

Artículo Original

Uso de la Morfometría Geométrica para Establecer Contrastes Biológicos y Ambientales en
Poblaciones de Peces del Río Teaone

Use of Geometric Morphometry to Establish Biological and Environmental Contrasts in Fish
Populations of Teaone River

Rocío Escanta- Molina, Pedro Jiménez- Prado

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas.

La correspondencia de este artículo debe ser enviada Rocío Escanta Molina.

Email: rocio.escanta@gmail.com

Fecha de recepción: 6 de diciembre de 2018.

Fecha de aceptación: 4 de marzo de 2019.

¿Cómo citar este artículo? (Normas APA): Escanta-Molina, R., & Jiménez-Prado, P. (2019).

Uso de la morfometría geométrica para establecer contrastes biológicos y ambientales en poblaciones de peces del río Teaone. *Revista Científica Hallazgos21*, 4(1), 55- 69. Recuperado de <http://revistas.pucese.edu.ec/hallazgos21>

Revista Científica Hallazgos21. ISSN 2528-7915. Indexada en REDIB y LATINDEX. Periodicidad: cuatrimestral (marzo, julio, noviembre).

Director: José Suárez Lezcano. Teléfono: (593)(6) 2721459, extensión: 163.

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas. Calle Espejo, Subida a Santa Cruz, Esmeraldas. CP 08 01 00 65. Email: revista.hallazgos21@pucese.edu.ec. <http://revistas.pucese.edu.ec/hallazgos21/>

Resumen

A diferencia de la morfometría tradicional, la morfometría geométrica está permitiendo establecer relaciones directas entre la forma pura de los organismos y su relación con el ambiente donde habitan, de tal manera que cambios en la forma del cuerpo podrían ser utilizados como indicadores de cambios en las condiciones ambientales. Desde abril hasta septiembre del año 2017, se realizaron muestreos en tres tramos del río Teaone, en Esmeraldas: zona alta a nivel de la comunidad de Morachigüe, zona intermedia en la comunidad de Tabiazo y zona baja a nivel del barrio San Rafael, cantón Esmeraldas. Se colectó un total de 851 peces de cuatro especies *Andinoacara blombergi*, *Brycon atrocaudatus*, *Brycon dentex* y *Rhoadsia minor*. Mediante el uso de la morfometría geométrica, se pudieron evidenciar diferencias significativas; es decir, cambios en la forma del cuerpo, principalmente a nivel del hocico, de la región cefálica y en la altura del cuerpo, según se presentaba un descenso desde la zona alta del río, donde existen mejores condiciones ambientales hasta la zona baja donde se presenta mayor presión ambiental. Estos cambios están correlacionados principalmente por un aumento de la temperatura, la turbidez, la dureza y menor oxígeno disuelto. Los cambios en la forma del cuerpo se presentaron de manera similar en las cuatro especies estudiadas. Este trabajo muestra el efecto que las condiciones actuales del río Teaone tienen sobre las formas de vida, específicamente en los peces.

Palabras clave: Río Teaone; Morfometría geométrica; especies de peces *Andinoacara blombergi*, *Brycon*

atrocaudatus, *Brycon dentex*, *Rhoadsia minor*.

Abstract

Unlike traditional morphometry, geometric morphometry is allowing direct relationships to be established between the pure form of organisms and their relationship with the environment in which they live, in such a way that changes in body shape could be used as indicators of changes in environmental conditions. From April to September 2017, three sections of the Teaone River, in Esmeraldas, were sampled: the upper zone at the level of the community of Morachigüe, the intermediate zone in the community of Tabiazo, and the lower zone at the level of the neighborhood of San Rafael, Esmeraldas canton. A total of 851 fish of four species were collected: *Andinoacara blombergi*, *Brycon atrocaudatus*, *Brycon dentex* and *Rhoadsia minor*. Through the use of geometric morphometry, significant differences could be observed, that is, changes in the shape of the body, mainly at the level of the snout, the cephalic region and in the height of the body; as there was a descent from the upper zone of the river, where there are better environmental conditions to the lower zone where there is greater environmental pressure; these changes are correlated mainly by an increase in temperature, turbidity, hardness and less dissolved oxygen. Changes in body shape were similar in the four species studied. This work shows the effect that the current conditions of the Teaone River have on life forms, specifically on fish.

Keywords: Teaone River; Geometric morphometry; *Andinoacara blombergi*,

Brycon atrocaudatus, *Brycon dentex*,
and *Rhoadsia minor* fish species.

Uso de la Morfometría Geométrica para Establecer Contrastes Biológicos y Ambientales en Poblaciones de Peces del Río Teaone

Los ríos son sistemas complejos que presentan una gran variación en los procesos geológicos, geomorfológicos, biológicos y ecológicos. A lo largo de su longitud los ríos van reflejando diferencias en sus características físicas, así como en su composición biológica (FAO, 2017). Por lo cual se debe entender que los sistemas fluviales son sensibles a transformaciones en su caudal y dinamismo, expresado a nivel espacial y temporal (Andreoli et al., 2012). Actualmente los sistemas fluviales han experimentado enormes modificaciones tanto en el tramo alto, medio y bajo, debido a las actividades cotidianas que el hombre realiza modificando los sistemas morfológico y ecológico, y por lo que diversos organismos acuáticos, como los peces, que son capaces de actuar como bioindicadores de calidad del agua, debido a que son susceptibles a los cambios generados en el ambiente circundante (García, González & Habit, 2012; Ortiz, 2016). Bajo esta visión, algunos organismos pueden evidenciar información de alteraciones ambientales del hábitat fluvial, expresando modificaciones en su composición o estructura poblacional (Herbas, Rivero, & Gonzales, 2006).

