras áreas cercanas al CHLS. En la actualidad, la población de *Pterygoplichthys* sp. está subexplotada, lo que indica un potencial para aumentar el nivel de explotación y proporcionar un valor comercial a este recurso. Transformar esta especie invasora a un recurso utilizable sería la acción más importante para su manejo, permitiendo controlar el tamaño de la población. El aumento de la presión pesquera dirigida a los organismos ≤ 250 mm, podría tener un impacto considerable en los individuos antes de alcanzar su primera madurez sexual, lo que podría llevar a una posible sobreexplotación de esta especie invasora. Además, es esencial profundizar en el conocimiento de las estrategias reproductivas y en la identificación de las áreas de desove para comprender el comportamiento del pez diablo invasor, lo que facilitaría la formulación de estrategias para su control y posible erradicación.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo: B.M.U.J., C.A.J., A.M.A.L., S.C.M.I., P.A.J., D.I.C.A., C.C.R.M. C.S.F.L; Salida de campo, escritura y preparación del manuscrito: B.M.U.J., C.A.J., A.M.A.L., S.C.M.I; Redacción y revisión: B.M.U.J., P.A.J., D.I.C.A., C.C.R.M. C.S.F.L

Financiamiento

Esta investigación fue financiada con fondos propios

Declaración de consentimiento informado

Se obtuvo el consentimiento informado de todos los sujetos que participaron en el estudio.

Agradecimientos

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a todos los pescadores por su valiosa colaboración en la captura de los organismos, así como a los autores e instituciones cuyo apoyo y contribuciones fueron fundamentales para la exitosa realización de este estudio.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Adams, P.B. (1980). Life history patterns in marine fishes and their consequences for fisheries management. *Fishery bulletin*, 78, 1–12. <https://spo.nmfs.noaa.gov/content/life-history-patterns-marine-fishes-and-their-consequences-fisheries-management>
- Aida, S.N., Ridho, R., Saleh, E., & Utomo, A.D. (2021). Estimation of Growth Parameter on Sailfin Catfish (*Pterygoplichthys pardalis*) in Bengawan Solo River, Central Java Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 695, 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/695/1/012027>.
- Alp, A., Kara, C., & Büyükcabar, H. M. (2003). Reproductive biology of brown trout, *Salmo trutta macrostigma* Dumeril 1858, in a tributary of the Ceyhan River which flows into the eastern Mediterranean Sea. *Journal of Applied Ichthyology*, 19, 346–351. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2003.00455.x>
- Amador-del Ángel, L.E., Guevara-Carrión, E.D.C., González-Elías, J.M., Brito-Pérez, R., & Endañú-Huerta, E. (2014). Aspectos biológicos e impacto socioeconómico de los peces del género *Pterygoplichthys* y dos cíclidos no nativos en el sistema fluvio lagunar deltaico Río Palizada, en el Área Natural Protegida Laguna de Términos, Campeche. México D. F. http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/GN004_Ficha_Pez_Diablo.pdf
- Amador-del Ángel, L.E., & Wakida-Kusunoki, A.T. (2014). Peces invasores en el sureste de México. In Mendoza-Alfaro, R.E., & Koleff- Osorio, P. Especies acuáticas invasoras en México. (pp. 425-433). Ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Balai, V.K., Sharma, L.L., & Ujjania, N.C. (2017). Morphometric relationship of Indian major carps (*Catla catla*, *Labeo rohita* and *Cirrhinus mrigala*) from Jaisamand Lake, Udaipur (India). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(3), 547-550. <https://www.entomoljournal.com/archives/?year=2017&vol=5&issue=3&ArticleId=1856>
- Baijot, E., Moreau, J., & Bouda S. (1997). Hydrological Aspects of Fisheries in Small Reservoirs in the Sahel Region, Netherlands. Ed. Centre for Agricultural and Rural Cooperation. <https://cgspace.cgiar.org/items/8f21908b-3163-4da4-a143-1a4871e088c3>
- Balderas-Mancilla, U. J., Cipriano-Anastasio, J., & Azuara-Domínguez, A. (2025). Perception of the ecological and socioeconomic problems of the invader sailfin catfish *Pterygoplichthys* spp. (Siluriformes: Loricariidae) by fishermen in Altamira, Tamaulipas, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1749. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1749>

