



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Biología, Ecología y Gestión

Análisis de Morfometría Geométrica de peces de las Regiones Biogeográficas
del Ecuador

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE: BIÓLOGO CON MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN**

Autor:

PEDRO JOSUÉ GUERRA ASTUDILLO

Director:

EDWIN JAVIER ZÁRATE HUGO MSC.

Co-director:

DR(C.). PEDRO JORGE JIMÉNEZ PRADO

CUENCA, ECUADOR

2022

DEDICATORIA

A mis padres María Elena y Diego, que me han demostrado que lo más importante en la vida es el amor que puede llegar a tener un padre a su hijo, que la honestidad, la perseverancia debe ser el pilar fundamental para la vida.

A mis hermanas Gabriela y Camila dos mujeres que me han demostrado que el amor tiene diferentes formas de expresarse, y que ya sea que estemos a pocos o 5405 kilómetros de distancia, el calor y apoyo de hermanos siempre se sentirá.

A mi abuela Lucila y tía abuela Carmela, personas que han puesto todo su esfuerzo, su cariño, sus consejos y en especial su apoyo para cumplir mis sueños.

Quiero dedicar esto a mí, por creer en mí, por trabajar por esta meta que ha sido el sueño de un niño desde los 8 años.

A ti Joaqui.

AGRADECIMIENTO

A mi director de tesis Edwin Zarate por brindarme su conocimiento y ayuda en el proceso de redacción de esta investigación.

Al DR(C.). Pedro Jorge Jiménez Prado por todo lo enseñado para esta investigación.

A Fredy Nugra por involucrarme en el área de ictiología y enseñarme sin egoísmo alguno.

A todos mis profesores: Pedro Astudillo, Antonio Malo, Antonio Crespo, Danilo Minga, Rafaela Ansaloni, Boris Tinoco, David Sidons, Sebastián Padrón, Rodrigo Caroca, Rebeca Webster, Joaquín Lopez; que han sido luminarias en las diferentes etapas de la vida universitaria.

A mis compañeros y compañeras, en especial a José Manuel Falcón amigo que ha sido un profesor más en esta linda área de la biología.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE.....	iv
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS.....	8
Objetivo general:.....	8
Objetivos específicos:.....	8
CAPITULO I.....	9
METODOLOGÍA.....	9
1.1 Área de Estudio.....	9
1.2 Poblaciones de estudio.....	10
1.3 Obtención de datos de la colección.....	11
1.4 Análisis de datos.....	13
CAPITULO II.....	14
RESULTADOS.....	14
2.1. Análisis de Componentes Principales (ACP).....	14
2.1.1. Análisis de Componentes Principales (ACP) general de la base de datos por orden taxonómico.....	14
2.1.2. Análisis de Componentes Principales (ACP) dividido por regiones por orden taxonómico.....	15
2.1.3. Análisis de Componentes Principales (ACP) dividido por regiones biogeográficas por orden taxonómico.....	18
2.1.4. Análisis de Componentes Principales (ACP) de MG de familias de cada orden.....	19
CAPITULO III.....	23
DISCUSIONES.....	23
CONCLUSIÓN.....	25
REFERENCIAS.....	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción general por sectores biogeográficos.	10
Tabla 2. Hitos (landmarks) utilizados para el estudio de morfometría geométrica de peces.	12
Tabla 3. Identificación por color correspondientes a las figuras de resultados de Orden	13
Tabla 4. Código de sector Biogeográfico con su región continental ecuatoriana correspondiente	13
Tabla 5. Riqueza del orden, familia, especies, además la abundancia por sector biogeográfico.....	14

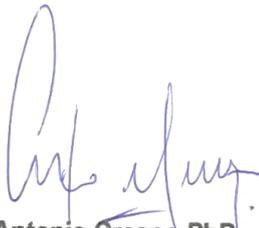
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de Estudio.	11
Figura 2. Ubicación de Landmarks o hitos para el análisis morfométrico de peces.	12
Figura 3. ACP general de la base de datos por la variable orden.....	15
Figura 4. Análisis de Componentes Principales (ACP) por región continental.....	17
Figura 5. Análisis de Componente Principal (ACP) de la MG de cada zona biogeográfica	19
Figura 6. Cada gráfico representa el ACP de las familias que conforman los órdenes taxonómicos ...	22

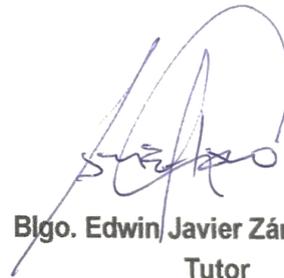
RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo explorar la variación de la forma de los diferentes órdenes ictiológicos mediante el análisis de la morfometría geométrica, de la colección de peces del museo de vertebrados de la Universidad del Azuay. El análisis se hizo de forma general, dividiendo al Ecuador por las tres regiones continentales y por 8 sectores biogeográficos. Mediante el Análisis de Componente Principales, se obtuvo los patrones gráficos que definieron las características de los 5 órdenes encontrados en la colección, demostrando que las diferencias morfométricas entre los órdenes son marcadas con unos pequeños solapamientos entre algunos de estos: Characiformes – Siluriformes y Characiformes – Cyprionodontiformes. Los resultados sugieren que existe una alta especialidad de las especies que ocupan microhábitats diferentes y por lo tanto coexistir en el mismo macrohábitat.

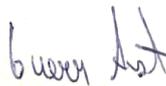
Palabras clave: Análisis de Componentes Principales, Biogeografía, ictiología, Morfometría Geométrica, Peces.



Antonio Crespo PhD
Coordinador de carrera



Blgo. Edwin Javier Zárate Hugo
Tutor



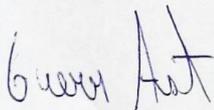
Pedro Josué Guerra Astudillo
Estudiante

ABSTRACT

The objective of this study was to explore the variation in the shape of the different ichthyological orders by analyzing the geometric morphometry of the fish collection of the vertebrate museum of the University of Azuay. The analysis was done in a general way, dividing Ecuador into its three continental regions and by 8 biogeographic sectors. Employing the Principal Component Analysis, the graphic patterns that defined the characteristics of the 5 orders found in the collection were obtained, demonstrating that the morphometric differences between the orders are marked with small overlaps between some of them: Characiformes - Siluriformes and Characiformes - Cypridontiformes. The results suggest that there is a high specialty of species that occupy different micro-habitats and therefore coexist in the same macro-habitat.

Keywords: Biogeography, Fish, Geometric Morphometry, Ichthyology, Principal Component Analysis.

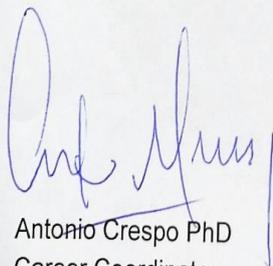
Translated by



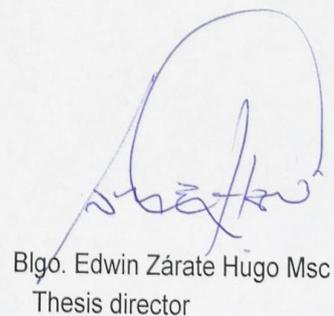
Pedro Josué Guerra Astudillo
Author



Language Unit



Antonio Crespo PhD
Career Coordinator



Blgo. Edwin Zárate Hugo Msc
Thesis director

Pedro Josué Guerra Astudillo
Trabajo de Graduación
Edwin Javier Zárate Hugo Msc.
Febrero, 2022

Análisis de morfometría geométrica de peces de las regiones biogeográficas del Ecuador

INTRODUCCION

Los peces han colonizado casi todos los ecosistemas acuáticos del mundo, y el 43% de la ictiofauna se encuentra en los ecosistemas de agua dulce (Nugra et al., 2018). Debido a que los peces presentan diferentes roles y ocupan hábitats diferentes, es posible encontrar varias especies en secciones relativamente pequeñas en los ecosistemas acuáticos. Según su alimentación a la ictiofauna podemos clasificarla en seis categorías generales: Hematófagos, herbívoro, invertívoro, omnívoro, piscívoro, predador (Simberloff y Dayan 1991).

Sudamérica es el continente que cuenta con la mayor riqueza de peces dulceacuícolas del mundo, con un número total de 4035 (Leveque et al., 2008). El Ecuador está presente en dos provincias biogeográficas: La Zona Occidental (Costa) se encuentra en la provincia Trasadina del Norte y Magdalena, contando con un total de 423 especies recalando a 326 endémicas. La zona Oriental del Ecuador se encuentra en la provincia Amazónica con un total de 2416 y de las cuales 2072 especies son endémicas.

Podemos destacar estudios de poblaciones del mismo género (*Phoxinus*), presentan cuerpos más profundos en cuerpos de arroyo, un pedúnculo caudal y aletas pectorales insertadas más lateralmente a comparación de los organismos del mismo género que habitan los lagos (Ramler et al., 2016). Estudios de comparación de la forma del cuerpo y el flujo de agua usando el gradiente del arroyo; los individuos de corrientes lentas fueron más aerodinámicos, mientras los de corriente alta poseían cuerpos más profundos. Por otro lado, los individuos más pequeños tenían la forma corporal más robusta (Meyers y Belk, 2014).

