

Evaluación del stock fenotípico de *Potamorphina laticeps* (Characiformes: Curimatidae) en la cuenca del río Catatumbo, norte de Santander, Colombia

Leylis Yuliet Núñez-López^{1,2*} , Daniela Ahumada-C^{3,4} , Luz Guevara-Rincón^{1,5} , Adriana Quintana-Canabal⁶ , Cristian Guzmán-Soto⁷ , Carlos García-Bayona^{1,8} , Jordan Hernández-Martelo^{3,9,10,11*}  y Hugo A. Benítez^{9,11,12,13}

¹ Proyecto Acuicultura, Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña, Ocaña, Norte de Santander, Colombia; leylisyulietnl@ufps.edu.co.

² Programa de maestría en Ciencias Biológicas, Universidad Francisco de Paula Santander, San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.

³ Grupo de Investigaciones Biología Descriptiva y Aplicada, Programa de Biología, Universidad de Cartagena, Cartagena, Bolívar, Colombia. dahumada1@unicartagena.edu.co.

⁴ Programa de Biología Marina, Facultad de Ciencias Naturales y Biotecnología, Universidad del Sinú – Elías Bechara Zainúm, Cartagena de Indias, Bolívar, Colombia.

⁵ Programa de zootecnia, Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña, Ocaña, Norte de Santander, Colombia. lmguevarar@ufps.edu.co.

⁶ Grupo de Investigaciones Microbiología Clínica y Ambiental, Programa de Biología, Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias, Bolívar, Colombia; aquintana1@unicartagena.edu.co.

⁷ Grupo de Investigación en Biodiversidad y Ecología Aplicada. Docente Investigador, Director Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación ambiental de la Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad del Magdalena, Santa Marta. cguzman@unimagdalena.edu.co.

⁸ Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña, Ocaña, Norte de Santander, Colombia. cagarciab@ufps.edu.co.

⁹ Millennium Institute Biodiversity of Antarctic and Subantarctic Ecosystems (BASE), Santiago, Chile. Jordan.hernandez.01@alumnos.ucm.cl.

¹⁰ Programa de Doctorado en Salud Ecosistémica, Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Maule, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile.

¹¹ Cape Horn International Center (CHIC), Centro Universitario Cabo de Hornos, Puerto Williams, Chile.

¹² Instituto One Health, Facultad de Ciencias de La Vida, Universidad Andrés Bello, República 440, Santiago, Chile.

¹³ Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Maule, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile.

* Autor responsable de la correspondencia: leylisyulietnl@ufps.edu.co; Jordan.hernandez.01@alumnos.edu.cl

Recibido: 17/12/24

Aceptado: 06/06/25

Disponible online: 11/08/25

RESUMEN

Evaluación del stock fenotípico de *Potamorphina laticeps* (Characiformes: Curimatidae) en la cuenca del río Catatumbo, norte de Santander, Colombia.

El desarrollo de estudios ecomorfológicos en peces permite reconocer y describir las relaciones presentes en los sistemas acuáticos, de manera que es posible comprender más claramente la interacción entre las características ambientales, morfológicas y ecológicas. *Potamorphina laticeps* (Characiformes: Curimatidae), es una especie endémica de la macrocuenca del

Lago de Maracaibo que incluye el sistema fluvial del oriente colombiano, entre los que se encuentra la cuenca del Catatumbo; *P. laticeps* es una especie manejada comercialmente y para la subsistencia de las comunidades aledañas a la cuenca, principalmente en la región sur de Norte de Santander. Se examina la variabilidad morfológica de *P. laticeps* en dos ríos tributarios de la cuenca del Catatumbo, mediante morfometría geométrica (MG) y se identifican las principales asociaciones entre las características ambientales de los sitios de estudio y la morfología de sus poblaciones. Los resultados muestran una forma corporal relativamente conservada en la especie, lo que sugiere una alta estabilidad y eficiencia en el stock fenotípico de las poblaciones evaluadas. Se observaron ligeras variaciones entre sexos en ambas localidades, las cuales podrían estar asociadas a procesos reproductivos, estados de madurez gonadal o a la influencia de factores ambientales. Finalmente se reconoce la importancia de estudios que permitan comprender las características poblacionales y con ello la formulación de una línea base para el desarrollo de programas de conservación y manejo sostenible de la ictiofauna asociada a la cuenca.

PALABRAS CLAVE: ecomorfología, Manamana, morfometría geométrica, parámetros ambientales.

ABSTRACT

Evaluation of the phenotypic stock of Potamorhina laticeps in the Catatumbo River Basin, Colombia.

The development of ecomorphological studies in fish allows for the recognition and description of the relationships present in aquatic systems, making it possible to better understand the interaction between environmental, morphological, and ecological characteristics. Potamorhina laticeps (Characiformes: Curimatidae) is an endemic species of the macro-basin of Lake Maracaibo, which includes the river system of eastern Colombia, among which is the Catatumbo Basin. P. laticeps is a commercially managed species that supports the subsistence of communities surrounding the basin, primarily in the southern region of Norte de Santander. The morphological variability of P. laticeps is examined in two tributary rivers of the Catatumbo Basin through geometric morphometrics (GM), and the main associations between the environmental characteristics of the study sites and the morphology of their populations are identified. The results show a relatively conserved body shape in the species, suggesting high stability and efficiency in the phenotypic stock of the evaluated populations. Slight variations between sexes were observed in both localities, which could be associated with reproductive processes, gonadal maturity stages, or the influence of environmental factors. Finally, the importance of studies that allow for a better understanding of population characteristics is recognized, which will contribute to the formulation of a baseline for the development of conservation programs and sustainable management of the ichthyofauna associated with the basin.

KEY WORDS: ecomorphology, Manamana, geometric morphometrics, environmental parameters.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

INTRODUCCIÓN

Los estudios basados en la descripción y análisis de patrones ecomorfológicos son cada vez más atendidos, ya que proporcionan una visión más completa y funcional de los sistemas biológicos (Ah-nich et al., 2024; Betz, 2006; Conde-Saldaña et al., 2017; Oliveira et al., 2010; Pessanha et al., 2015); estos permiten identificar relaciones concretas entre la anatomía y/o adaptaciones evolutivas de las especies con respecto a procesos ambientales, así como, también determinar roles e interacciones ecológicas y funcionales que desempeñan los organismos dentro de los ecosistemas (Asaduzzaman et al., 2024; Bellwood et al., 2002; Bower & Piller, 2015; Hernandez et al., 2022a; McGill et al., 2006; Motta et al., 1995; Oliveira et al., 2023).

En este sentido, la Morfometría Geométrica (MG) se destaca como una herramienta clave para cuantificar y analizar la variación morfológica entre organismos (Aguirre & Prado, 2018; Benítez et al., 2014); Utilizando puntos de referencia (landmarks) y un soporte estadístico multivariado robusto, la MG permite establecer conexiones cuantitativas entre la forma, características ecológicas y estrategias biológicas, de manera que facilita el reconocimiento de patrones y/o tendencias entre poblaciones o comunidades (Benítez & Püschel, 2014; Klingenberg & McIntyre, 1998; Polly, 2018).