Berhan, A., Birhanu, B., Misikire, T., & Abraham, A. (2019). Length-weight relationships and condition factor of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) (Cichlidae) in Koka Reservoir, Ethiopia. *International Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 4, 47–51. <https://www.fishjournals.com/archives/2019/vol4/issue1>

Beverton, R.J.H., & Holt, S. J. (1959). A review of the lifespans and mortality rates of fish in nature and their relation to growth and other physiological characteristics. In Wolstenholme, G. E. W., & O'Connor, M. The Lifespan of Animals. pp. 142–180. Ed. John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470715253.ch10>

Bijukumar, A., Smrithy, R., Sureshkumar, U., & George, S. (2015). Invasion of South American suckermouth armored catfishes *Pterygoplichthys* spp. (Loricariidae) in Kerala, India a case study. *Journal of Threatened Taxa*, 7(3), 6987–6995. <https://doi.org/10.11609/JoTT.o4133.6987-95>

Boyce, M. S. (1984). Restitution of r- and K-selection as a model of density-dependent natural selection. *Annual review of ecology and systematics*, 15, 427–47. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.15.1.427>

Canosa, L.F., & Bertucci, J.I. (2023). The effect of environmental stressors on growth in fish and its endocrine control. *Frontiers in endocrinology*, 14, 1109461. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1109461>

Castillo, G., Cruz-León, Z., Meiners-Mandujano, C.G., Hernández-Romero, Á.H., & Rodríguez-Orozco, N. (2014). Dinámica poblacional del pez invasor del género *Pterygoplichthys* en la cuenca de Chacalapa (cuenca de Coatzacoalcos) Veracruz, México. *Revista Biológico-Agropecuaria Tuxpan*, 2(1), 142–146. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v2i1.277>

Chávez, J.A., (2022). Evaluación de la dinámica poblacional del pez diablo invasor en el río Amacuzac y la presa Emiliano Zapata en Tilzapota Morelos. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana]. <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/38054>

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2012). Primer informe de validación en campo estero del Tamesí, Tamaulipas. Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102187/Esteros_del_Tamesi_.pdf

Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca [CONAPESCA]. (2008). Programa Rector Nacional de Pesca y Acuacultura. Región III: Golfo de México Norte. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/programa-rector-nacional-de-pesca-y-acuacultura-sustentables>

Cruz, Z. (2016). Ocurrencia y aspectos biológicos del pez invasor del género *Pterygoplichthys* en el sistema de lagunas interdunarias de la ciudad de Veracruz y cuenca baja del Jamapa-Cotaxtla [Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana]. <https://www.uv.mx/veracruz/mep/files/2012/10/Zeferino-Cruz-Leon.pdf>

Escalera-Vázquez, L.H., García-López, J.E., Sosa-López, A., Calderón-Cortés, N., & Hinojosa-Garro, D. (2019). Impact of the non-native locariid fish *Pterygoplichthys pardalis* in native fish community on a seasonal tropical floodplain in Mexico. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 22 (4), 462–472. <https://doi.org/10.1080/14634988.2019.1700343>

Elfidasari, D., Wijayanti, F., & Muthmainah, H.F. (2020a). Short communication: The effect of water quality on the population density of *Pterygoplichthys pardalis* in the Ciliwung river, Jakarta, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(9), 4100–4106. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210922>

Elfidasari, D., Wijayanti, F., & Muthmainah, H.F. (2020b). Habitat characteristic of Suckermouth armored catfish *Pterygoplichthys pardalis* in Ciliwung River, Indonesia. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 8(3), 41–147. <https://www.fisheriesjournal.com/>

Froese, R., & Binohlan, C. (2000). Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first maturity and length at maximum yield per recruit in fishes, with a simple method to evaluate length frequency data. *Journal of Fish Biology*, 56(4), 758–773. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.2000.tb00870.x>

Gayanilo, F.C., Sparre, J.P., & Pauly, D. (2005). FAO-ICLARM Stock Assessment Tools II (FiSAT II). Revised version. User's guide. Ed. FAO. <https://openknowledge.fao.org/home>