La variación de la forma se puede entender como la deformación relativa y componentes uniformes entre las especies (Franssen, Goodchild & Shepard, 2015). Mientras que la morfometría geométrica (MG) se puede definir como el estudio estadístico de las variaciones de la forma y su covariación con otras variables (Zelditch et al., 2004, 2012) o la relación espacial entre sus partes (Toro Ibacache, Manriquez Soto, & Suazo Galdames, 2010). La MG permite tanto el análisis estadístico de la variación en forma como la visualización de las diferencias en la forma (Aguirre, 2018). Esta herramienta nos ofrece una adecuada visualización, interpretación y comunicación de los resultados de una forma más precisa (Zelditch et al., 2004, 2012).

La variación en la forma de los peces tiene relación con sus funciones ecológicas y sus diferentes hábitats, como pueden ser ríos, lagos y arroyos (Jiménez-Prado & Aguirre, 2020). Además, existe una relación entre la forma del cuerpo, el hábitat y gremio trófico (Bower & Piller, 2015), la morfología está asociada con adaptación a hábitats y recursos específicos

Los peces, especialmente los que habitan en cuerpos de agua dentro de islas o continentes, son el grupo de vertebrados más susceptible al aislamiento (Kosswig, 1963), de modo que cambios incluso mínimos en la geografía pueden ocasionar diferenciación en las especies que algún día compartieron dicho hábitat. Por otro lado debido a las actividades humanas están causando grandes modificaciones en los hábitats acuáticos lo que está provocando impactos aun desconocidos. Recientes estudios de las variaciones en la morfología de una misma especie localizadas en diferentes zonas con estresores ambientales han demostrado que la forma de los individuos entre las zonas alteradas con respecto a zonas no intervenidas varía (Bravo, 2018). Por lo que es importante considerar a la morfología de los peces como un indicador de impactos derivados de actividades humanas.

Sin embargo, en regiones tropicales debido a la gran diversidad que se tiene este campo es aún desconocido, por lo que se requiere estudiar la morfología de la diversidad existente y sentar líneas de base para establecer a futuro estudios comparativos. Es por esta razón que con este estudio pretendemos aportar con el análisis morfométrico de una parte de la gran diversidad de peces del Ecuador continental.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Determinar la variación morfométrica de los peces en la colección ictiológica de la Universidad del Azuay, provenientes de diferentes regiones biogeográficas del Ecuador.

Objetivos específicos:

- Levantar información morfométrica de los especímenes seleccionados para el análisis.
- Identificar patrones morfométricos de los especímenes utilizando diferentes factores.

CAPITULO I

METODOLOGÍA

1.1 Área de Estudio

Ecuador es un país con una superficie aproximada de 252 000 km²; presenta cuatro regiones geográficas: insular (Galápagos) y tres regiones continentales, Costa o litoral, Sierra y Amazonía (Winckel, Zebrowski & Sourdat 1997).

En el aspecto Biogeográfico, la zona costera se extiende en un rango altitudinal desde el nivel del mar hasta los 1000 metros de altura (Winckell et al., 1997); La temperatura promedio de toda la región oscila entre los 24-25°C, aunque puede llegar a ser menor a 22°C en zonas de cordillera. Sus niveles de precipitación anual varían de menos de 60 mm (península de Santa Elena) a más de 2000 mm (Pourrut, 1983). La región Amazónica se divide en dos zonas: alta amazonia mayor a los 1000 metros y Llanura amazónica menor a los 1000 metros sobre el nivel del mar (Winckell et al., 1997). En esta región se registra el máximo de precipitación de 4500 mm (Cedeño, J., Donoso, M. C. 2010), con una temperatura promedio de 24-25°C, con máximas de hasta 40°C en el mes de mayo (Pourrut, 1983).

Las regiones amazónica y costera, se caracterizan por tener una vegetación de región tropical (MAE, 2012); aunque por ejemplo en la región costa puede haber regiones con condiciones cálidas y extremadamente secas con especies vegetales inferiores a los 20 metros de altura; a ésta se la ha caracterizado como la región Matorral Seco de la Costa. Así también, en la región Costa, se puede tener regiones con condiciones cálidas y húmedas como la región Bosque Húmedo Tropical del Chocó, con un dosel cerrado y vegetación que puede superar los 30 m de altura. En la Amazonía, está presente la región Bosque Húmedo Tropical Amazónico, presenta selvas muy húmedas con dosel denso que puede llegar a los 40 metros de altura.

La zona Sierra tiene un rango altitudinal desde los 1800 hasta los 6310 m s.n.m (Winckel et al., 1997). Esta región se caracteriza por tener un clima semejante a la zona templada (MAE, 2012). La temperatura está ligada a la altura; entre los 1500 y 3000 m s.n.m. los valores promedio varían entre 8 y 20°C, con un gradiente de temperatura de 5°C por cada 1000 m de altura. El promedio anual de las precipitaciones varía entre 800 y 1500 mm, a excepción de la zona del valle del Chota (300 mm) y el valle Jubones (400 mm) (Pourrut, 1983).

Los sectores Biogeográficos están constituidos por el conjunto de especies con una alta abundancia y diversidad de ciertos géneros que pueden ser exclusivos de pocos sectores hasta llegar a ser endémicas de un solo sector (Galeas et al., 2013). En la Tabla 1 se muestra varias características representativas de cada sector biogeográfico.

Tabla 1. Descripción general por sectores biogeográficos.

SECTORES BIOGEOGRÁFICAS	REGIÓN	PROVINCIA	VALORACIÓN AL TITUDINAL (MSNN) COMBRO TIPO	OMBRO TIPO	BIOCLIMA
Aguarico – Putumayo Caqueta	Amazonía	Amazonía Noroccidental	168 – 350	Húmedo	Pluvial
Choco Ecuatorial	Litoral	Chocó	0-300	Húmedo pluviestacional	/ Pluvial pluviestacional/
Cordillera Occidental	Andes	Andes del Norte	300 -3600	Húmedo Hiperhúmedo	/ /Pluvial pluviestacional/
Cordillera Amazónica	Amazonía	Amazonía Noroccidental	243 – 3100	Húmedo hiperhúmedo	/ Pluvial /
Jama – Zapotillo	Litoral	Pacífico Ecuatorial	0 – 400	Seco / desértico / semiárido interior / húmedo subhúmedo	/ Xérico / húmedo pluviestacional /
Napo – Curaray	Amazonía	Amazonía Noroccidental	170 – 350	Húmedo	Pluvial
Norte de la Cordillera Oriental	Andes	Andes Norte	400 – 3700	Húmedo hiperhúmedo	/ Pluvial
Sur de la Cordillera Oriental	Andes	Andes del Norte	400 – 3400	Húmedo Hiperhúmedo	/ Pluvial / pluviestacional

Fuente: (Galeas, R., et. al,2013).

1.2 Poblaciones de estudio.

En esta investigación se analizó la colección de peces del Museo de Zoología de la Universidad del Azuay, provenientes de 8 zonas Biogeográficas: Aguarico-Putumayo-Caquetá, Norte de la Cordillera Oriental de los Andes, Cordilleras Amazónicas, Jama - Zapotillo, Chocó Ecuatorial, Sur de la Cordillera Oriental, Cordillera Occidental, Cordilleras Amazónicas y Napo - Curaray (Figura. 1). Los especímenes provienen de estudios ictiológicos de la Universidad del Azuay y de consultores privados, en donde, el destino final fue la colección de vertebrados del museo de la Universidad del Azuay.