La forma y estructura del cuerpo de los peces están estrechamente relacionadas con su ecología y comportamiento, por lo que son considerados un modelo eficaz para identificar y comprender

Stock fenotípico de *Potamorhina laticeps* en la cuenca del río Catatumbo

la relación existente entre variabilidad morfológica y las características ecológicas de sistemas acuáticos (Bower & Piller, 2015; Córdova-Tapia & Mercado-Silva, 2019; Kuczynski et al., 2024; Motta et al., 1995; Pessanha et al., 2015). Estos estudios son fundamentales y constituyen la base para generar estrategias de conservación y/o gestión pesquera en los sistemas evaluados.

En los últimos años, estudios basados en el análisis de la forma corporal en comunidades y/o poblaciones de peces mediante MG, han reportado variaciones significativas asociadas a estructuras funcionales relacionadas de manera directa a características representativas del hábitat y la heterogeneidad ambiental (Haas et al., 2015; Hetzel & Forsythe, 2023; Hincapié-Cruz & Márquez, 2021). Estos estudios reconocen la influencia de los factores ambientales sobre la capacidad de desplazamiento y natación en peces, destacando la temperatura del agua como el factor más relevante, ya que regula los procesos fisiológicos principalmente en organismos poiquiloterms como los peces (Ruiz-Legazpi et al., 2018); así mismo, se ha identificado la relación entre la variación de la forma corporal como un indicador confiable de las características ecológicas y el uso del recurso (Bower & Piller, 2015; Oliveira et al., 2023), además de su vínculo con los patrones de deposición de grasa y características de procesos reproductivos (Reiss & Grothues, 2015).

Potamorhina laticeps (Valenciennes 1849), conocida comúnmente como Manamana, es una especie endémica de la macrocuenca del Lago de Maracaibo y la única especie del género *Potamorhina* (Fam. Curimatidae) registrada para este sistema fluvial (Dorini et al., 2020); dentro de esta cuenca, la subcuenca del Catatumbo se destaca como uno de los afluentes con mayor aporte a la diversidad de especies (DoNascimento et al., 2017; Vari, 1984). *P. laticeps* es considerada como vulnerable en Venezuela, bajo el criterio A2cde de la UICN (Barrios et al., 2015, IUCN, 2012), debido a la pérdida del hábitat, la contaminación y los altos niveles de extracción por parte de la pesquería artesanal (Barrios et al., 2015); sin embargo, en Colombia no existen registros oficiales sobre su nivel de amenaza, a pesar del crítico estado de conservación de la cuenca y los altos niveles de extracción por parte de la pesquería

artesanal para uso comercial y subsistencia de las comunidades aledañas, principalmente en la región sur de Norte de Santander (CORPONOR, 2016; IUCN, 2012; Ortega-Lara et al., 2012; Vari, 1984).

P. laticeps presenta una longitud total máxima de 25 cm, cuerpo moderadamente alargado y sin evidencias de dimorfismos sexual (Alves et al., 2016; Barrios et al., 2015); se caracteriza por realizar migraciones anuales (subiendas), asociado al proceso reproductivo, utilizando ambientes lenticos de ríos y caños para desovar (Dorini et al., 2020; Galvis et al., 1997). Sin embargo, Barrios et al. (2015) reportan la presencia de esta especie de manera permanente en las diferentes vertientes de la subcuenca del río Catatumbo. Actualmente, no se cuenta con información disponible sobre su rango de migración o desplazamiento en la cuenca. *P. laticeps* es una especie detritívora, con comportamiento pelágico, es fuente de alimento de algunas especies de aves y peces de mayor tamaño, por lo que se establece como un eslabón importante en los procesos metabólicos del sistema (Amadeu Santana et al., 2015; León, 1997).

El conocimiento actual sobre las poblaciones explotadas de *P. laticeps*, especialmente en el contexto de las pesquerías artesanales, es limitado. En este sentido, generar y optimizar estrategias de manejo pesquero con un enfoque en la conservación resulta crucial. Comprender la estructura poblacional y el stock fenotípico representa un enfoque fundamental para lograr una gestión sostenible del recurso (Hernandez et al., 2023).

En este marco, el presente estudio busca evaluar el stock fenotípico de las poblaciones de *P. laticeps* en dos ríos tributarios de la cuenca del Catatumbo, en Norte de Santander (Colombia), utilizando herramientas de morfometría geométrica. Asimismo, se analizan las principales asociaciones entre las características ambientales de los sitios de estudio y la morfología de sus poblaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de muestreo

El estudio se desarrolló en los ríos Grita y Zulía, localizados en los municipios Puerto Santander y

El Zulia respectivamente, afluentes de la cuenca del Catatumbo en el departamento Norte de Santander - Colombia (Fig. 1) (Barrios *et al.*, 2015). Con una variación altitudinal entre 53 a 70 m.s.n.m. y una distancia aproximada de 60 km² entre localidades, estas se destacan como las zonas con mayor actividad pesquera en el departamento (CORPONOR, 2010a, b, 2016; Lasso-Alcalá *et al.*, 2012; Lasso *et al.*, 2004; Ortega-Lara *et al.*, 2012)

Captura de ejemplares

Las faenas de pesca se realizaron durante muestreos bimensuales para los meses de agosto, octubre y diciembre de 2023 y febrero y abril de 2024. Se seleccionaron diez estaciones de muestreo en cada municipio, teniendo en cuenta criterios como, la posibilidad de acceso, mejor estado

de conservación posible de la cuenca y suficiente caudal para la implementación de los artes de pesca; dichas estaciones fueron georreferenciadas con GPSMAP 64sx Garmin y se registraron parámetros fisicoquímicos como Temperatura (°C), pH, Conductividad (μS/cm), Salinidad, OD (ppm) y Tds (ppm) como variables ambientales para cada una de las estaciones de muestreo mediante un equipo multiparámetro HANNA HI 98194.

La captura de los ejemplares se realizó mediante pesca artesanal con atarraya, posteriormente conservados y transportados hasta las instalaciones de la Universidad Francisco de Paula Santander, seccional Ocaña, donde se realizó la identificación con base en las descripciones de Dorini *et al.* (2020); Galvis *et al.* (1997); Vari (1984).

El sexo de cada ejemplar fue determinado mediante observación directa de las gónadas, si-