Dos estudios previos realizado en el río Teaone, aplicando el método de caracterización por diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, han demostrado que este río tiene perturbaciones por diversas actividades que la población de la ribera realiza en ella, como el lavado de ropa, el vertido de aguas residuales, el vertido de

desechos sólidos, la agricultura y ganadería. Sin embargo, se desconoce el efecto que el ambiente acuático, con presencia de perturbaciones ejerce sobre los organismos, expresado en la forma del cuerpo (fenotipo) como una flexibilidad genética (genotipo) en los individuos. Es por ello, que este estudio morfométrico, realizado en poblaciones de peces del río Teaone, compara diferentes zonas del cauce con menor o mayor grado de afectación ambiental con los posibles cambios morfológicos que expresan los peces. Se maneja la hipótesis que las poblaciones podrían expresar diferencias morfológicas, según provengan de zonas altas del río (menor presión y presencia humana) o de partes bajas del río (mayor presión y presencia humana).

Método

Este trabajo se llevó a cabo en tres tramos del río Teaone; zona alta (sector Morachigue), zona media (sector Tabiazo) y zona baja (sector San Rafael) (Ver Figura 1); para lo cual se tomaron muestras mensuales durante seis meses, desde el mes de abril hasta el mes de septiembre 2017.

En cada uno de los tres tramos del río se levantó registro de las características ambientales del río (profundidad, sustrato, etc.), se tomó registros de pH, temperatura del agua ($^{\circ}$ C), conductividad eléctrica (μ S/cm), sólidos totales en suspensión (ppm), oxígeno disuelto (% y ppm) y sólidos totales disueltos (ppm) con un Sonda multiparamétrica HANNA 9829. De igual manera, se tomaron muestras de agua en botellas opacas de plástico de 1 litro que agua se analizaron para turbidez (FAU) y sólidos en suspensión (mg/L) con un colorímetro Hach DR900; para fosfatos (ppm), nitratos (ppm), hierro (ppm) y cromo (ppm) con micro-colorímetros HANNA (HI713, HI707, HI721, HI723 respectivamente); y finalmente para la

dureza (mg/L) y alcalinidad (mg/L) se empleó un kit Salifert KH/Alk Profi Test.

La imagen de los especímenes fue tomada con una cámara digital Nikon D5100, con lente de 55mm. Para estandarizar cada

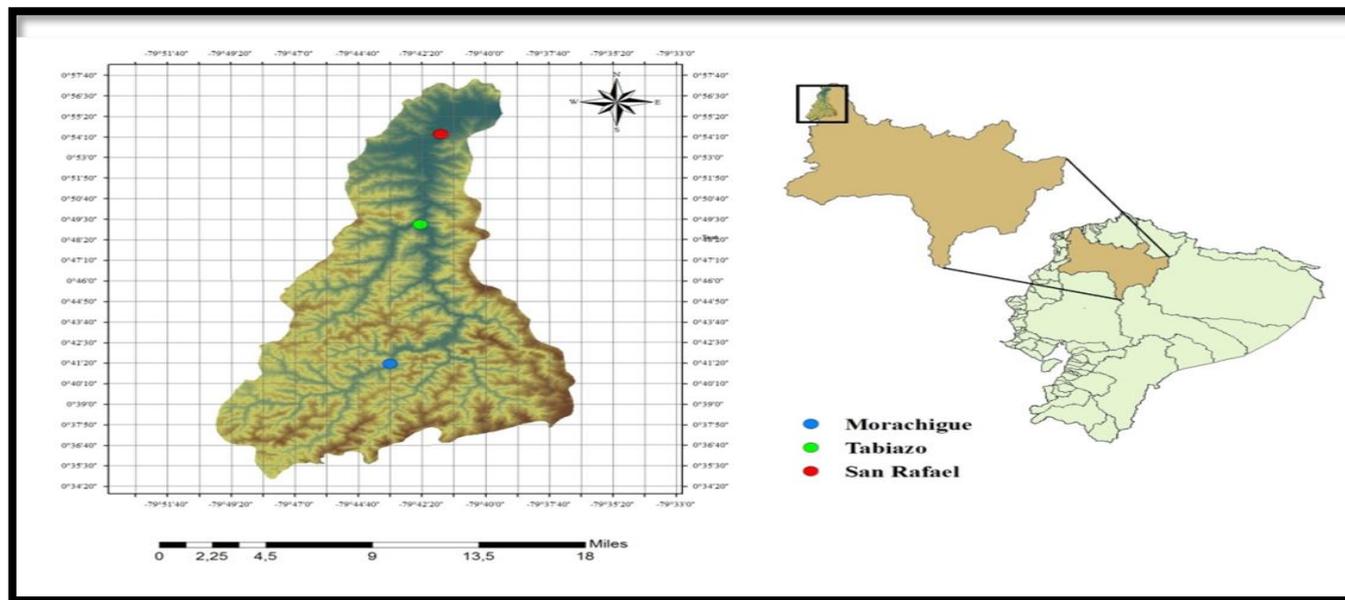


Figura 1. Áreas de muestreo: P1._ Zona alta, Parroquia Coronel Carlos Concha-Recinto Morachigüe (punto color azul); P2._ Zona media, Parroquia Tabiazo (punto color verde), P3._ Zona baja, Sector San Rafael (punto color rojo).

Fuente: Elaborado por los autores, mediante la aplicación del programa ArcGIS.

La pesca estuvo enfocada únicamente en cuatro especies *Andinoacara blombergi*, *Brycon atrocaudatus*, *Brycon dentex* y *Rhoadsia minor*. Con el uso de una atarraya de 2,5 m de diámetro con un ojo de malla de 1,0 cm, se buscó la captura de al menos 15 individuos de cada especie/por tramo/por salida. Ninguna otra especie que fue pescada fue conservada, todo el resto fue devuelto al río. Los especímenes conservados fueron fijados en formol a 10% y transcurridas las 48 horas se preservaron en alcohol al 70%. A cada espécimen se le midió la longitud estándar con un calibrador (vernier) digital Hardened y se tomó su peso total con una balanza digital Jewelry Scale FC-50; finalmente fueron etiquetado con códigos que individualizaban a cada muestra según zona y colecta. Los peces preservados fueron ingresados en la colección del Museo Faunístico y Herbario PUCESE.

fotografía, *Andinoacara blombergi* y *Rhoadsia minor* fueron tomadas a una altura de 45 cm, mientras que para *Brycon atrocaudatus* y *Brycon dentex*, que tenía tallas superiores, fueron tomadas a 60 cm. Las imágenes obtenidas fueron guardadas con su respectivo código en carpetas digitales, teniendo en cuenta el lugar de procedencia, la especie y la fecha de captura.