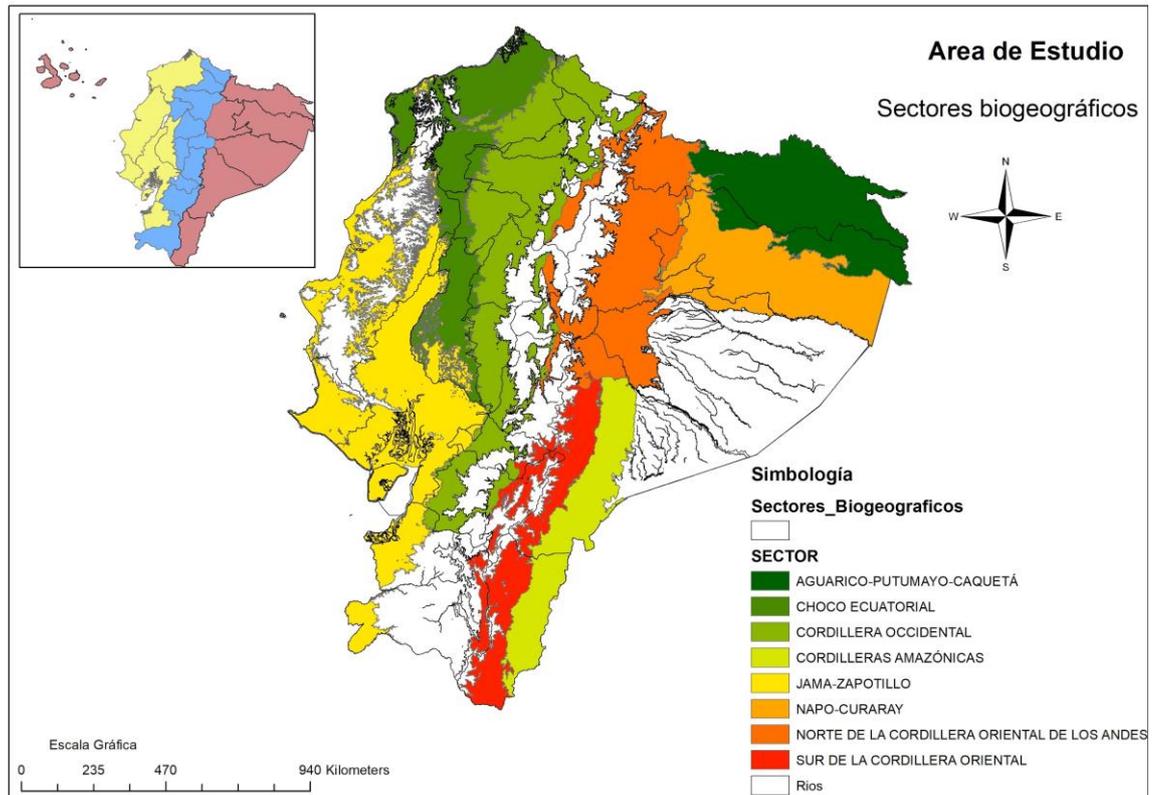


Figura 1. Área de Estudio. En la parte superior de la Figura se puede identificar las 4 regiones geográficas del Ecuador (de izquierda a derecha: Región Insular, Costa, Sierra y Oriente). La colección de especímenes fue obtenida en 8 sectores biogeográficos: Aguarico-Putumayo-Caquetá, Norte de la Cordillera Oriental de los Andes, Cordilleras Amazónicas, Jama - Zapotillo, Chocó Ecuatorial, Sur de la Cordillera Oriental, Cordillera Occidental, Cordilleras Amazónicas y Napo - Curaray.

Elaborado por: Pedro Guerra Astudillo.

1.3 Obtención de datos de la colección

A través de la técnica de morfometría geométrica se indagó la diversidad morfológica de peces, de la colección de la UDA, por: sectores biogeográficos, regiones continentales del Ecuador y familias de cada orden.

Se tomó como base metodológica la “Guía práctica de Morfometría Geométrica. Aplicaciones en la Ictiología” de Aguirre y Jiménez-Prado (2018), que expone el proceso para el análisis de Morfometría Geométrica, además de exhibir los fundamentos teóricos del mismo. Para iniciar con el análisis de datos, se realizó una selección de los mejores especímenes, es decir, los individuos que no presentaron curvaturas en su cuerpo; en el caso de individuos que tuvieron una curvatura mínima se colocó alfileres para mejorar su estructura. de igual manera a través de alfileres se marcaron los hitos en los peces seleccionados y luego fueron fotografiados. De las 173 especies con las que cuenta la colección de la Universidad del Azuay 104 especies presentaron las condiciones para ser estudiados.

Para el levantamiento de información morfométrica se fotografió cada individuo de la colección. Para esto se instaló la cámara (modelo D3300 con un lente macro) en un trípode, para de esta manera estandarizar la toma de las fotografías a una misma altura y evitar movimientos, además cada fotografía contaba con regla milimétrica para tener la escala en cada imagen. Para la toma de fotografía los

individuos se ubicaron con la región cefálica al lado izquierdo y la aleta caudal al lado derecho con respecto a la cámara (Anexo 3). Los individuos fueron debidamente identificados según la información de las etiquetas que presentaba en la colección.

Mediante el software Tps transformamos las fotografías de un formato .JPG a .Tps mediante la aplicación TpsUtil (versión 1.78): posteriormente se pasó esta información a TpsDig (versión 2.31) para la colocación de 11 hitos (Tabla 2) (Figura 2). Para que el margen de error en la colocación de los hitos sea lo menor posible, fue necesario colocar alfileres en uniones anatómicas (hitos) que pueden resultar de difícil observación.

Tabla 2. Hitos (landmarks) utilizados para el estudio de morfometría geométrica de peces.

Símbolo	Posición de cada Hito
1	Maxilar superior
2	Hito 1 de la aleta dorsal (zona más cercana a la región cefálica)
3	Hito 2 de la aleta dorsal
4	Parte superior de la aleta caudal
5	Punto inferior de la aleta caudal
6	Inicio de la aleta anal con respecto a la aleta caudal
7	Final de la aleta anal con respecto a la aleta caudal
8	Aleta ventral
9	Aleta pectoral
10	Hito 1 del ojo
11	Hito 2 del ojo

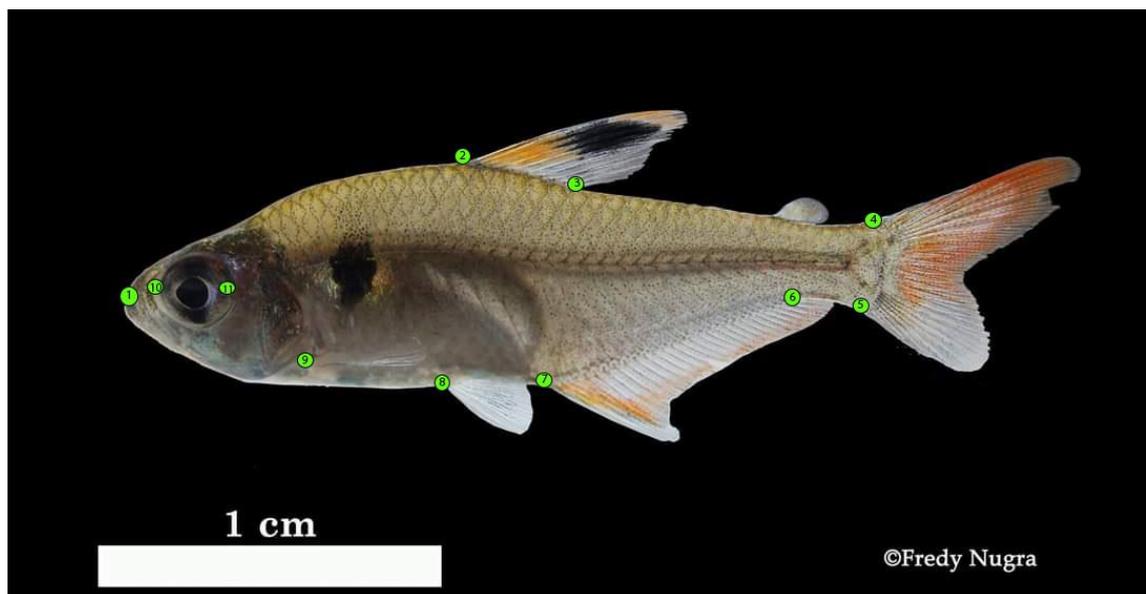


Figura 2. Ubicación de Landmarks o hitos para el análisis morfométrico de peces. Se pueden observar 11 hitos que son registrados en el software TpsDig. Foto: Fredy Nugra.

1.4 Análisis de datos

Utilizamos el software MorphoJ (versión 1.07a), que reconoce los archivos .Tps, configurándolos como archivo “.TPS”, para ser reconocidos. Mediante este programa se analizó la superposición de mínimos cuadrados para eliminar los efectos de escala, traslación y rotación (Franssen, N. et al., 2015). El Análisis Generalizado de Procrustes, también llamado Superposición Procrustes es el método que se emplea, para el procesamiento de datos (Aguirre y Jiménez-Prado, 2018) de esta manera se intentan que los landmarks se alineen lo más posible al espécimen de referencia, esto fue creado a partir de la forma promedio de la curva (Adams et al., 2013). Para el análisis estadístico se analizó los patrones de morfología geométrica a dos niveles: a nivel de toda la colección de peces de la UDA y por región Biogeográfica.

Mediante Análisis de Componentes Principales (ACP), se analizó los patrones de MG a nivel de orden taxonómico, esto a nivel general de toda la base de datos, por región, por sector biogeográfico y por familias de cada orden. El ACP, es un método exploratorio el cual busca simplificar juegos de datos complejos. Este detecta las direcciones de mayor variación y grafica la distribución de especímenes en ese espacio (Aguirre y Jiménez-Prado, 2018).

Para una mejor identificación se colocó en todas las figuras el mismo color para cada variable para orden (Tabla 3) y sector biogeográfico (Tabla 4):

Tabla 3. Identificación por color correspondientes a las figuras de resultados de Orden

Orden	Color
Characiformes (CH)	Negro
Cypriniformes (CY)	Celeste
Cyprinodontiformes (CP)	Rojo
Perciformes (PE)	Verde
Siluriformes (SI)	Azul

Tabla 4. Código de sector Biogeográfico con su región continental ecuatoriana correspondiente

Código Biogeografía	Sector Biogeográfica	Región	Código Región
AP	Aguarico – Putumayo Caqueta	Amazonía	AM
CA	Choco Ecuatorial	Amazonía	AM
CE	Cordillera Occidental	Litoral	LI
CO	Cordillera Amazónica	Andes	AN
JZ	Jama – Zapotillo	Litoral	LI
NC	Napo – Curaray	Amazonía	AM
NO	Norte de la Cordillera Oriental	Andes	AN
SC	Sur de la Cordillera Oriental	Andes	AN

CAPITULO II

RESULTADOS

El estudio contó con un total de 985 especímenes fotografiados, pertenecientes a 104 especies de 26 Familias y 5 órdenes taxonómicos: Characiformes, Cypriniformes, Cyprinodontiformes, Perciformes y Siluriformes; presentes en los diferentes sectores biogeográficas (Tabla 5).