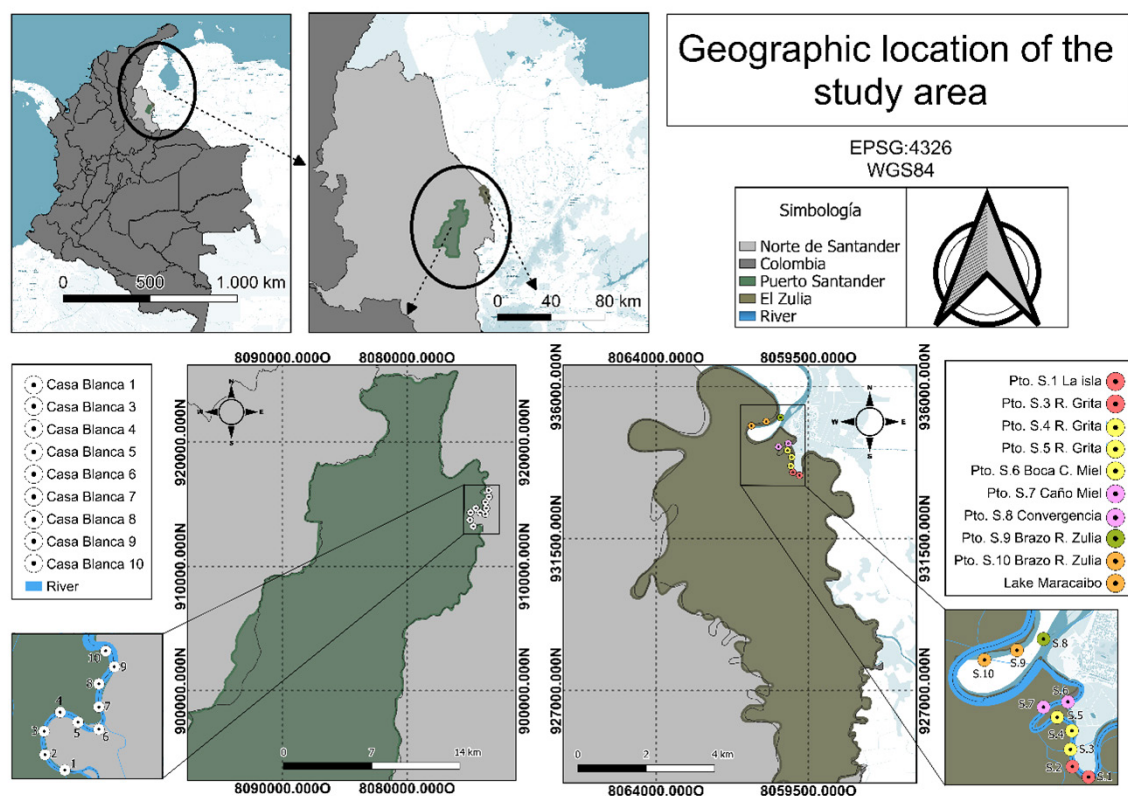


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo en los ríos Grita (municipio Puerto Santander) y Zulia (municipio de El Zulia), departamento Norte de Santander – Colombia. *Location of the sampling sites in the Grita River (Puerto Santander municipality) and the Zulia River (El Zulia municipality), Norte de Santander Department – Colombia.*

Stock fenotípico de *Potamorhina laticeps* en la cuenca del río Catatumbo

guiendo la escala propuesta por Vazzoler (1997). Dada la escasa información disponible sobre la biología reproductiva y las tallas promedio de madurez del Manamana, y considerando que la única referencia disponible (Libro Rojo de los Peces de Venezuela) reporta una talla máxima de 25 cm, se estableció como criterio para este estudio que los individuos con tallas superiores a 22 cm fueran considerados como adultos, lo cual representa un umbral razonable para inferir la madurez sexual en ausencia de datos específicos (ver material suplementario, disponible en <https://www.limnetica.com/es/limnetica>).

Posteriormente, se analizaron morfométricamente 134 ejemplares adultos de *P. laticeps*, distribuidos de la siguiente manera: en el municipio de El Zulia, 42 hembras y 16 machos; y en el municipio de Puerto Santander, 50 hembras y 26 machos.

Morfometría geométrica

El registro fotográfico de cada individuo se rea-

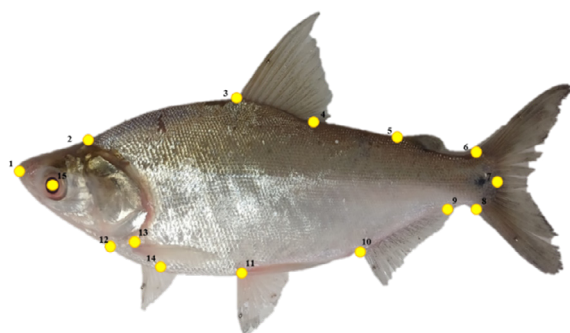


Figura 2. Configuración de los Landmarks utilizados para el análisis de la forma de *Potamorhina laticeps*. (1) Punta de la Boca ; (2) Base superior de la cabeza; (3) Inserción anterior de la aleta dorsal; (4) Inserción posterior de la aleta dorsal; (5) Inserción anterior de la aleta adiposa; (6) Base superior de la aleta caudal; (7) Pedúnculo caudal; (8) Base inferior de la aleta caudal; (9) Inserción posterior de la aleta anal; (10) Inserción anterior de la aleta anal; (11) Inserción anterior de la aleta ventral; (12) Base inferior de la cabeza; (13) Base superior de la aleta pectoral; (14) Base inferior de la aleta pectoral; (15) Pupila. *Configuration of the landmarks used for the shape analysis of Potamorhina laticeps. The landmarks are as follows: (1) tip of the mouth, (2) upper base of the head, (3) anterior insertion of the dorsal fin, (4) posterior insertion of the dorsal fin, (5) anterior insertion of the adipose fin, (6) upper base of the caudal fin, (7) caudal peduncle, (8) lower base of the caudal fin, (9) posterior insertion of the anal fin, (10) anterior insertion of the anal fin, (11) anterior insertion of the pelvic fin, (12) lower base of the head, (13) upper base of the pectoral fin, (14) lower base of the pectoral fin, and (15) pupil.*

lizó en posición anteroposterior con las aletas extendidas y fijadas alfileres, sobre una superficie plana con una escala milimétrica; se empleó una cámara Canon EOS RP con lente 24-105mm f/4-7.1 IS STM con una resolución de 27, 1 megapíxeles. Para el análisis se seleccionaron 15 puntos anatómicos de referencia siguiendo el protocolo de (Hernandez et al., 2022b) (Fig. 2), y se utilizó el software TpsDig2 para digitalizar y obtener las coordenadas en un plano bidimensional (Rohlf & Slice, 1990).

Análisis estadísticos

Mediante un Análisis Generalizado de Procrustes, se procesaron las coordenadas cartesianas derivadas de las posiciones de los hitos (Rohlf & Slice, 1990). El error de medición se calculó digitalizando dos veces los puntos de referencia en una muestra de individuos, seguido de un ANOVA de Procrustes, donde se compararon los valores de los cuadrados medios de los individuos (Arnqvist & Martensson., 1998; Fruciano, 2016). Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) utilizando la matriz de covarianza, generando un diagrama de dispersión, donde se mostraron gráficamente las dos primeras dimensiones de la forma. Posteriormente, para observar los cambios de forma promedio por localidad, se utilizó un PCA de la matriz de covarianza y se realizó el clasificador combinado promedio de localidad y se superpusieron las formas del cuerpo (Jolliffe, 2002). Para determinar diferencias significativas, se realizó un test de permutaciones usando las distancias morfométricas.

Variables ambientales

Se estimó el promedio y desviación estándar de cada variable por localidad y posteriormente se determinó el Factor de Inflación de la Varianza (VIF en inglés) de cada una y se seleccionaron aquellas con $VIF < 10$ para excluir variables con multicolinealidad y realizar un PCA con el fin de explorar la variación ambiental entre las diferentes localidades; finalmente, se empleó un PERMANOVA para determinar diferencias significativas usando las variables ambientales con $VIF < 5$.

RESULTADOS

El error de medición mediante ANOVA de Procrustes, indicó que el valor de los cuadrados medios de los individuos fue mayor al del error (MS Individuos 0.0000610456 > MS Error 0.0000062763 (Tabla 1). El PCA explicó en los tres primeros componentes el 45.52% de la variación en la forma entre las poblaciones de *P. laticeps* (PC1: 19.23%, PC2: 14.89% y PC3: 11.40%) (Fig. 3).