Luego, cada imagen fue agrupada con el programa tpsUtil, el cual creó un archivo conjunto que es la base para ser utilizadas en el programa tpsDdig2, donde se despliega cada fotografía y se procede a ubicar y digitalizar los diferentes hitos siguiendo las recomendaciones de Aguirre et al., 2016; y Malato et al., 2017, para las especies de Charasidos (*B. atrocaudatus*, *dentex* y *R. minor*) que presentan aleta adiposa, con un total de 15 hitos (Figura 2a)

MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA EN CONTRASTES BIOLÓGICOS Y AMBIENTALES EN PECES

y para *Andinoacara blombergi*, que no tiene aleta adiposa, con 14 hitos (Figura 2b).

especies. Estos datos se presentan en gráficos que visualizan las diferencias en la

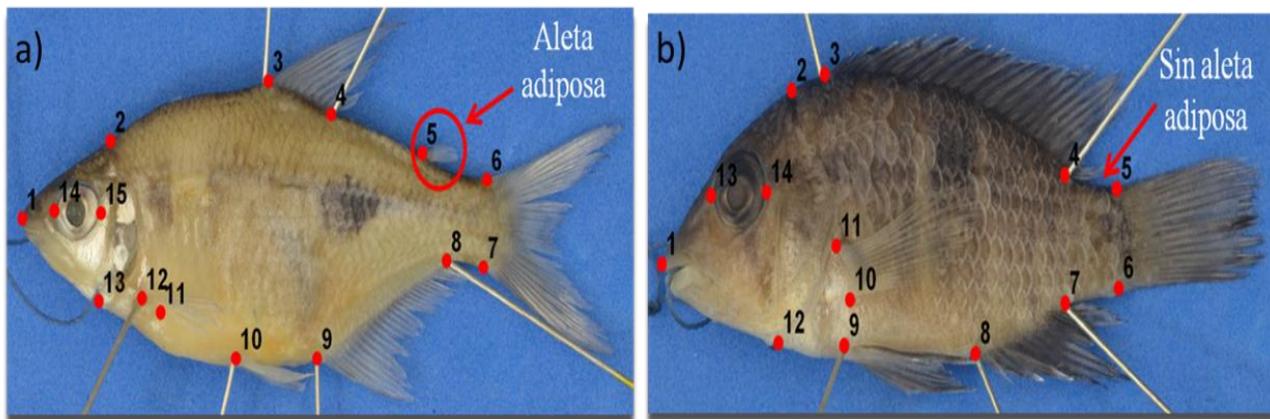


Figura 2. a) Hitos seleccionados para characidos (en foto *Rhoadsia minor*). b) Hitos seleccionados para *Andinoacara blombergi*.

Fuente: Elaborado por los autores, mediante la aplicación del programa tpsDig2.

Las coordenadas que se obtuvieron del programa tpsDdig2 se guardaron automáticamente como archivo de tipo “.tps”, los cuales fueron abiertos en el programa TPSrelw32, en donde se realizó la transformación procruster (eliminación de las diferencias en direccionalidad, tamaño y rotación que pudieron existir entre las diferentes imágenes, obteniendo coordenadas ajustadas); inmediatamente se obtuvo el “consensus”, que es el promedio de los puntos de referencia de las diferentes configuraciones (Torcida & Perez, 2012; Zelditch, Swiderski & Sheets, 2012) y permite tener una idea general de la forma pura de la especie o en este caso de la forma pura en cada una de las diferentes zonas del río.

Se utilizó el programa MorphoJ, que permite Análisis de Variante Canónica (AVC), a partir de los archivos “.tps” creados anteriormente y donde se agruparon todas las variables de la forma, apoyadas por una regresión entre el conceso y su forma pura para evitar las posibles distorsiones entre la forma y el crecimiento asimétrico de las

forma corporal entre los diferentes especímenes, con relación a las tres zonas de muestreo. Su interpretación, en relación a la forma que adoptan los organismos es analizada mediante la técnica de “placa delgada”, conocido en inglés como Thin-plate spline (Thompson, 1917), donde se crean configuraciones de consenso para cada una de las formas entre las zonas de estudio.

Posteriormente se realizaron análisis de comparación múltiple, con la finalidad de evaluar las diferencias que puedan existir entre las cuatro especies con respecto a cada área estudio, utilizando los datos de cada una de las coordenadas geométricas de la forma, agrupados según sean zona de muestreo en parte alta, media o baja. Para establecer la relación entre los parámetros ambientales con los biológicos se hizo un análisis multivariante de componentes principales (ACP) para entender la relación del estado de condición (K), la talla (cm), el peso (peso) y el logaritmo del tamaño centroide (medida del tamaño usado en Morfometría Geométrica, es la raíz cuadrada de la suma de las distancias cuadradas entre

cada hito y el centroide de la configuración de los hitos), ordenado según las diferentes zonas del río; además de un análisis de correspondencia canónica para relacionar los principales parámetros físico-químicos con la abundancia de especies en las diferentes zonas del río.

Resultados y Discusión

calidad de agua en el Libro VI, Anexo 1, Tabla 3 y 12, de acuerdo al TULSMA (2003).