Se observó mayor abundancia de especie en los sectores biogeográficas en Cordillera Amazónica y la menor riqueza en el sector Cordillera Occidental (Tabla 5).

Tabla 5. Riqueza del orden, familia, especies, además la abundancia por sector biogeográfico

	Orden	Familia	Especies	Abundancia
Aguarico – Putumayo Caqueta	3	13	25	93
Choco Ecuatorial	4	15	67	365
Cordillera Occidental	4	14	29	81
Cordillera Amazónica	2	2	3	8
Jama – Zapotillo	4	16	38	254
Napo – Curaray	4	4	6	16
Norte de la Cordillera Oriental	3	11	27	75
Sur de la Cordillera Oriental	5	10	25	93

2.1. Análisis de Componentes Principales (ACP)

2.1.1. Análisis de Componentes Principales (ACP) general de la base de datos por orden taxonómico

Se identifica el ACP de la MG considerando todos los individuos agrupados por orden taxonómico, en donde, se puede notar patrones definidos, notándose pequeños solapamientos entre los órdenes Characiformes, Cyprinodontiformes y Siluriformes (Figura 3).

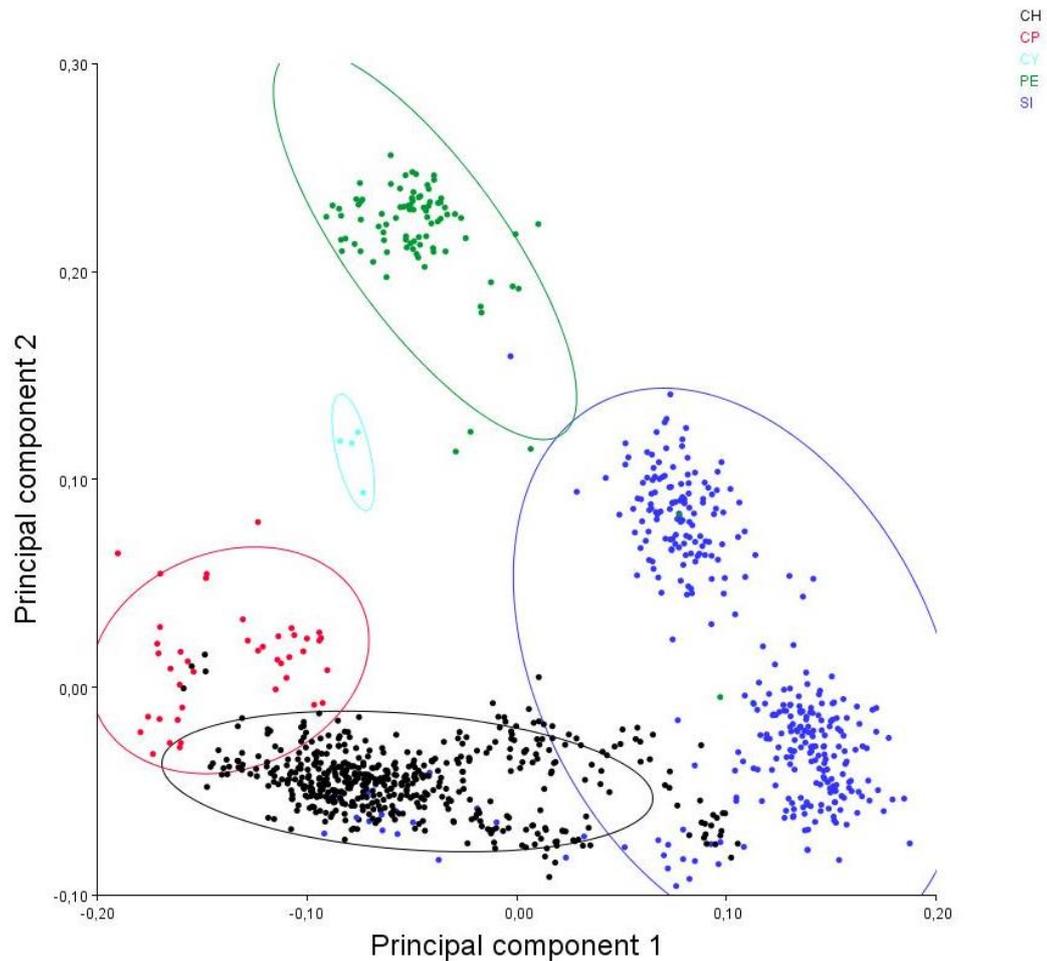
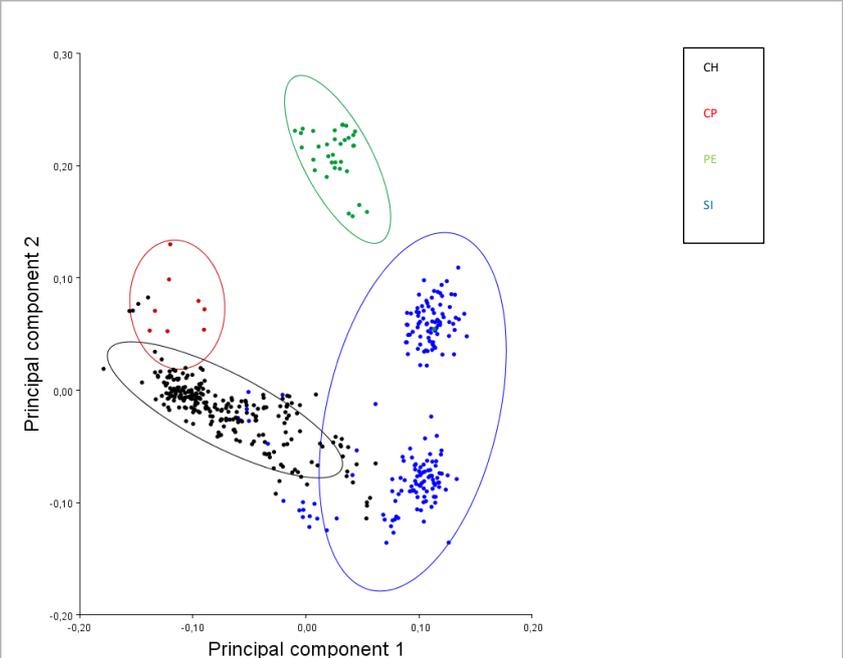


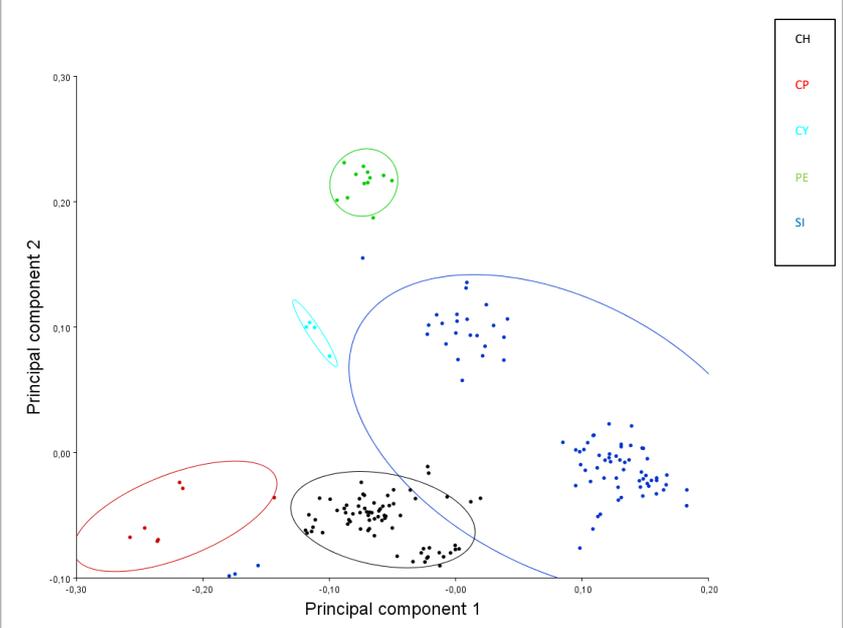
Figura 3. ACP general de la base de datos por la variable orden. Se representa con color negro para el Orden Characiformes (CH), color rojo para el Orden Cyprinodontiformes (CP), color celeste para Cypriniformes (CY), verde para Perciformes (PE) y azul para Siluriformes (SI).