Mediante la superposición de la forma promedio (Fig. 4), usando el clasificador combinado sexo-localidad, se evidencian ligeras variaciones en la forma corporal de *P. laticeps* de manera que se reflejan disparidades en los puntos anatómicos 1, 3 y 4, correspondientes a la punta de la boca, la inserción anterior de la aleta dorsal y la inserción posterior de la aleta dorsal, así como un ligero desplazamiento en la zona ventral, relacionado con los puntos de referencia 10, 11, 13, 14 y 15, correspondientes a la inserción anterior de la aleta

anal, inserción anterior de la aleta ventral, base inferior de la cabeza, base superior de la aleta pectoral, base inferior de la aleta pectoral y pupila respectivamente. Dichas disparidades reflejan un patrón asociado a una forma corporal más compacta en machos en contraste con una forma corporal más ancha y/o robusta para hembras de ambas localidades.

El análisis de variables canónicas (CVA), mostró disparidades sutiles en la forma de *P. laticeps* entre las localidades. Los dos primeros componentes explicaron el 78.7% de la variación, de modo que el primer componente principal (PC1) explicó el 52.8% y el segundo componente principal (PC2) el 25.9%, con una ligera dispersión de los grupos por sexos y localidades y un marcado patrón de solapamiento evidente entre ellos (Fig. 5) (Tabla 2).

Variación ambiental

El PCA explicó en su primer eje principal el 53.2

Tabla 1. Error de medición del ANOVA de Procrustes para la forma del centroide de *Potamorphina laticeps*. SS (Suma de Cuadrados), MS (Cuadrado medio), df (grados de libertad), F (Distribución de Fisher). *Procrustes ANOVA measurement error for the centroid shape of Potamorphina laticeps. SS (Sum of Squares), MS (Mean Square), df (degrees of freedom), F (F-ratio from Fisher's distribution).*

Centroid size							
Effect	SS	MS	df	F	P (param.)		
Individual	1070.895164	6.324713	161	32.56	<.0001		
Error 1	32.256852	0.220837	152				
Shape, Procrustes ANOVA							
Effect	SS	M	df	F	P (param.)	Pillai tr.	P (param.)
Individual	0.24456296	6.10456E-05	4056	10.53	<.0001	21.03	<.0001
Error 1	0.02304694	6.2763E-06	3869				

Tabla 2. Prueba de permutación basada en distancias de Mahalanobis entre poblaciones y sexos de *Potamorphina laticeps*. (H/PS) y (M/PS): Hembras y machos de Puerto Santander y (H/ZL) y (M/ZL): Hembras y machos de El Zulia respectivamente. *Permutation test based on Mahalanobis distances between populations and sexes of Potamorphina laticeps. (F/PS) and (M/PS): Females and males from Puerto Santander; (F/ZL) and (M/ZL): Females and males from El Zulia, respectively.*

	H/PS	M/PS	H/ZL
M/PS	1.784		
<i>p</i> -valor	<0.0001		
H/ZL	1.639	2.036	
<i>p</i> -valor	<0.0001	<0.0001	
M/ZL	2.638	2.845	2.059
<i>p</i> -valor	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Stock fenotípico de *Potamorphina laticeps* en la cuenca del río Catatumbo

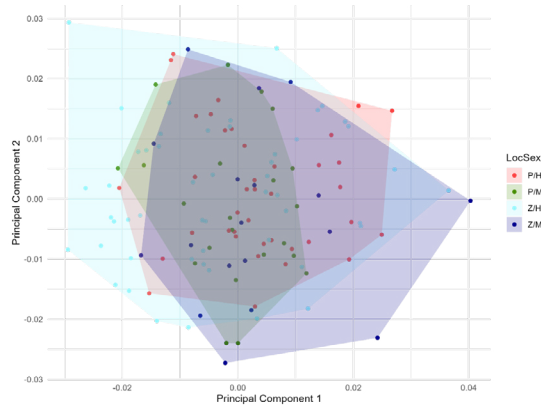


Figura 3. Análisis de Componentes principales (PCA) de la forma corporal de *Potamorphina laticeps* en los ríos Grita y El Zulia, subcuenca del Catatumbo. *Principal Component Analysis (PCA) of body shape in Potamorphina laticeps from the Grita and El Zulia rivers, Catatumbo sub-basin.*

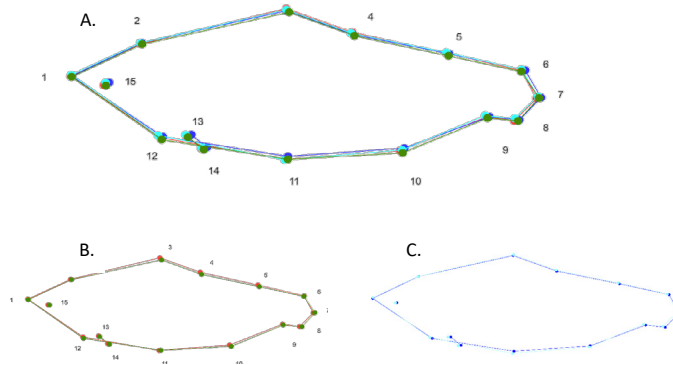


Figura 4. Superposición de la variación en la forma corporal de *Potamorphina laticeps*. A) Comparación general de la forma corporal según localidad y sexo: rojo (P/H), verde (P/M), azul claro (Z/H) y azul oscuro (Z/M). B) Superposición de la forma corporal en Puerto Santander. C) Superposición de la forma corporal en El Zulia. *Overlay of body shape variation in Potamorphina laticeps. A) Overall comparison of body shape by locality and sex: red (P/H), green (P/M), light blue (Z/H), and dark blue (Z/M). B) Body shape overlay in Puerto Santander. C) Body shape overlay in El Zulia.*

% y en el segundo eje principal un 25.3%; lo cual sugiere una separación entre sitios de acuerdo con el primer componente principal, donde las estaciones del municipio Puerto Santander muestran tendencias a presentar mayores valores de temperatura, salinidad y pH, en contraste con lo encontrado en el municipio El Zulia cuyos valores evidencian una disminución de estas variables en la cuenca. Sin embargo, el municipio de El Zulia registra mayores niveles de oxígeno disuelto (Fig. 6). El PERMANOVA realizado detectó diferencias multivariadas estadísticamente significativas ($p < 0.01$) entre las estaciones de estos dos municipios teniendo en cuenta estas cuatro variables

Se encontraron diferencias significativas que reflejan la influencia de variables ambientales sobre la variación de la forma en las poblaciones

de *P. laticeps* (Fig. 7). El PC1 sugiere una mayor influencia de variables como la Temperatura, pH y Salinidad sobre la variación de la forma, en las poblaciones de El Zulia; mientras que el PC2 sugiere el efecto contrastante que ejerce el oxígeno disuelto. El PC3 por su parte, refleja una mayor influencia del pH y un efecto moderado y contrastante de variables como Temperatura, Salinidad y Oxígeno Disuelto.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio sugieren que *P. laticeps* presenta una forma corporal conservada entre las poblaciones evaluadas, con ligeras diferencias entre machos y hembras. Estas diferencias se manifiestan principalmente en las regiones