Gibbs, M.A., Kurth, B.N., & Bridges, C.D. (2013). Age and growth of the loricariid catfish *Pterygoplichthys disjunctivus* in Volusia Blue Spring, Florida. *Aquatic Invasions*, 8(2), 207–218. http://www.aquaticinvasions.net/2013/AI_2013_2_Gibbs_etal.pdf

Godwin, J. C., Steen, D. A., Werneke D., & Armbruster, J. W. (2016). Two significant records of exotic tropical freshwater fishes Southern Alabama. *Notes of the Southeastern Naturalist*, 15(4), 57–60. <http://dx.doi.org/10.1656/058.015.0401>

Golani, D., & Snovsky, G. (2013). Occurrence of suckermouth armored catfish (Siluriformes, Loricariidae, *Pterygoplichthys*) in inland waters of Israel. *BioInvasions Records*, 2(3), 253–256. https://www.reabic.net/journals/Bir/2013/3/BIR_2013_3_Golani_Snovsky.pdf

González-Cabellos, L. W., Eslava, N., Troccoli, L., & Guevara Merchán, F. J. (2016). Análisis de la pesquería artesanal de sardina (*Sardinella aurita*) en Venezuela: Analysis of the artisanal sardine (*Sardinella aurita*) fishery in Venezuela. *TECNOCIENCIA Chihuahua*, 10(2), 81–89. <https://doi.org/10.54167/tch.v10i2.575>.

González-Castillo, M., Ulloa-Torres, M.J., Vargas-Castilleja, R., Anguiano-Aguayo, E., & Olivares-Torres, A. (2024). El estado trófico del parque Laguna Champayán en Altamira, Tamaulipas: noviembre 2018. In Silva-Rodrigo, R. Lo Multidisciplinario Impulsando la Ciencia, la Tecnología y a la Innovación en México para el Mundo. (pp. 380–391). Ed. Academia Mexicana Multidisciplinaria. https://www.researchgate.net/publication/382851154_El_estado_trofico_del_parque_Laguna_Champayan_en_Alta_mira_Tamaulipas_Noviembre_2018

Gulland, J.A., 1971: Fish resources of the ocean. Ed. Fishing New Books.

Guzmán, A.F., & Barragán, J.S. (1997). Presencia de bagre sudamericano (Osteichthyes: Loricariidae) en el río Mezcalá, Guerrero, México. *Vertebrata Mexicana*, 3, 1–4.

Hill, J.E., & Sowards, J. (2015). Successful eradication of the non-native loricariid catfish *Pterygoplichthys disjunctivus* from the Rainbow River, Florida. *Management of Biological Invasions*, 6 (3), 311–317. <https://www.reabic.net/journals/mbi/2015/Issue3.aspx>

Hoyle, S.D., Campbell, R.A., Ducharme-Barth, N.D., Grüss, A., Moore, B.R., Thorson, J.T., Tremblay-Boyer, L., Winker, H., Zhou, S., & Maunder M.N. (2024). Catch per unit effort modelling for stock assessment: a summary of good practices. *Fisheries Research*, 269, 106860. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2023.106860>.

Hossain, M. Y., Vadas Jr, R.L., & Ruiz-Caruso R. (2018). Amazon sailfin catfish *Pterygoplichthys pardalis* (Loricariidae) in Bangladesh: a critical review of its invasive threat to native and endemic aquatic species. *Fishes*, 3(4), 14. <https://doi.org/10.3390/fishes3010014>

Hussan, A., Sundaray, J. K., Mandal, R. N., Hoque, F., Das, A., Chakrabarti, P. P., & Adhikari, S. (2019). Invasion of non-indigenous suckermouth armoured catfish of the genus *Pterygoplichthys* (Loricariidae) in the East Kolkata Wetlands: Stakeholders' perception, *Indian Journal of Fisheries*, 66, (2). <https://doi.org/10.21077/ijf.2019.66.2.86267-05>

Jisr, N., Younes, G., Sukhn, C., & El-Dakdouki, M. (2018). Length-weight relationships and relative condition factor of fish inhabiting the marine area of the Eastern Mediterranean city, Tripoli-Lebanon. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(4), 299–305. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.11.004>.