2.1.2. Análisis de Componentes Principales (ACP) dividido por regiones por orden taxonómico

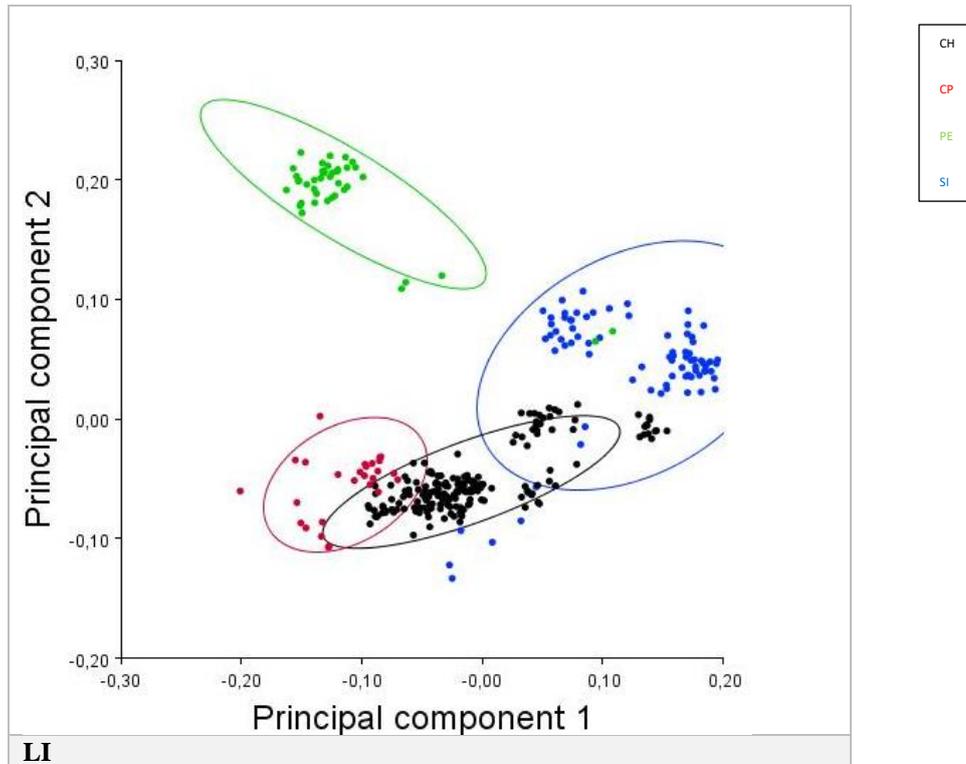
La Figura 4 presenta la MG de los especímenes por regiones continentales del Ecuador. El primer gráfico (AM) representa la región Amazónica, en el cual notamos patrones marcados con un ligero solapamiento entre los órdenes Characiformes con Siluriformes y Characiformes con Cyprinodontiformes; mientras que el orden Perciformes presenta un patrón sin solapamientos. En la región Andina (AN) se nota un comportamiento de la MG de los órdenes similar al analizado anteriormente. En la región Litoral (LI) se puede encontrar un mayor solapamiento entre los órdenes, manteniéndose separado el orden Perciforme.



AM



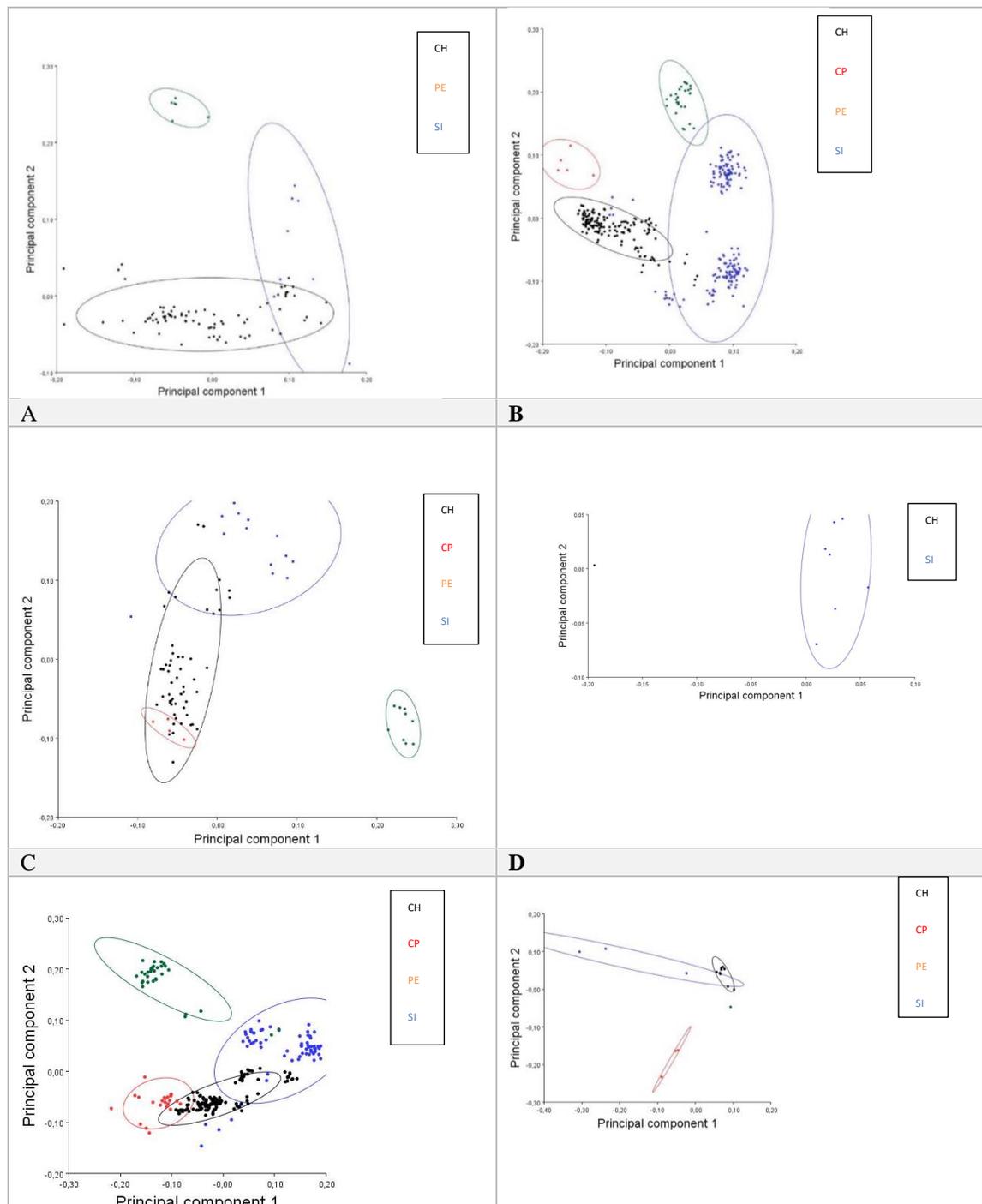
AN



LI
Figura 4. Análisis de Componentes Principales (ACP) por región continental Amazonía (AM), Andes (AN) y Litoral (LI). Además, se representó con un color específico a los diferentes órdenes taxonómicos: negro para el Orden Characiformes (CH), rojo para el Orden Cyprinodontiformes (CP), celeste Cypriniformes (CY), verde Perciformes (PE) y azul Siluriformes (SI).

2.1.3. Análisis de Componentes Principales (ACP) dividido por regiones biogeográficas por orden taxonómico.

En la Figura 5 podemos observar los patrones de MG de los órdenes de peces en las ocho regiones biogeográficas analizadas a través del ACP, se nota que algunos órdenes mantienen patrones de MG diferenciados, mientras que otros presentan diferentes niveles de solapamiento. Llama la atención en las Figuras C y E el orden Characiformes poseen un solapamiento parcial con los órdenes Siluriformes y Cyprinodontiformes (CP); La figura G presenta un solapamiento entre el orden Siluriformes y Cyprinodontiformes. Por otro lado, podemos notar que el orden Perciformes (PE) es el que presenta patrones más diferenciados en relación a los órdenes presentes en los sectores biogeográficos.