En total se analizaron 851 individuos de las cuatro especies mencionadas (*A. blombergi* = 178; *B. atrocaudatus* = 228; *B. dentex* = 97; *R. minor* = 348). La relación existente entre los parámetros ambientales y la abundancia relativa de las diferentes especies, a lo largo de las tres zonas de análisis (Figura 4), evidencia que *A. blombergi*, prefiere condiciones alcalinas característico de la zona alta; Musilová et al. (2009, 2015) revelan algo similar para *Andinoacara stalsbergi*, de la misma familia Cichlidae, señalando que están bien adaptadas a aguas muy alcalinas y ricas en minerales disueltos; Wijkmark, Kullander y Barriga (2012) señalan que *A.*

Tabla 1

Caracterización de las zonas durante el tiempo de muestreo

Parámetros ambientales	Zona Alta	Zona Media	Zona Baja
	Morachigüe	Tabiazo	San Rafael
Ecosistema	641866	641866	645312
Tipo de ambiente	76071	76071	100086
Ancho aproximado (m)	Río	Río	Río
Profundidad media (m)	Lótico	Lótico	Lótico
Tipo de agua	23	35	40
Tipo de sustrato	0,45	0,65	0,75
Vegetación circundante	clara	Semi-turbia	Turbia
Vegetación acuática abundante	R,Lim,G	Arn,Lim,G	Arn, Lim
Presencia de olores ajenos	SB,S,P	S,P,O	P,O
Presencia de sólidos	NO	NO	NO
Aceites, espuma, etc.	NO	NO	SI
	NO	SI	SI

Tipo de sustrato: R= rocoso; Arn= arenoso; Lim= limoso; Arc= arcilloso; G= grava. Vegetación circundante: SB= semi-boscoso; S= sembio; P= pastizal; O= otros (construcción, etc). Traspirencia: Clara= entre 76 y 100%; semi-clara = entre el 51 y 75%; semi-turbia = entre el 26 y 50%, Turbia = entre el 0 y 25%. Las cifras en la parte inferior de la localidad son sus coordenadas geográficas.

Fuente: Elaborada por los autores.

La caracterización de las condiciones generales en cada una de las zonas estudiadas evidencia las primeras diferencias (Tabla 1), que sumado al resultado de algunos parámetros físico-químicos indican diferencias a medida que se desciende hacia la zona baja, donde disminuye la alcalinidad y aumentan la temperatura, la turbidez y la conductividad (Figura 3); aunque ninguno refleja valores mayores a los establecidos en los límites máximos permisibles según el criterio de

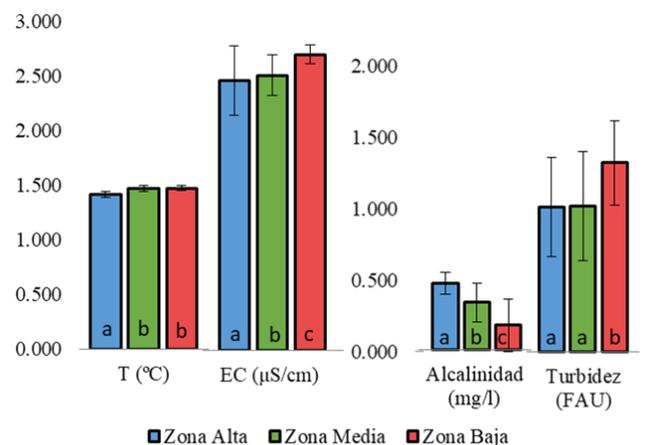


Figura 3. Valores absolutos del log₁₀ de los parámetros físico- químicos en las tres zonas de estudio del río Teaone. Unas letras comunes no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Se indica intervalo de confianza al 95%.

Fuente: Elaborado por los autores.

MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA EN CONTRASTES BIOLÓGICOS Y AMBIENTALES EN PECES

blombergi soporta ciertos rangos ambientales (pH = 6,5 - 7,5; To = 24 - 28 oC). Por otro lado, R. minor es indiferente a

determinando que los especímenes de la zona alta hacia la derecha del CV1, presenten alargamiento del hocico,

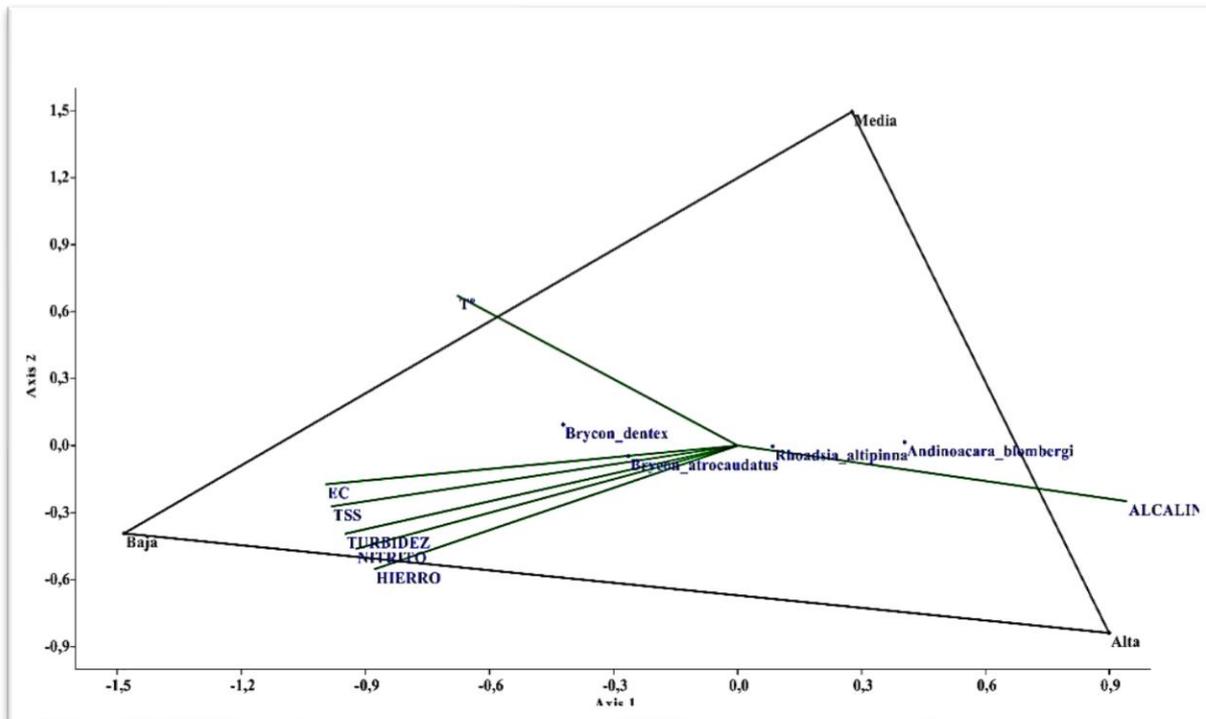


Figura 4. Análisis de correspondencia canónica de los datos de la abundancia total de cada especie relacionada con los promedios de los parámetros ambientales.