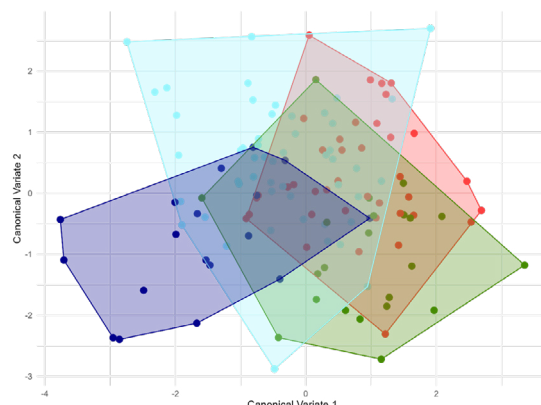


Figura 5. Análisis de variables canónicas de la forma corporal en dos poblaciones de *Potamorhina laticeps* utilizando el sexo y localidad como clasificador. Los colores representan las localidades y sexo correspondiente: Rojo (P/H): Hembras – Puerto Santander; verde (P/M): Machos – Puerto Santander; Azul (Z/H): Hembras – El Zulia; morado (Z/M): Machos – El Zulia. Canonical variate analysis of body shape in two populations of *Potamorhina laticeps*, using sex and locality as classifiers. Colors represent the corresponding localities and sexes: Red (P/H): Females – Puerto Santander; Green (P/M): Males – Puerto Santander; Blue (Z/H): Females – El Zulia; Purple (Z/M): Males – El Zulia.

dorsal y ventral, donde los machos exhiben una forma corporal más compacta, mientras que las hembras presentan un cuerpo ligeramente más ancho y/o robusto. Esta variación fue corroborada mediante la superposición de los wireframes y el análisis de la variación en los puntos 10, 11, 13, 14 y 15, lo que evidencia una leve diferenciación morfológica que sugiere la presencia de un dimorfismo sexual sutil en la forma. No obstante, esta diferenciación es poco perceptible a simple vista y solo puede detectarse mediante herramientas avanzadas como la morfometría geométrica, lo que coincide con las descripciones previas de la especie, que no reportan dimorfismo sexual evidente (Barrios *et al.*, 2015; Vari, 1984). De igual manera, el análisis CVA, al maximizar las diferencias entre grupos, sugiere una segregación sutil, aunque algo más marcada, al clasificar los individuos por sexo y localidad, observándose un solapamiento considerable entre los grupos. En este contexto, se detectaron diferencias significativas respaldadas por pruebas de permutación utilizando las distancias de Mahalanobis, lo que indica la existencia de variaciones morfológicas entre los individuos evaluados. No obstante, el solapamiento entre las formas corporales de machos y hembras en ambas poblaciones sugiere que dichas diferencias no son lo suficientemente pronunciadas como para establecer una separación clara o confirmar la presencia de un

dimorfismo sexual evidente. Las sutiles variaciones en la forma corporal de la especie modelo podrían estar indicando una interacción entre las poblaciones y la presencia de flujo génico entre individuos de ambas localidades. Es importante destacar que esta especie es reconocida como migratoria dentro de la macrocuenca en la que es endémica (DoNascimento *et al.*, 2017; Dorini *et al.*, 2020; Vari, 1984). En este sentido, los resultados sugieren una alta estabilidad y eficiencia del stock fenotípico de la especie en las poblaciones evaluadas, lo cual se corresponde con la presencia de modificaciones morfológicas mínimas entre poblaciones migratorias y/o geográficamente cercanas, como ha sido reportado por Asaduzzaman *et al.* (2024) y Cheng *et al.* (2005)

Además, estos hallazgos contrastan con los reportes de otros autores, quienes han documentado variaciones morfológicas notables en diferentes especies de peces, asociadas a interacciones ecológicas y/o ambientales, procesos locomotores, migratorios o a fenómenos de plasticidad fenotípica (Ahnich *et al.*, 2024; Azad *et al.*, 2020; Belarmino *et al.*, 2024; Bower & Piller, 2015; Hernandez *et al.*, 2023; Hernandez *et al.*, 2022a; Hincapié-Cruz & Márquez, 2021; Jiménez-Prado & Aguirre, 2021)

Por otra parte, Reiss & Grothues (2015) reportan variaciones en la forma corporal de peces asociadas a la región dorso-ventral, señalando que

Stock fenotípico de *Potamorhina laticeps* en la cuenca del río Catatumbo

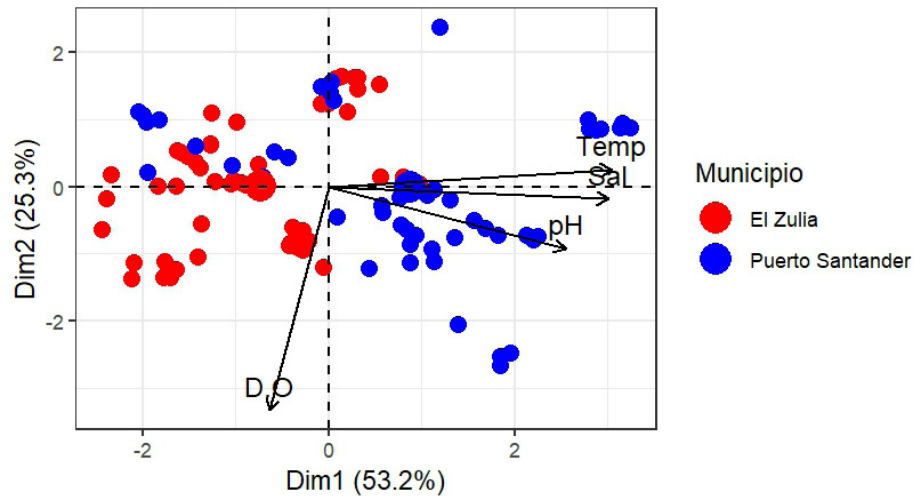


Figura 6. Análisis de componentes principales de las variables ambientales medidas en campo en los ríos Grita y El Zulia, subcuenca del Catatumbo. *Principal Component Analysis (PCA) of environmental variables measured in the field in the Grita and El Zulia rivers, Catatumbo sub-basin.*

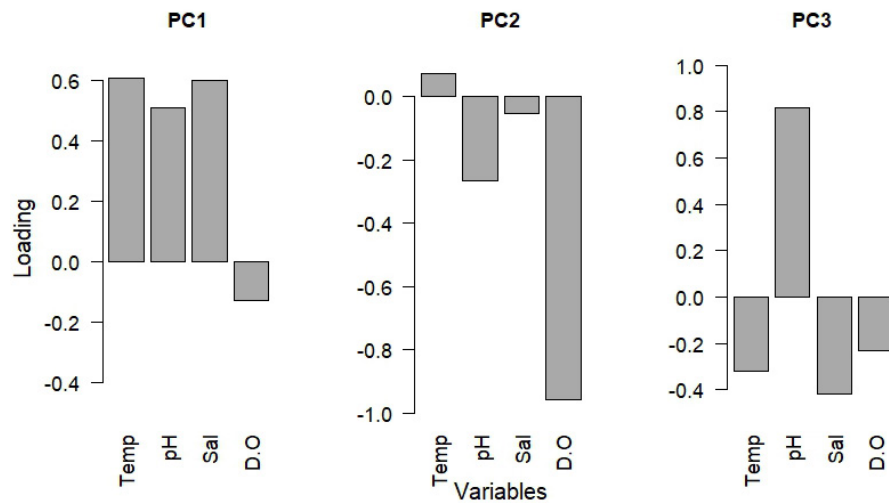


Figura 7. Análisis de componentes principales entre la forma de *Potamorhina laticeps* y variables ambientales. *Principal Component Analysis (PCA) of the relationship between the shape of *Potamorhina laticeps* and environmental variables.*