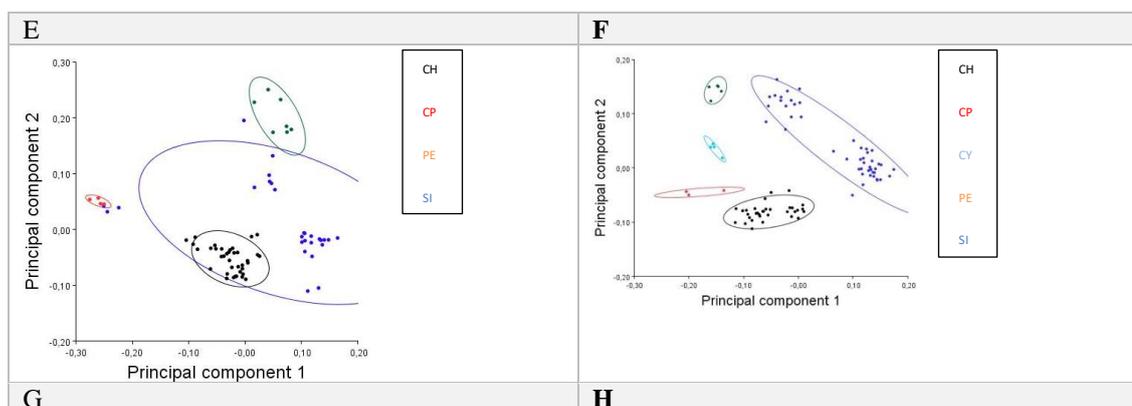
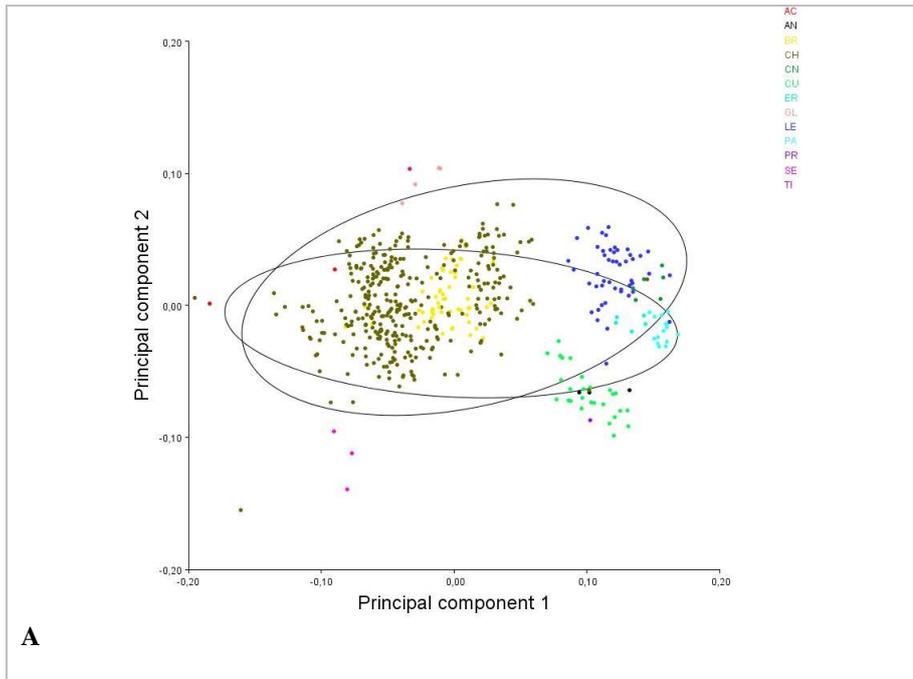


Figura 5. Análisis de Componente Principal (ACP) de la MG de cada zona biogeográfica Aguarico Putumayo (A), Cordillera Amazónica (B), Cordillera Ecuatorial (C), Cordillera Occidental (D), Jama – Zapotillo (E), Napo-Curaray (F), Norte de la Cordillera Oriental de los Andes (G), Sur de la Cordillera Oriental (H). En cada gráfico se utilizó colores específicos para representar los órdenes taxonómicos: negro para el Orden Characiformes (CH), rojo para el Orden Cyprinodontiformes (CP), celeste color Cypriniformes (CY), verde Perciformes (PE) y azul Siluriformes (SI).

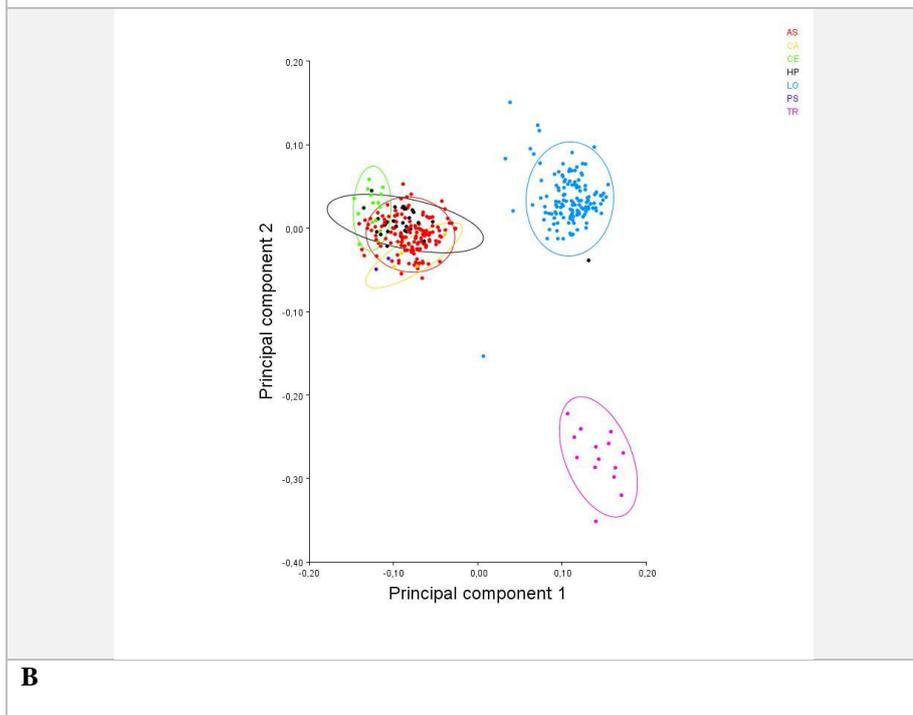
2.1.4. Análisis de Componentes Principales (ACP) de MG de familias de cada orden

La Figura 6 muestra el ACP de las familias que conforman los cinco órdenes analizados; representados en los gráficos del A al E. De forma general se puede mencionar que los órdenes con pocas familias presentaron patrones diferenciados, mientras que los órdenes con mayor número de familias no presentaron patrones diferenciados. Como es el caso del orden Characiformes (Figura A) las familias no presentaron patrones de MG separados. Así las familias Characidae (CH) se encontró solapada con Briconidae (BR). Lebiasinidae (LE) presentó un solapamiento con Parodontidae (PA). Únicamente la Familia Curimatidae (CU) presentó una separación con un pequeño solapamiento con Prochilodontidae (PR) y Anostomidae (AN).

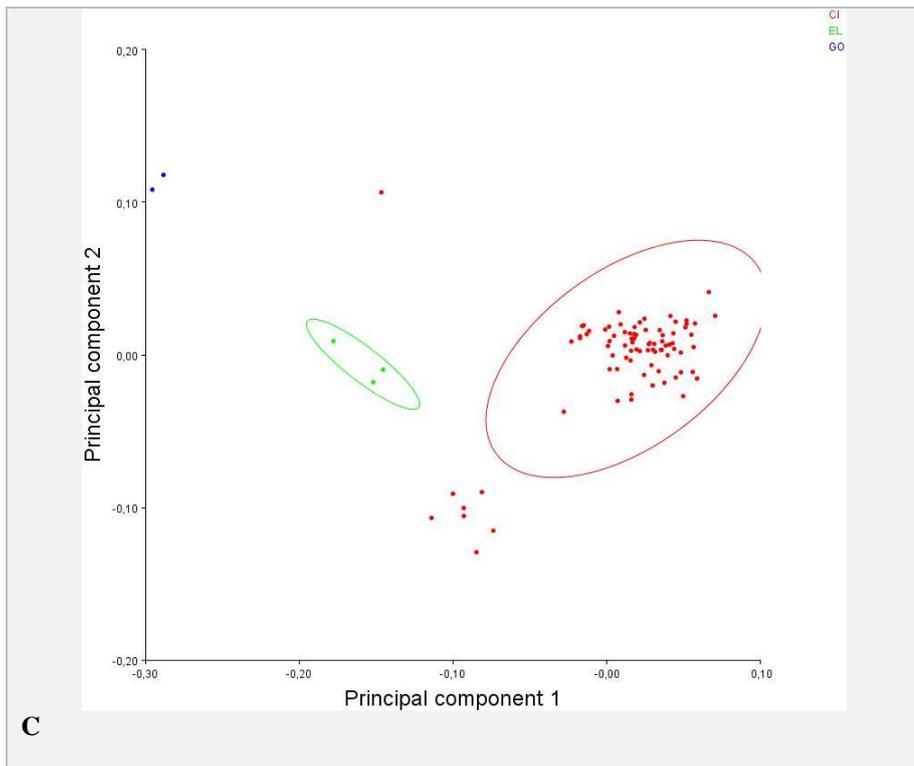
El orden Siluriforme (Figura B) presenta un solapamiento entre 5 de las 7 familias taxonómicas; mientras que la MG de las familias Trichomycteridae y Loricariidae presentan patrones diferenciados. El orden Perciformes (Figura C), presenta diferencia morfológica entre las tres familias analizadas: Cichlidae (CI), Eleotridae (EL) Gobiidae (GO). Los órdenes Cyprinodontiformes (Figuras D), cuenta con solo dos familias que presentaron patrones diferenciados: Poeciliidae (PO) y Rivulidae (RI). El orden Cypriniformes (Figura E) presenta una sola familia.