Fuente: Elaborado por los autores, mediante la aplicación del programa Past.

estos pequeños cambios en los parámetros tomados; mientras que *B. atrocaudatus* y *B. dentex* tienden a ser más abundantes hacia la zona baja, donde los parámetros de turbidez y conductividad son más altos (Figura 4).

En la Figura 5 se puede observar el resultado gráfico del Análisis de Variables Canónicas (AVC), donde se evidencia una coincidencia para todas las especies, en la que los organismos de la zona baja se alejan de la zona alta por su forma pura a lo largo del eje de la Variable Canónica 1 (VC1).

Al interpretar estos resultados, mediante la técnica de placa delgada, podemos ver:

Brycon atrocaudatus. Se evidencia variación en el hocico (Hito 1), la región cefálica (Hito 2) y la aleta ventral (Hito 10),

levantamiento en la región cefálica y reducción en la aleta ventral; mientras que a la izquierda del CV1 se encuentran especímenes de la zona baja, presentando reducción del hocico y región cefálica (Figura 6a).

Brycon dentex. Se evidencia variación en el hocico (Hito 1), la región cefálica (Hito 2), la aleta dorsal (Hitos 3-4) y la aleta ventral (Hito 10). Determinando que, los especímenes de la zona alta hacia la derecha del CV1, presenten alargamiento del hocico, levantamiento a nivel cefálico y reducción en la aleta dorsal y ventral; mientras que hacia la izquierda del CV1 los especímenes de la zona baja, presenten una reducción del hocico y región cefálica (Figura 6b).

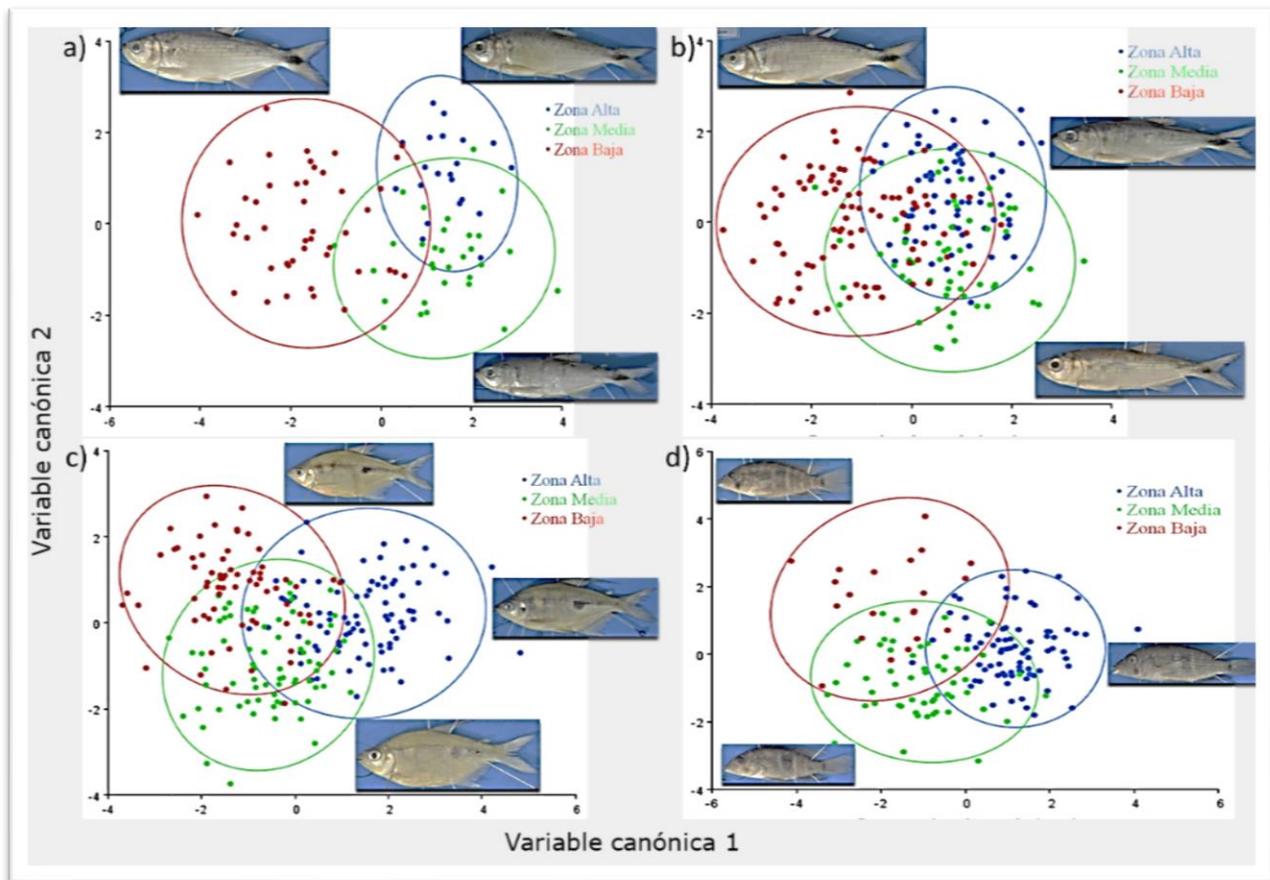


Figura 5. Análisis de la Variante Canónica (AVC) de la forma en a) *Brycon dentex*, b) *Brycon atrocaudatus*, c) *Rhoadsia minor* d) *Andinoacara blombergi*, los puntos representan los individuos y las elipses la dispersión de la forma para cada una de las tres zonas de muestreo. Fuente: Elaborado por los autores, mediante la aplicación del programa MorphoJ.