estos cambios podrían atribuirse principalmente a procesos reproductivos o a la madurez gonadal, lo cual conlleva modificaciones en el tamaño y la forma de la región abdominal. En la misma línea, Asaduzzaman et al. (2024) describen una relación directa entre el área abdominal y la fecundidad en hembras de *Polynemus paradiseus* (Linnaeus, 1758), destacando que aquellas con una región abdominal más desarrollada y robusta presentan

una mayor fecundidad y mayor capacidad para la producción y el desarrollo de huevos. De igual manera, Reiss & Grothues (2015) también reportan para *Cichla temensis* (Humboldt, 1821) variaciones en las regiones dorsal y ventral, asociadas a la acumulación de tejido adiposo como reserva energética, influida por el estado reproductivo, el periodo de desove y la falta de ingesta de alimento. Por su parte, Arrington et al. (2006) señalan

que la dinámica de almacenamiento de lípidos está estrechamente relacionada con el comportamiento migratorio.

Los trabajos antes mencionados coinciden en gran medida con los resultados obtenidos en el presente estudio, de modo que la leve diferenciación en la forma corporal asociadas a la región dorso-ventral identificada en las poblaciones de *P. laticeps* para las localidades de El Zulia y Puerto Santander, Norte de Santander, podría estar siendo modulada por el proceso reproductivo de la especie, teniendo en cuenta que las hembras requieren mayor acumulación de reservas energética y registran un mayor aumento en la región ventral asociado a la maduración gonadal (Asaduzzaman *et al.*, 2024; Hernandez *et al.*, 2023).

Por otro lado, la presencia de diferencias significativas en variables ambientales como temperatura, pH, salinidad y conductividad entre las localidades estudiadas sugiere que cada una está sometida a presiones distintas, posiblemente asociadas a factores antropogénicos. En este contexto, los resultados evidencian que los parámetros fisicoquímicos influyen en la variación de la forma corporal observada en las poblaciones de *P. laticeps*, lo cual podría explicar las sutiles diferencias registradas entre los individuos de ambas localidades. Esta influencia ha sido abordada en estudios previos; por ejemplo, (Hernandez *et al.*, 2022a) reportaron que cambios en la temperatura, el oxígeno disuelto y el pH afectan la morfología del ciclido *Caquetaia kraussii*, condicionando características como la compacidad y robustez corporal. De manera similar, Burleson *et al.* (2001) señalaron que la oxigenación puede modular la forma y el tamaño corporal en peces, mientras que Reddon & Hurd (2013) demostraron que el pH no solo influye en la determinación sexual, sino también en la forma corporal de los machos de *Pelvicachromis pulcher*. En la misma línea, O'Dea *et al.* (2019) reportaron que la temperatura puede afectar significativamente el fenotipo y la variabilidad morfológica en distintas especies acuáticas. Finalmente, Es importante resaltar que este estudio es la primera aproximación en la evaluación del Stock fenotípico de *P. laticeps*, una especie de importancia comer-

cial local y con potencial piscícola. Por tal motivo, destacamos la necesidad de más estudios sobre la dinámica migratoria y reproductiva de *P. laticeps* en la cuenca, que servirán como base para futuros trabajos con poblacionales y para la implementación de normas o planes de gestión que permitan el uso sostenible y contribuya la conservación de la especie en la cuenca.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que *P. laticeps* mantiene una forma corporal conservada entre las poblaciones evaluadas, con ligeras diferencias asociadas al sexo, principalmente en las regiones dorsal y ventral. Estas variaciones, apenas perceptibles visualmente, sugieren un dimorfismo sexual sutil posiblemente vinculado al estado reproductivo, especialmente en hembras.

El solapamiento morfológico entre localidades y sexos, junto con el comportamiento migratorio de la especie, sugiere la existencia de flujo génico y estabilidad fenotípica entre poblaciones. Adicionalmente, las diferencias en variables fisicoquímicas del agua entre localidades podrían estar modulando parte de la variación observada, lo que resalta la influencia combinada de factores reproductivos y ambientales en la morfología de esta especie.

Cabe destacar que la morfometría geométrica es una herramienta poderosa para detectar cambios sutiles en la forma biológica de las estructuras analizadas. No obstante, también presenta ciertas limitaciones. Aunque históricamente se ha utilizado para diferenciar poblaciones, esta técnica no permite definir una población de manera concluyente, sino que actúa como un proxy que debe ser complementado y confirmado mediante análisis de genética poblacional. Asimismo, permite cuantificar la covariación entre la forma y variables fisicoquímicas, proporcionando indicios sobre cuáles de estas podrían tener mayor influencia en la morfología. Sin embargo, no responde de forma directa a esta relación causal. Además, la escasa información disponible sobre la biología de la especie modelo —particularmente en aspectos reproductivos y ontogenéticos— limita la interpretación y alcance de los resultados obtenidos.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

Los ejemplares de *P. laticeps* evaluados fueron colectados con las autorizaciones de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), resolución 0046 del 2015

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen de manera especial al fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías del departamento de Norte de Santander por la financiación del proyecto “Aprovechamiento de la biodiversidad con potencial Acuícola para el desarrollo de la Acuicultura continental en el departamento Norte de Santander” con BPIN 201800010011, a través del Convenio Especial de Cooperación 00127 de 2021 suscrito entre la Gobernación de Norte de Santander, la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña y la Universidad de Cartagena.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

L.Y.N.L.: Conceptualización, curación de datos, investigación, metodología, análisis formal, supervisión, validación, redacción, revisión y edición; D.A.C.: Curación de datos, metodología, análisis estadísticos, software MorphoJ; L.G.R.: Investigación; A.Q.C.: Investigación, visualización, validación; C.G.S.: Curación de datos, metodología, análisis estadísticos, software estadístico; R.C.G.B.: Conceptualización, investigación, metodología, análisis formal, validación, edición; J.H.M.: Análisis estadísticos, software estadístico R., análisis formal, validación, Revisión y edición; H.B.: Validación, Revisión y edición.