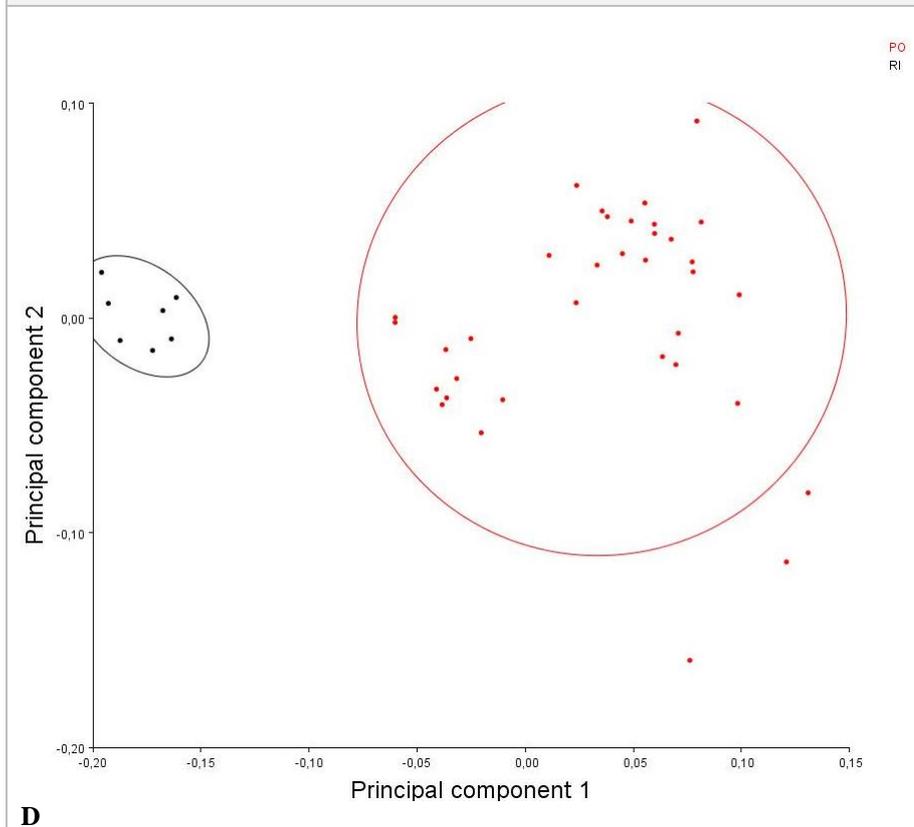
A



B



C



D

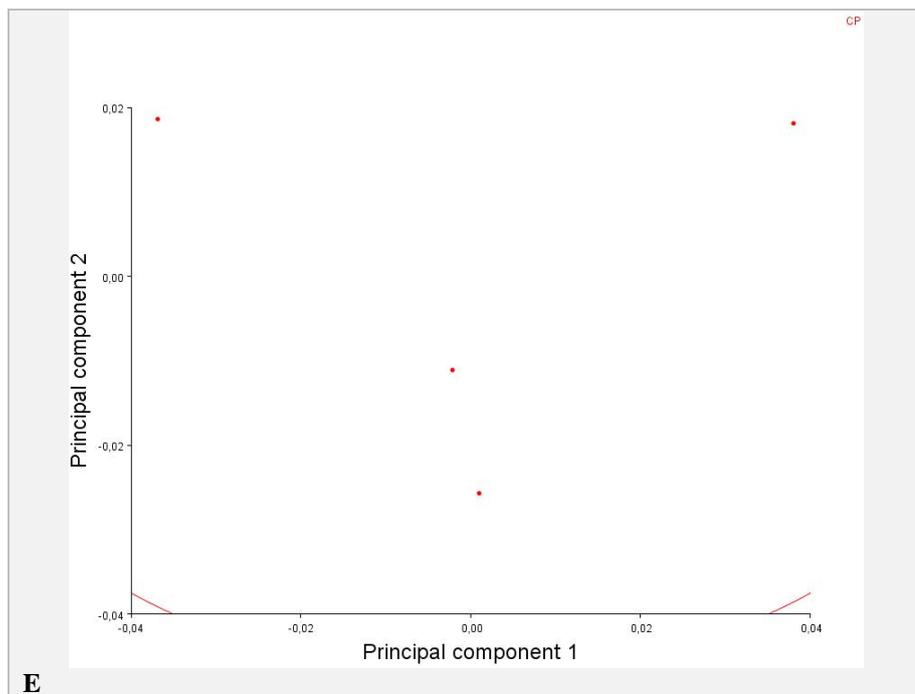


Figura 6. Cada gráfico representa el ACP de las familias que conforman los órdenes taxonómicos Characiformes (A), Siluriformes (B), Perciformes (C), Cyprinodontiformes (D), Cypriniformes (E).

CAPITULO III

DISCUSIONES

Los caracteres tomados de la colección de peces del Museo de Zoología de la Universidad del Azuay, han sido el inicio de los estudios de la morfometría geométrica de la colección que representa una fracción considerable de 951 individuos de 104 especies de la diversidad total el país; sabiendo que el Ecuador cuenta con un total de 951 contando con 120 especies intermareales, 12 especies introducidas y 819 especies primarias (estrictamente de agua dulce) (Barriga, R., 2012).

Hay que aclarar que este estudio considera solamente las especies de la colección de peces de la UDA, por lo que podemos ver que la Riqueza de algunos sectores no está bien representado como es el caso del sector biogeográfico Napo- Curaray que es muy inferior a los demás sectores biogeográficos, ya que es sabido que esta zona presenta una alta diversidad de peces como lo demuestra los estudios realizados por Stewart et al. (1987), que reportó más de 250 especies en el sistema Napo Curaray.

El uso de la MG es una herramienta que permite cuantificar la forma pura de los objetos de interés, entre la relación de sus partes. Siendo los programas como: tps (dig y util) y MorphoJ herramientas que han ayudado a potencializar el estudio de la morfología y cambiando de esta manera el estudio de la morfometría tradicional que carece del estudio de la forma completa de los organismos. Hay que mencionar que este trabajo de tesis exploró los patrones de MG a nivel de orden con la colección de peces de la Universidad del Azuay, el mismo tiene un gran potencial para realizar estudios a nivel de especies y relacionar estas con otras ambientales o de disturbio.

El análisis de las tres regiones continentales del Ecuador, nos demostró que en cada una se puede encontrar patrones definidos con pequeño solapamiento entre los órdenes Characiformes (CH) – Siluriformes (SI) y Characiformes – Cyprinodontiformes (CP); remarcando que en la región Litoral (LI), los patrones se encuentran con un mayor porcentaje de solapamiento, es decir, los patrones de los diferentes ordenes se encuentran más cerca entre si a comparación de la región Amazónica y Sierra. Se sugiere que los solapamientos y la compactación en estos órdenes se debe a condiciones ecológicas ya que las zonas biogeográficas de la región litoral son estrechas a comparación de las otras zonas o provincias (Leveque et al., 2008) estos pueden ser la causa del endemismo y especificidad de esta región, comprendiendo que la región presenta múltiples accidentes geográficos en un espacio reducido, lo que modifica y aumenta la complejidad de las variables ambientales (Jiménez-Prado *et al.* 2015).

Los patrones de MG analizados a través de ACP, se presentaron de diferente manera. Tomando como unidad el nivel taxonómico de orden, podemos manifestar que los órdenes que contaban con mayor número de familias son los que presentaron mayor solapamiento, siendo estos Characiformes y Siluriformes. Estos patrones se observaron en el análisis a nivel de las tres regiones continentales del País y las ocho regiones biogeográficas. Esto sugiere que estos ordenes comparten ciertas semejanzas morfológicas, como las que presenta el orden Characiformes a nivel de aparato bucal y escamas (Nugra *et al.*, 2018). Por otro lado, en el orden Siluriformes se caracteriza por carecer de escamas a excepción

de algunas especies que poseen placas (Reis et al., 2003) además podemos encontrar también diferencias entre sus Barbillas en su región cefálica (Nugra et al., 2018).

Los estudios sugieren que una similaridad en el espacio morfológico, puede estar relacionado con el nicho ecológico (Winemiller, 1991); Esto sugiere, en el caso de los órdenes con más especies, que están compartiendo ambientes similares; deduciendo que las especies pueden vivir en microhábitats diferentes, pero coexistir en el mismo macrohábitat (Marín-Leyva, et al., 2019). en nuestro análisis, si bien se encontraron patrones en la MG entre los órdenes, se observó una fracción de especies que ocupan áreas con solapamientos parciales entre órdenes. Esto podría representar que las especies comparten espacios ecológicos relativamente similares, como es el caso encontrado en los Characiformes – Siluriformes y Characiformes – Cyprinodontiformes en las tres regiones del Ecuador y en los sectores biogeográficos; siendo esto más marcado en la región Costa.

Los rasgos de la MG están relacionados con hábitos, funciones y características ecológicas de los nichos que habitan las especies (Marín-Leyva, et al., 2019; Winemiller, 1991). Por lo que es factible detectar y relacionar las especies con ambientes o roles tróficos similares o diferentes. Si bien el análisis realizado a nivel de todas las especies que conforman las familias de cada orden fue amplio y en muchos casos no se encontraron patrones marcados, en ciertas familias si se logró identificar patrones bastante marcados que se diferencian claramente. Lo que sugiere que ciertos órdenes y familias ocupan nichos específicos. Este puede ser el caso de las Familias del orden Siluriformes (Figura 6, B): Trichomyteridae (TR) y Loricariidae (LO) que presentan patrones de MG bien diferenciados entre estas y de las demás familias del orden. Por ejemplo, Trichomyteridae carecen de barbillas mentonianas y presentan dos pares de barbillas maxilares (Nelson, 2006); estos organismos son bentopelágicos, poseen hábitos nocturnos; en el día se esconden en cuevas, debajo de piedras, troncos y vegetación ribereña (Pinna y Wosiacki, 2003), mientras Loricariidae la barbilla puede estar presente o ausente en esta familia (Nelson, 2006) presenta una boca ventral con labios grandes, formando un disco de adhesión (Buckup et al., 2014); es una familia netamente bentónica (Jimenez Prado et al., 2015). Esto hace evidente una diferencia en el cuerpo entre las familias analizadas de este orden. Otro caso de un patrón bastante diferenciado y que podría confirmar lo mencionado, es el caso del orden Cypriniformes que en este estudio solo contó con una especie introducida en el sector Sur de la Cordillera Oriental y en el Ecuador (Jiménez-Prado et al. 2015), es decir proviene de un ambiente e historia evolutiva diferente al de otras especies del sector mencionado, por lo que posiblemente es la causa de esta diferencia muy marcada.