Jones, R., & Van Zalinge, N.P. (1981). Estimations of mortality rate and population size for shrimp in Kuwait waters. *Kuwait Bulletin of Marine Science*, 2, 273–288.

Kienzle, M.O. (2005). Estimation of the population parameters of the von Bertalanffy Growth Function for the main commercial species of the North Sea. Ed. FAO Fisheries Department.

King, M., 1995. Fisheries biology, assessment and management. Ed. Fishing News Books. <https://archive.org/details/fisheriesbiology0000king/page/n7/mode/2up>

King, M., 2007. Fisheries biology, assessment and management. Ed. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118688038>

Le Cren, E.D. (1951). The length-weight relationships and seasonal cycle in gonad weight and conditions in the perch *Perca fluviatilis*. *The Journal of Animal Ecology*, 20(2), 201–219. <https://doi.org/10.2307/1540>.

Lienart, G. D. H., Rodiles-Hernández, R., & Capps, K. A. (2013). Nesting burrows and behavior of nonnative catfishes (Siluriformes: Loricariidae) in the Usumacinta-Grijalva Watershed, Mexico. *Southwestern Naturalist*, 58 (2), 238–243. <https://doi.org/10.1894/0038-4909-58.2.238>.

Maurya, A. K., Prasad, L., & Kumar, R. (2018). Length-weight relationship and condition factor of *Pethia ticto* (Hamilton, 1822) from Gomti River in Sultanpur, Uttar Pradesh. *Journal of Applied and Natural Science*, 10 (1), 487–490. <https://doi.org/10.31018/jans.v10i1.1656>.

Mejía-Mojica, H., Contreras-MacBeath, T., & Ruiz-Campos, G. (2015). Relationship between environmental and geographic factors and the distribution of exotic fishes in tributaries of the balsas river basin, Mexico. *Environmental Biology of Fishes*, 98, 611–621. <https://doi.org/10.1007/s10641-014-0298-8>.

Mendoza-Alfaro, R.E., Contreras, S., Ramírez, C., Koleff, P., Álvarez, P., & Aguilar, V. (2007). Los peces diablo. *Biodiversitas*, 70, 1–5. <https://aqua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Los-peces-diablo.pdf>

Mendoza-Ilizaliturri, M.A., Aguirre-Guzmán, G., Rodríguez-Castro, J.H., Salinas Chavira J., & Olazarán-Santibáñez, F. E. (2022). Presencia de peces exóticos de la familia Loricariidae (peces diablo) en Tamaulipas, utilizando tecnología de la información y comunicación. *Ciencia y Mar*, 26 (78), 31–41. <https://doi.org/10.59673/cym.v26i78>

Montchowui, E., Chikou, A., Ovidio M., Laleye P., & Poncin, P. (2022). Population dynamics of *Labeo senegalensis* (Val, 1842) in the Oueme River, Benin. *Journal of Fisheries International*, 6(3), 52–58. <https://doi.org/10.36478/jfish.2011.52.58>

Munro, J., & Pauly, D. (1983). A simple method for comparing growth of fishes and invertebrates. *ICLARM Fishbyte*, 1(1), 5–6.

Nico, L. (2010). Nocturnal and diurnal activity of armored suckermouth catfish (Loricariidae: *Pterygoplichthys*) associated with wintering Florida manatees (*Trichechus manatus latirostris*). *Neotropical Ichthyology*, 8(4), 893–898. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252010005000014>.

Nico, L.G., Butt, P. L., Johnston, G.R., Jelks, H.L., Kail, M., & Walsh, S.J. (2012). Discovery of South American suckermouth armored catfishes (Loricariidae, *Pterygoplichthys* spp.) in the Santa Fe River drainage, Suwannee River basin, USA. *BioInvasions Records*, 1(3), 179–200. <https://doi.org/10.3391/bir.2012.1.3.04>

Orfinger, A.B., & Goodding, D.D. (2018). The Global Invasion of the suckermouth armored catfish genus *Pterygoplichthys* (Siluriformes: Loricariidae): annotated list of species, distributional summary, and assessment of impacts. *Zoological Studies*, 57(7), 1–16. <https://doi.org/10.6620/ZS.2018.57-07>.