REFERENCIAS

- Aguirre, W. E., & Prado, P. J. (2018). *Guía práctica de morfometría geométrica: Aplicaciones en la ictiología*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas. (PUCESE). Quito, Ecuador. 104 pp.
- Ahnich, A., Aitboumalassa, F., Khalki, H., Hanfour, S., & Naimi, M. (2024). Morphometric and ecological assessment of freshwater fish across an altitudinal gradient within the Zat watershed (Morocco). *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 9, 2065–2075. DOI: 10.1007/s41207-024-00654-5.
- Alves, V. M., Moura, M. O., & de Carvalho, C. J. B. (2016). Wing shape is influenced by environmental variability in *Polietina orbitalis* (Stein) (Diptera: Muscidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 60, 150–156. DOI: 10.1016/j.rbe.2016.02.003.
- Amadeu Santana, A. R., Werth, M., & Benedito-Cecilio, E. (2015). Use of food resources by detritivorous fish in floodplains: A synthesis. *Acta Biológica Colombiana*, 20, 5–14. DOI: 10.15446/abc.v20n1.42260
- Arrington, D., Davidson, B., Winemiller, K., & Layman, C. (2006). Influence of life history and seasonal hydrology on lipid storage in three neotropical fish species. *Journal of Fish Biology*, 68, 1347–1361. DOI: 10.1111/j.0022-1112.2006.00996.x.
- Asaduzzaman, M., Iqbal, M. Z., Chamily, F. A., Akter, S., Khan, M. S. R., Wong, L. L., Rahman, S. M., & Rahman, M. M. (2024). Body shape divergence of paradise thread fish (*Polynemus paradiseus*) collected from different coastal habitats of southern Bangladesh: A multivariate approach for population discrimination. *Aquaculture and Fisheries*. DOI: 10.1016/j.aaf.2024.05.001.
- Arnqvist, G. & T. Martensson. (1998). Measurement error in geometric morphometrics: Empirical strategies to assess and reduce its impact on measures of shape. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 44, 73–96.
- Azad, K. N., Sarower-E-Mahfuj, M., Iqbal, T., Azad, K. N., & Shafaq, M. A. I. (2020). Differentiation of intraspecific phenotypic plasticity of elongate glassy perchlet, Chanda nama: Insights into landmark-based truss morphometric and meristic variations. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 7, 585. DOI: 10.5455/javar.2020.g456.
- Barrios, M., Rodríguez-Olarte, D., & García, E. (2015). Manamana, *Potamorhina laticeps*. En J.P. Rodríguez, A. García-Rawlins y F. Rojas-Suárez (eds.) *Libro Rojo de la Fauna Ve-*

- nezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela., Recuperado de: www.especiesamenazadas.org/taxon/chordata/actinopterygii/characiformes/curimatidae/potamorhina/manamana. Miércoles, 04/06/2025.
- Belarmino, E., Perazzo, G. X., Possamai, B., Vieira, J. P., & García, A. M. (2024). El Niño effects and biological parameter comparisons of an estuarine resident fish occurring in the sea. *Estuaries and Coasts*, 47, 460–472. DOI: 10.1007/s12237-023-01294-8.
- Bellwood, D. R., Wainwright, P. C., Fulton, C. J., & Hoey, A. (2002). Assembly rules and functional groups at global biogeographical scales. *Functional Ecology*, 16, 557–562. DOI: 10.1046/j.1365-2435.2002.00655.x.
- Benítez, H. A., Pizarro-Araya, J., Bravi, R., Sanzana, M.-J., & Alfaro, F. M. (2014). Morphological variation on isolated populations of *Praocis (Praocis) spinolai*. *Journal of Insect Science*, 14, 11. DOI: 10.1093/jis/14.1.11.
- Benítez, H. A., & Püschel, T. A. (2014). Modelando la varianza de la forma: Morfometría geométrica aplicaciones en biología evolutiva. *International Journal of Morphology*, 32, 998–1008. DOI: 10.4067/S0717-95022014000300041.
- Betz, O. (2006). Ecomorphology: Integration of form, function, and ecology in the analysis of morphological structures. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie*, 15, 409–416.
- Bower, L. M., & Piller, K. R. (2015). Shaping up: A geometric morphometric approach to assemblage ecomorphology. *Journal of Fish Biology*, 87, 691–714. DOI: 10.1111/jfb.12752.
- Burleson, M. L., Wilhelm, D. R., & Smatresk, N. J. (2001). The influence of fish size on the avoidance of hypoxia and oxygen selection by largemouth bass. *Journal of Fish Biology*, 59, 1336–1349. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2001.tb00196.x.
- Cheng, Q., Lu, D., & Ma, L. (2005). Morphological differences between close populations discernible by multivariate analysis: A case study of genus *Coilia* (Teleostei: Clupeiformes). *Aquatic Living Resources*, 18, 187–192. DOI: 10.1051/alr:2005020.
- Conde-Saldaña, C. C., Albornoz-Garzón, J. G., López-Delgado, E. O., & Villa-Navarro, F. A. (2017). Ecomorphological relationships of fish assemblages in a trans-Andean drainage, Upper Magdalena River Basin, Colombia. *Neotropical Ichthyology*, 15, e170037. DOI: 10.1590/1982-0224-20170037.
- Córdova-Tapia, F., & Mercado-Silva, N. (2019). Diversidad funcional de peces en ambientes antropizados. En *Antropización: primer análisis integral*. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México (pp. 109–123). DOI: 10.22201/ib.9786073020305e.2019.c6.
- CORPONOR, C. A. R. de l. F. O. (2016). PLANEAR, plan estratégico ambiental regional 2016–2035 (p. 134). Chromeextension://efaid-nbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.corponor.gov.co/images/file/Resumen%20Ejecutivo%20POMCH%20Zulia.pdf.
- CORPONOR, C. A. R. de l. F. O. (2010a). Estudio de consultoría de las obras de protección sobre la margen izquierda aguas abajo del río Grita, para impedir la erosión en la zona urbana del municipio de Puerto Santander, Departamento Norte de Santander (p. 201).
- CORPONOR, C. A. R. de l. F. O. (2010b). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Zulia: Resumen ejecutivo (p. 108). 4-POMCA-RIO_ZULIA.pdf (14.78Mb).
- DoNascimento, C., Herrera-Collazos, E. E., Herrera-R, G. A., Ortega-Lara, A., Villa-Navarro, F. A., Oviedo, J. S. U., & Maldonado-Ocampo, J. A. (2017). Checklist of the freshwater fishes of Colombia: A Darwin Core alternative to the updating problem. *ZooKeys*, 25, 25–138. DOI: 10.3897/zookeys.708.13897.
- Dorini, B. F., Ribeiro-Silva, L. R., Foresti, F., Oliveira, C., & Melo, B. F. (2020). Molecular phylogenetics provides a novel hypothesis of chromosome evolution in Neotropical fishes of the genus *Potamorhina* (Teleostei, Curimatidae). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 58, 1067–1075. DOI: 10.1111/jzs.12358.
- Fruciano, C. (2016). Measurement error in geometric morphometrics. *Development Genes and Evolution*, 226, 139–158. DOI: 10.1007/s00427-016-0537-4.
- Galvis, G., Mojica, J. I., & Camargo, M. (1997).