*Rhoadsia minor.*_ Se evidencia variación en la posición del hocico y en la altura del cuerpo a nivel de la aleta dorsal (Hito 3 - 4), en el origen anterior de la aleta anal (Hito 9) y en el origen anterior de la aleta ventral izquierda (Hito 10). Determinando que, los especímenes de la zona alta hacia la derecha del CV1, presentan alargamiento del hocico dirigido hacia abajo, reducción en la altura del cuerpo a nivel de la aleta dorsal, y reducción a nivel de la aleta anal y la aleta ventral; mientras que hacia la izquierda del CV1, se encuentran los especímenes de la zona baja, quienes presentan reducción del hocico y mayor tamaño del cuerpo a nivel de la aleta dorsal y la aleta ventral (Figura 6c).

*Andinoacara blombergi.*_ Se evidencia variación en el hocico (Hito 1), la región

cefálica (Hito 2), reducción en la parte de la aleta dorsal (Hitos 3-4) y la aleta ventral (Hitos 9). Encontrando que los especímenes de la zona alta hacia la derecha del CV1, presentan alargamiento del hocico, retroceso y reducción a nivel cefálico; y a su vez reducción en la aleta ventral; mientras que hacia la izquierda del CV1 se encuentran los especímenes de la zona baja, quienes presentan reducción del hocico (Figura 6d)

Todo esto demuestra un cambio en la forma de los organismos según se desciende en el cauce, lo cual puede ser relacionado con el incremento de algunos parámetros ambientales como la temperatura y la conductividad, así como una disminución en la alcalinidad y el Oxígeno disuelto, según Anastasiadi, Díaz y Piferrer (2017), los

MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA EN CONTRASTES BIOLÓGICOS Y AMBIENTALES EN PECES

pequeños incrementos de temperatura de 2 °C pueden dar lugar a importantes cambios en los rasgos fenotípicos, sobre todo en la etapa de desarrollo de los peces, como consecuencia del cambio de la metilación del ADN. De acuerdo al estudio de Soria et al. (2011), con un cíclico, señala que la mayor variación de la forma se encuentra en la región cefálica, lo cual coincide con este estudio, y además expresa que dicha variación se desarrolla como un mecanismo adaptativa para la especie, con en este caso a posibles presiones del ambiente.

tienden a disminuir en abundancia relativa; mientras que las especies *B. dentex* y *B. atrocaudatus*, no reflejan divergencias significativas en el estado de condición corporal, lo que podría atribuirse a que se trata de especies con mayor resistencia adaptativa a condiciones desfavorables en comparación a las dos primeras especies (Figura 7).

En este sentido, Youson et al. (1993) ratifican que el cambio de temperatura si afecta al estado de condición de los peces. Por otro lado, para Ekaete (2013) el estado

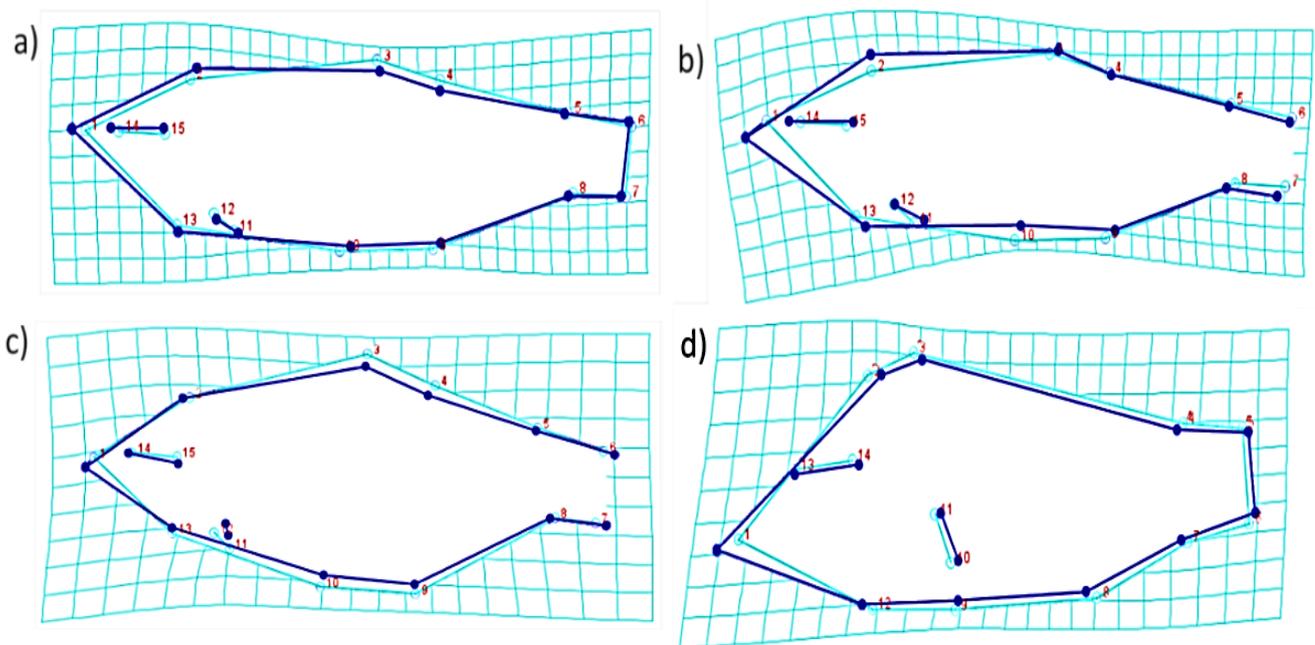


Figura 6. Laminilla de deformación en la Variante Canónica uno (VC1) de a) *Brycon dentex*, b) *Brycon atrocaudatus*, c) *Rhoadsia minor* d) *Andinoacara blombergi*, comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro).

Fuente: Elaborado por los autores, mediante la aplicación del programa MorphoJ.