Pauly, D. (1980). On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stock. *ICES journal of Marine Science*, 39(2), 175–192. <https://doi.org/10.1093/icesjms/39.2.175>

Pauly, D. (1983). Some simple methods for assessment of tropical fish stocks. Ed. FAO Fisheries. Tech. <https://www.fao.org/4/X6845E/X6845E00.htm>

Pauly, D., & Munro, J.L. (1984). Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. *Fishbyte*, 2(1), 1–21. https://worldfishcenter.org/Naga/na_1951.pdf

Pauly, D. (1984). Length-converted catch curves: A powerful tool for fisheries research in the tropics (III: conclusion). *ICLARM Fish byte*, 2(3), 9–10. <https://digitalarchive.worldfishcenter.org/server/api/core/bitstreams/2eb647fe-9415-4743-be85-1a32949cc751/content>

Pauly, D. (2024). Gill size and temperature as governing factors in fish growth: A generalization of von Bertalanffy's growth formula (2nd edition). Ed. Fisheries Centre Research Reports. <https://open.library.ubc.ca/soa/circ/collections/facultyresearchandpublications/52383/items/1.0444113>

Pianka, E. R. (1974). Evolutionary ecology. Ed. Harper & Row.

Raj, S., Kumar, A. B., Raghavan, R., & Dahanukar, N. (2019). Amazonian invaders in an Asian biodiversity hotspot: Understanding demographics for the management of the armoured sailfin catfish, *Pterygoplichthys pardalis* in Kerala, India. *Journal of Fish Biology*, 96(2), 549–553. <https://doi.org/10.1111/jfb.14243>.

Raj, S., Devi, S., Joy, A., & Kumar, A. B. (2021). On the reproductive biology of the invasive Armoured Sailfin Catfish *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855) (Siluriformes: Loricariidae) from the natural drainages in Thiruvananthapuram, India. *Journal of Threatened Taxa*, 13(9), 19263–19273. <https://doi.org/10.11609/jott.7164.13.9.19263-19273>

Ralston, S. (1990). Size selection of snappers (Lutjanidae) by hook and line gear. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47(4), 696–700. <https://doi.org/10.1139/f90-078>

Rueda-Jasso, R. A., Campos-Mendoza, A., Arreguín-Sánchez, F., Díaz-Pardo, E., & Martínez-Palacios, C. A. (2013). The biological and reproductive parameters of the invasive armored catfish *Pterygoplichthys disjunctivus* from Adolfo López Mateos, El Infierillo Reservoir, Michoacán, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, 318–326. <https://doi.org/10.7550/rmb.26091>.

Ruiz-Campos, G., Varela-Romero, A., Sánchez-González, S., Camarena-Rosales, F., Maeda-Martínez, A.M., González-Acosta, A.F., Andreu-Soler, A., Campos-González, E., & Delgadillo-Rodríguez, J. (2014). Peces invasores en el noroeste de México. In Mendoza, R., & Koleff, P. Especies acuáticas invasoras en México. (pp. 375–399). Ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.113212>

Samat, A., Yusoff, F.M., Arshad, A., Ghaffar, M. A., Nor, S.M., Magalhaes, A.L., & Das, S. K. (2016). Reproductive biology of the introduced sailfin catfish *Pterygoplichthys pardalis* (Pisces: Loricariidae) in peninsular Malaysia. *Indian Journal of Fisheries*, 63(1), 35–41. <https://doi.org/10.21077/ijf.2016.63.1.44937-05>

Samsun, O., Samsun, N., & Karamollaoğlu, A.C. (2004). Age, growth, and mortality rates of the European anchovy (*Engraulis encrasicolus* L. 1758) off the Turkish Black Sea coast. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 28(5), 901– 910. <https://journals.tubitak.gov.tr/veterinary/vol28/iss5/18>

Sumanasinghe, H.W., & Amarasinghe, U.S. (2013). Population dynamics of accidentally introduced Amazon sailfin catfish, *Pterygoplichthys pardalis* (Siluriformes, Loricariidae) in Pologolla reservoir, Sri Lanka. *Sri Lanka Journal of Aquatic Sciences*, 18, 37–45. <http://dx.doi.org/10.4038/slias.v18i0.7040>.