Stock fenotípico de *Potamorhina laticeps* en la cuenca del río Catatumbo

- Peces del Catatumbo*. Asociación Cravo Norte. Santafé de Bogotá, D.C.
- Haas, T. C., Heins, D. C., & Blum, M. J. (2015). Predictors of body shape among populations of a stream fish (*Cyprinella venusta*, Cypriniformes: Cyprinidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 115, 842–858. DOI: 10.1111/bij.12539.
- Hernandez, J., Villalobos-Leiva, A., Bermúdez, A., Ahumada-Cabarcas, D., Suazo, M. J., & Benítez, H. A. (2022a). Ecomorphology and morphological disparity of *Caquetaia kraussii* (Perciformes: Cichlidae) in Colombia. *Animals*, 12, 3438. DOI: 10.3390/ani12233438.
- Hernandez, J., Villalobos-Leiva, A., Bermúdez, A., Ahumada-Cabarcas, D., Suazo, M. J., Correa, M., & Benítez, H. A. (2022b). An overview of interlocation sexual shape dimorphism in *Caquetaia kraussii* (Perciformes: Cichlidae): A geometric morphometric approach. *Fishes*, 7, 146. DOI: 10.3390/fishes7040146.
- Hernandez, J., Correa, M., Hernández-P, R., Bermúdez, A., Quintana-Canabal, A., Laroze, D., & Benítez, H. A. (2023). Phenotypic stock evaluation of *Plagioscion magdalenae* (Steindachner, 1878): A species in the dike channel in Colombia. *Fishes*, 8(4), 173. DOI: 10.3390/fishes8040173.
- Hetzel, C., & Forsythe, P. (2023). Phenotypic plasticity of a generalist fish species resident to lotic environments: Insights from the Great Lakes region. *Ecology and Evolution*, 13, e10715. DOI: 10.1002/ece3.10715.
- Hincapié-Cruz, J.-P., & Márquez, E.-J. (2021). Variación fenotípica de los peces *Curimata mivartii* (Characiformes: Curimatidae) y *Pimelodus grosskopfii* (Siluriformes: Pimelodidae) en hábitats lóticos y lénticos. *Revista de Biología Tropical*, 69, 434–444. DOI: 10.15517/rbt.v69i2.41708.
- Jiménez-Prado, P., & Aguirre, W. (2021). Variación corporal paralela en peces de dos ríos costeros del Chocó ecuatoriano. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 45–59. DOI: 10.15517/rbt.v69i1.41814.
- Jolliffe, I. T. (2002). *Principal component analysis for special types of data*. Springer. New York.
- Klingenberg, C. P., & McIntyre, G. S. (1998). Geometric morphometrics of developmental instability: Analyzing patterns of fluctuating asymmetry with Procrustes methods. *Evolution*, 52, 1363–1375. DOI: 10.1111/j.1558-5646.1998.tb02018.x.
- Kuczynski, L., Bastidas Urrutia, A. M., & Hillebrand, H. (2024). Functional diversity loss and taxonomic delays of European freshwater fish and North American breeding birds. *Functional Ecology*, 38, 1726–1738. DOI: 10.1111/1365-2435.14599.
- Lasso-Alcalá, O., González-Fernández, M., de Pasquier, G. A., & Lasso, C. (2012). Nuevos registros de peces estuarinos para la subcuenca del río Catatumbo y cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela, con notas sobre sus implicaciones ecológicas. *Anartia*. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/anartia/article/view/40425>.
- Lasso, C., Lew, D., Taphorn, D., DoNascimento, C., Lasso-Alcalá, O., Provenzano, F., & Machado-Allison, A. (2004). *Biodiversidad ictiológica continental de Venezuela*. Parte I: Lista de especies y distribución por cuencas. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 159-160: 105-195.
- León, J. (1997). Reproducción inducida y desarrollo embrionario y larval de la manamana, *Potamorhina laticeps* (Characiformes: Curimatidae). *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 31, 57–70. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/332>.
- McGill, B. J., Enquist, B. J., Weiher, E., & Westoby, M. (2006). Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology & Evolution*, 21, 178–185. DOI: 10.1016/j.tree.2006.02.002.
- Motta, P. J., Clifton, K. B., Hernandez, P., & Eggold, B. T. (1995). Ecomorphological correlates in ten species of subtropical seagrass fishes: Diet and microhabitat utilization. *Environmental Biology of Fishes*, 44, 37–60. DOI: 10.1007/BF00005906.
- O’Dea, R. E., Lagisz, M., Hendry, A. P., & Nakagawa, S. (2019). Developmental temperature affects phenotypic means and variability: A meta-analysis of fish data. *Fish and Fisheries*, 20, 1005–1022. DOI: 10.1111/faf.12394.

- Oliveira, A. E. P. d., Montag, L. F. d. A., Rocha, R. M. d., López-Rodríguez, N. C., & Prudente, B. d. S. (2023). Environmental predictors of the life history of the flag tetra *Hyphessobrycon heterorhabdus* (Characiformes: Characidae) in streams of the Eastern Amazon. *Neotropical Ichthyology*, 21, e220094. DOI: 10.1590/1982-0224-2022-0094.
- Oliveira, E. F., Goulart, E., Breda, L., Minte-Vera, C. V., Paiva, L. R. d. S., & Vismara, M. R. (2010). Ecomorphological patterns of the fish assemblage in a tropical floodplain: Effects of trophic, spatial and phylogenetic structures. *Neotropical Ichthyology*, 8, 569–586. DOI: 10.1590/S1679-62252010000300002 .
- Ortega-Lara, A., Lasso-Alcalá, O. M., Lasso, C. A., de Pasquier, G. A., & Bogotá-Gregory, J. D. (2012). Peces de la cuenca del río Catatumbo, cuenca del Lago de Maracaibo, Colombia y Venezuela. *Biota Colombiana*, 13(1), 71–98. DOI: 10.21068/bc.v13i1.258.
- Pessanha, A. L. M., Araújo, F. G., Oliveira, R. E. M. C. C., Silva, A. F. d., & Sales, N. S. (2015). Ecomorphology and resource use by dominant species of tropical estuarine juvenile fishes. *Neotropical Ichthyology*, 13, 401–412. DOI: 10.1590/1982-0224-20140080.
- Polly, P. D. (2018). Geometric morphometrics. En *The Encyclopedia of Archaeological Sciences*. John Wiley & Sons. (pp. 1–5). USA. DOI: 10.1002/9781119188230.saseas0258.
- Reddon, A. R., & Hurd, P. L. (2013). Water pH during early development influences sex ratio and male morph in a West African cichlid fish, *Pelvicachromis pulcher*. *Zoology*, 116, 139–143. DOI: 10.1016/j.zool.2012.11.001.
- Reiss, P., & Grothues, T. M. (2015). Geometric morphometric analysis of cyclical body shape changes in color pattern variants of *Cichla temensis* Humboldt, 1821 (Perciformes: Cichlidae) demonstrates reproductive energy allocation. *Neotropical Ichthyology*, 13, 103–112. DOI: 10.1590/1982-0224-20140030.
- Rohlf, F. J., & Slice, D. (1990). Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic Zoology*, 39, 40–59. DOI: 10.2307/2992207.
- Ruiz-Legazpi, J., Sanz-Ronda, F. J., Bravo-Córdoba, F. J., Fuentes-Pérez, J. F., & Castro-Santos, T. (2018). Influencia de factores ambientales y biométricos en la capacidad de nado del Barbo ibérico (*Luciobarbus bocagei*, Steindachner, 1864), un ciprinido potamódromo endémico de la Península Ibérica. *Limnetica*, 37, 251–265. DOI: 10.23818/limn.37.21.
- UICN. (2012). *Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1*. Segunda edición. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: UICN. vi + 34pp. Originalmente publicado como IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition. (Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, 2012).
- Vari, R. P. (1984). Systematics of the neotropical characiform genus *Potamorhina* (Pisces, Characiformes). *Smithsonian contributions to zoology*; no. 400 DOI: 10.5479/si.00810282.400.
- Vazzoler, A. E. A. (1997). *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: Teoria e prática*. EDUEM. DOI: 10.1590/1678-4766e2021012.