CONCLUSIÓN

En este estudio, se logró levantar la información de MG (fotografías y landmarks) de 985 individuos de 104 especies de peces de la colección de la Universidad del Azuay, que constituye una importante muestra de la diversidad de peces de agua dulce del Ecuador. De esta manera pretendemos contribuir con nueva información para realizar estudios especializados de tipo taxonómico, ecológico o biogeográfico.

Por otro lado, esta información puede ser utilizada para programas de monitoreo y relacionar efectos adversos provenientes de la degradación de ecosistemas por actividades humanas, toda vez que se ha comprobado que estos efectos adversos pueden causar modificaciones en la forma del cuerpo de los peces, creándose metapoblaciones (Ardón 2020). Para lo cual sería necesario enfocarse en las especies vulnerables o afectas.

La colección proviene de diferentes proyectos por lo que cada región analizada no tiene el mismo esfuerzo de muestreo y algunas regiones no tienen una muestra significativa de la verdadera diversidad. Lo que sería importante tomar en cuenta para completar la información de la base de datos generada.

El análisis exploratorio realizado en este trabajo logró identificar patrones de MG a nivel de orden, lo que manifiesta el potencial de la información levantada para avanzar hacia futuros estudios. Sin embargo, entre algunos órdenes se identificaron, a través de los gráficos del ACP, traslapes de ciertas fracciones del área de MG, sobre todo en los órdenes que presentan más especies. por lo que sería necesario iniciar estudios que traten de explicar cuáles son los factores que estaría influenciado este traslape en los patrones de MG de las especies.

REFERENCIAS

- Adams DC, Rohlf FJ, Slice DE. (2013). A field comes of age: geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix* 24 (1): 7-14
- Aguirre, W. y Jiménez-Prado, P. (2018). Guía práctica de Morfometría Geométrica. Aplicaciones en la Ictiología. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE). Esmeraldas, Ecuador. pg. 15- 24
- Ardón Betancourt, D. A. (2020). Variación en forma de cuerpo inferida a través de morfometría geométrica, en vieja maculicauda, un pez cíclido de amplia distribución (Master's thesis, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas).
- Barriga, R. (2012). Lista de peces de agua dulce e intermareales del Ecuador. *Politécnica* 30(3):83-119
- Bower, L. M., & Piller, K. R. (2015). Shaping up: a geometric morphometric approach to assemblage ecomorphology. *Journal of fish biology*, 87(3), 691-714.
- Bravo Quiñónez, G. C. (2018). Morfometría geométrica en peces de la colección CEMZ-EGA-PUCESE procedentes de la cuenca baja del río SANTIAGO-Cayapas en los años 2012-2017. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas Esmeraldas.
- Buckup, P. A., Ribeiro de Britto, M., Souza-Lima, R., Coimbra, J., Villa-Verde, L., Ferraro G. A., Ki-lesse, F. L., y Rodrigues, J., (2014). Guía de Identificação das espécies de peixes da Bacia do Rio das Pedras. Río de Janeiro, Brasil: The Nature Conservancy.
- de Pinna, M., y Wosiacki, W. (2003). Family Trichomycteridae (pencil or parasitic catfishes). En R. E. Reis., S. O. Kullander., y C.J. Ferraris. (Eds), Checklist of the Freshwater Fishes of South and Central America. Porto Alegre, Brasil: EDIPUCRS: 279-330
- Franssen, N. R., Goodchild, C. G., & Shepard, D. B. (2015). Morphology predicting ecology: incorporating new methodological and analytical approaches. *Environmental Biology of Fishes*, 98(2), 713–724. doi:10.1007/s10641-014-0306-z
- Galeas, R., Guevara, J. E., Medina-Torres, B., Chinchero, M. Á., & Herrera, X. (2013). Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental. Ministerio de Ambiente del Ecuador.
- Helfman GS, Collette BB, Facey DE, Bowen BW. (2009). *The Diversity of Fishes Second Edition*. John Wiley & Sons LTD, RU
- Jiménez-Prado, P., W. Aguirre, E. Laaz-Moncayo, R. Navarrete-Amaya, F. Nugra-Salazar, E. Rebolledo-Monsalve, E. Zárate-Hugo, A. Torres-Noboa & J. Valdiviezo-Rivera. (2015). Guía de peces para aguas continentales en la vertiente occidental del Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE); Universidad del Azuay (UDA) y Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN) del Instituto Nacional de Biodiversidad. Esmeraldas, Ecuador. Pg 66
- Jiménez-Prado, P., & Aguirre, W. (2020). Varicación corporal paralela en peces de dos ríos costeros del Chocó ecuatoriano. *Biología Tropical*, 45-59.
- Leveque, C., T. Oberdorff y D. Paugy. (2008). Global Diversity of fish (Pisces) in freshwater. *Freshwater animal diversity assessment. Hydrobiologia* 595: 545-567
- Marín-Leyva, A. H., Alberdi, M. T., García-Zepeda, M. L., Ponce-Saavedra, J., Schaaf, P., Arroyo-Cabrales, J., & Bastir, M. (2019). Morfometría geométrica en elementos óseos postcraneales de los caballos del Pleistoceno tardío en México: implicaciones taxonómicas y ecomorfológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 36(2), 195-206.
- Meyers, P. J., & Belk, M. C. (2014). Shape variation in a benthic stream fish across flow regimes. *Hydrobiologia*, 738(1), 147-154.

- Meyer A. (1987). Phenotypic plasticity and heterochrony in *Cichlasoma managuense* (Pisces, Cichlidae) and their implications for speciation in cichlid fishes. *Evolution* 41(6): 1357-1369
- Muschick, M., Indermaur, A., & Salzburger, W. (2012). Convergent evolution within an adaptive radiation of cichlid fishes. *Current biology*, 22(24), 2362-2368.
- Nelson, J., (2006) *Fishes of the world*. Fourth Edition. Hoboken, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- Nugra F., Abad D., & Zárate E. (2018). *Guía de Peces del Alto Nangaritza*. Universidad del Azuay. Cuenca – Ecuador, 12 – 60.
- Pourrut, P. (1983). *Los Climas del Ecuador – Fundamentos explicativos*. Orstom. Quito, Ecuador.
- Ramler, D., Palandačić, A., Delmastro, G. B., Wanzenböck, J., & Ahnelt, H. (2016). Morphological divergence of lake and stream Phoxinus of Northern Italy and the Danube basin based on geometric morphometric analysis. *Ecology and evolution*, 7(2), 572-584.
- Ron, S. R. 2020. Regiones naturales del Ecuador. BIOWEB. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Disponible en <<https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/RegionesNaturales>> Consulta: 31 de enero 2019
- Reis, R., Kullander, S., y Ferraris, C. J., (2003) *Check list of the freshwater fishes of South and Central America*. Porto Alegre, Brasil: EDIPUCRS.
- Simberloff, D., y T. Dayan. (1991). The guild concept and the ecological communities. *Annual Reviews Ecology and Systematics* 22:115-143.
- Stauffer Jr JR, Van Snik Gray E. (2004). Phenotypic plasticity: its role in trophic radiation and explosive speciation in cichlids (Teleostei: Cichlidae). *Animal Biology* 54(2): 137-158
- Stewart, D., Barriga, R., & Ibarra, M. (1987). *Ictiofauna de la cuenca del Río Napo, Ecuador Oriental: lista anotada de especies*.
- Swenson, N. G. (2014). *Functional and phylogenetic ecology in R* (pp. 64-75). New York: Springer.
- Toro Ibacache, M. V., Manriquez Soto, G., & Suazo Galdames, I. (2010). Morfometría geométrica y el estudio de las formas biológicas: de la morfología descriptiva a la morfología cuantitativa. *International Journal of Morphology*, 28(4), 977-990.
- Wimberger PH. (1991). Plasticity of jaw and skull morphology in the neotropical cichlids *Geophagus brasiliensis* and *G. steindachneri*. *Evolution* 45 (7): 1545-1563
- Wimberger PH. 1992. Plasticity of fish body shape. The effects of diet, development, family and age in two species of *Geophagus*. (Pisces, Cichlidae) *Biological Journal of the Linnean Society* 45: 197-218
- Winckell, A., Zebrowski, C., & Sourdat, M. (1997). 2. *Las regiones y paisajes del Ecuador*.
- Winemiller, K.O. (1991). Ecomorphological Diversification in Lowland Freshwater Fish Assemblages from Five Biotic Regions. *Ecological Society of America*, 61(4), 343–365.
- Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD. (2012). *Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer Second Edition*. Elsevier Academic Press, New York.
- Zelditch, M. L.; Swiderski, D. L.; Sheets, H. D. & Fink, W. L. (2004) *Geometric Morphometrics for Biologists. A Primer*. London, Elsevier.