Suwarni, M. T. U., & Sri, R. M. (2021). Population dynamics of sailfin catfish (*Pterygoplichthys* sp. Hancock, 1828) in Sidenreng lake water, Sidenreng Rappang District, South Sulawesi. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 860(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/860/1/012104>.

Sousa, R.G.C., Oliveira, C.M., Sant'Anna, I.R.A., Marshall, B.G., & De Carvalho-Freitas, C.E. (2019). Growth parameters and yield per recruit analysis for the armoured catfish *Pterygoplichthys pardalis* sampled in the low reach of the Amazonas River. *Boletim do Instituto de Pesca*, 5(2), 1–8. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2019.45.2.396>.

Scherrer, B. (1984). Biostatistique. Ed. Gaëtan Morin éditeur.

Taylor, C.C. (1958). Cod growth and temperature. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 23, 366–370. <https://doi.org/10.1093/icesjms/23.3.366>.

Tamsil, A., Hasnidar, E., & Hasrun, A.M. A. (2024). Reproductive Biology Amazon Sailfin Catfish *Pterygoplichthys pardalis* from Tempe Lake, South Sulawesi, Indonesia. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 28(3), 571–584. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2024.358877>

Von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth. *Human Biology*, 10 (2), 181–213.

Vallejo, B., & Soriano, K. A. (2011). A matrix population model of the “janitor fish” *Pterygoplichthys* (Pisces: Loricariidae) in the Marikina River, Luzon Island, Philippines and the possibility of controlling this invasive species. *Philippine Science Letters*, 4(1), 12–17. <https://sciengqj.org/2011/2011n1.2.pdf>

Wakida-Kusunoki, A.T., Ruiz-Caruso, R., & Amador-del Ángel, E. (2007). Amazon sailfin catfish, *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855) (Loricariidae), another exotic species established in southeastern Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 52, 141–144. [https://doi.org/10.1894/0038-4909\(2007\)52\[141:ASCPPC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1894/0038-4909(2007)52[141:ASCPPC]2.0.CO;2)

Wakida-Kusunoki, A.T., & Amador-del Ángel, L.E. (2011). Aspectos biológicos del pleco invasor *Pterygoplichthys pardalis* (Teleostei: Loricariidae) en el río Palizada, Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(3), 870–878. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.3.739>.

Wei, H., Chaichana, R., Liu, F., Luo, D., Qian, Y., Gu, D., Mu, X., Xu, M., & Hu, Y. (2018). Nutrient enrichment alters life-history traits of non-native fish *Pterygoplichthys* spp. in sub-tropical rivers. *Aquatic Invasions*, 13(3), 421–432. <https://www.reabic.net/journals/ai/Default.aspx>

Wickramaratne, I. U., Wijenayakeb, H. K., & Jayakodyb, D. S. (2020). Population dynamics of vermiculated sailfin catfish, *Pterygoplichthys disjunctivus*, Weber 1991 (Family Loricariidae) in Victoria Reservoir, Sri Lanka. *Journal of Agriculture and Value Addition*, 3(1), 26–42. <https://doi.org/10.4038/java.v3i1.117>.

Wilson, K. L., Matthias, B. G., Barbour, A. B., Ahrens, R. N., Tuten, T., & Allen, M. S. (2015). Combining samples from multiple gears helps to avoid fishy growth curves. *North American Journal of Fisheries Management*, 35(6), 1121–1131. <https://doi.org/10.1080/02755947.2015.1079573>

Wu, L.W., Liu, C.C., & Lin, S.M. (2011). Identification of exotic sailfin catfish species (*Pterygoplichthys*, Loricariidae) in Taiwan based on morphology and mtDNA sequences. *Zoological Studies*, 50(2), 235–246. <https://zoolstud.sinica.edu.tw/issue.php?id=1076>