La relación existente entre el estado de condición, las tallas, los pesos y el logaritmo del tamaño centroide de las diferentes especies estudiadas, evidencia que el estado de bienestar de *A. blombergi* y *R. minor* presentan diferencias significativas entre las zonas alta y media, en las que se encuentran especímenes con profundidad del cuerpo más bajos con respecto a la zona baja donde

de condición de los peces se ve afectado directamente por el contenido de oxígeno que absorben a través de las branquias. Otro factor que podría ser determinante es la cobertura vegetal (aporte alóctono de nutrientes), es decir la disponibilidad de alimento. Por lo tanto, el bienestar de los peces está favorecido por una mayor cobertura vegetal, donde existe mayor

MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA EN CONTRASTES BIOLÓGICOS Y AMBIENTALES EN PECES

disponibilidad de nutrientes favoreciendo el buen crecimiento corporal y una mayor abundancia relativa de los peces, en contraste a aquellos lugares sin cobertura vegetal, con menor disponibilidad de nutrientes alóctonos, propio de zonas alteradas, provocando un constante aumento de sólidos suspendidos y turbidez, en muchos casos derivado de la erosión.

con el estudio de Clabaut et al. (2007) sobre eco-morfología de Cíclidos africanos, estableciendo que existen diferencias en la longitud del cuerpo, en el tamaño de la cabeza y el pedúnculo caudal, como respuesta a la preferencia de alimento, variación de temperatura y oxígeno; lo cual afecta directamente en el rendimiento de los organismos, limitando su crecimiento, su

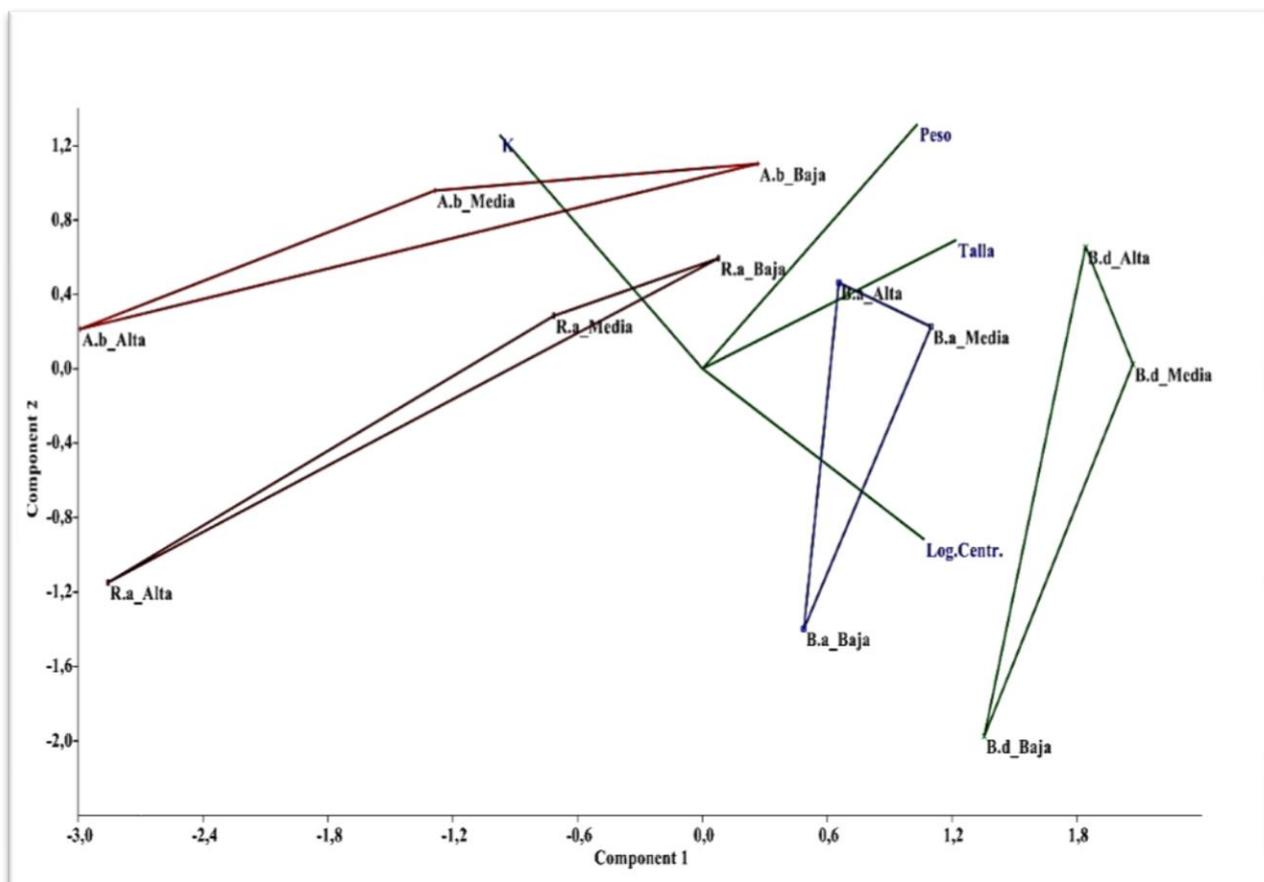


Figura 7. Análisis de componentes principales correlacionadas con los promedios de las condiciones ambientales, talla y peso, y el logitmo del tamaño Centroide (Log.Centr.); B.a. = *Brycon atrocaudatus*, B.d. = *Brycon dentex*, R.m. = *Rhoadsia minor*, A.B = *Andinoacara blombergi*.

Para Granda y Montero (2015), la plasticidad fenotípica se da como respuesta a las variaciones ambientales como el cambio del pH, temperatura y la concentración de oxígeno que presenta diferentes tipos de ecosistemas, de manera que los peces logren facilitar su adaptación ante el medio circundante. Lo que se afirma

metabolismo, la reproducción, el desarrollo y la distribución de las especies. Rahel (1986) y Green y McCormick (2005) explican que el oxígeno disuelto y la temperatura son importantes en el desarrollo de los peces, siendo el oxígeno un limitante en los diferentes hábitat, debido a que este contribuye en los procesos bióticos (Ej. respiración y fotosíntesis de las algas) y

procesos abióticos (Ej. corrientes y circulación del agua).

Conclusiones

Se detectaron diferencias en la forma pura del cuerpo en las cuatro especies estudiadas: *Andinoacara blombergi*, *Brycon atrocaudatus*, *Brycon dentex* y *Rhoadsia minor*, como una respuesta a las diferencias altitudinales en el río Teaone entre la zona alta y la zona baja. La plasticidad

morfológica se manifestó en una reducción del hocico, con una región cefálica pronunciada y con cuerpos con menor altura según se desciende en el cauce. Durante el estudio, estos cambios altitudinales, estuvieron asociados con el aumento de los sólidos en suspensión, la turbidez y la temperatura; así como con una disminución del pH, el oxígeno disuelto y la alcalinidad; desde la zona alta hacia la zona baja del cauce.

Referencias

- Aguirre, W. E., Navarrete, R., Malato, G., Calle, P., Loh, M. K., Vital, W. F., ... Granda, J. C. (2016). Body Shape Variation and Population Genetic Structure of *Rhoadsia altipinna* (Characidae: Rhoadsiinae) in Southwestern Ecuador. *Copeia*, *104*(2), 554-569. <https://doi.org/10.1643/CG-15-289>
- Anastasiadi, D., Díaz, N., & Piferrer, F. (2017). Small ocean temperature increases elicit stage-dependent changes in DNA methylation and gene expression in a fish, the European sea bass. *Scientific Reports*, *7*(1), 12401. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10861-6>
- Andreoli, A., Mao, L., Iroumé, A., Arumí, J., Nardini, A., Pizarro, R., ... Link, O. (2012). The need for a hydromorphological approach to Chilean river management. *Revista Chilena De Historia Natural*, *85*, 339-343. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2012000300008>
- Clabaut, C., Bunje, P. M. E., Salzburger, W., & Meyer, A. (2007). Geometric Morphometric Analyses Provide Evidence for the Adaptive Character of the Tanganyikan Cichlid Fish Radiations. *Evolution*, *61*(3), 560-578. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2007.00045.x>
- Ekaete, A. (2013). Preliminary studies of the condition factors in five tropical fish species of a coastal state, Lagos Nigeria. *5*, *6*. Recuperado de http://www.sciencepub.net/researcher/research0506/001_17604research0506_1_5.pdf
- Food and Agriculture Organization. (2017). Ecología de las pesquerías fluviales. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/003/X6853S/X6853S02.htm>
- García, A., González, J., & Habit, E. (2012). Caracterización del hábitat de peces nativos en el río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana (Concepción)*, *76*, 36-44. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382012000100004>

Granda, J., & Montero, C. (2015). Aplicación de morfometría geométrica para la comparación de distintas poblaciones de guanchiche (*Hoplias* spp) en ecosistemas lénticos y lóticos del Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/29740>.

Green, B. S., & McCormick, M. I. (2005). O₂ replenishment to fish nests: males adjust brood care to ambient conditions and brood development. *Behavioral Ecology*, 16(2), 389-397. <https://doi.org/10.1093/beheco/ari007>.

Herbas, R., Rivero, F., & Gonzales, A. (2006). Indicadores Biologicos Calidad Agua. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/58999749/indicadores-Biologicos-Calidad-Agua>

Malato, G., Shervette, V. R., Amaya, R. N., Rivera, J. V., Salazar, F. N., Delgado, P. C., ... Aguirre, W. E. (2017). Parallel body shape divergence in the Neotropical fish genus *Rhoadsia* (Teleostei: Characidae) along elevational gradients of the western slopes of the Ecuadorian Andes. *PLOS ONE*, 12(6), e0179432. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179432>

Musilová, Z., Rican, O., Ricanová, S., Jansta, P., Gahura, O., & Novak, J. (2015). Phylogeny and historical biogeography of trans-Andean cichlid fishes (Teleostei: Cichlidae). *Senckenberg*.

Musilová, Z., Schindler, I., & Staeck, W. (2009). Description of *Andinoacara stalsbergi* sp. n. (Teleostei: Cichlidae: Cichlasomatini) from Pacific coastal rivers in Peru, and annotations on the phylogeny of the genus. Recuperado de http://www.senckenberg.de/files/content/forschung/publikationen/vertebratezoology/vz59-2/02_verttebrate_zoology_59-2_musilova.pdf

- Ortiz, M. (2016, enero 11). *Caracterización de diatomeas como herramienta para el estudio de la calidad del agua del río Teaone* (Thesis). Ecuador - PUCESE - Escuela de Gestión Ambiental. Recuperado de <http://localhost/xmlui/handle/123456789/589>
- Rahel, F. J. (1986). Biogeographic Influences on Fish Species Composition of Northern Wisconsin Lakes with Applications for Lake Acidification Studies. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43(1), 124-134. <https://doi.org/10.1139/f86-013>
- Soria, M., Rodiles, R., & González, A. A. (2011). Morfometría de las especies de Vieja (Cichlidae) en ríos de la cuenca del Usumacinta, Chiapas, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(2), 569-579.
- Thompson, D.W. (1917). On growth and form. London: Cambridge University Press.
- Torcida, S., & Perez, S. I. (2012). Análisis de procrustes y el estudio de la variación morfológica. *Revista argentina de antropología biológica*, 14(1), 131-141.
- TULSMA. (2003). *Libro VI de Calidad Ambiental: Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Decreto Ejecutivo No. 1589.*
- Wijkmark, N., Kullander, S., & Barriga, R. (2012). *Andinoacara blombergi*, a new species from the río Esmeraldas basin in Ecuador and a review of *A. rivulatus* (Teleostei: Cichlidae), 23, 117-137.
- Youson, J. H., Holmes, J. A., Guchardi, J. A., Seelye, J. G., Beaver, R. E., Gersmehl, J. E., ... Beamish, F. W. H. (1993). Importance of Condition Factor and the Influence of Water Temperature and Photoperiod on Metamorphosis of Sea Lamprey *Petromyzon marinus*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(11), 2448-2456. <https://doi.org/10.1139/f93-269>

Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., & Sheets, H. D. (2012). *Geometric Morphometrics for Biologists: a Primer*. Saint Louis: Elsevier Science.