



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Biología, Ecología y Gestión

Riqueza de rasgos morfo-funcionales de la colección de peces de la
Universidad del Azuay.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Biólogo
con mención en Ecología y Gestión

Autor:

Xavier Fernando Pino Ordóñez

Director:

Blgo. Edwin Javier Zárate Hugo MSc.

Cuenca, Ecuador

2019

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Cesar y Catalina quienes me han apoyado en esta larga carrera universitaria, a mi abuela Aida, a mis compañeros y a mis profesores quienes me han apoyado y guiado para lograr dar este importante paso en mi vida

Xavier F. Pino

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por permitirme culminar esta carrera, dándome la capacidad y la voluntad.

A mis padres por el apoyo en toda circunstancia

A mi director de tesis Mgt. Edwin Zárate por apoyarme y guiarme eficazmente en la realización de este proyecto de investigación

A Freddy Nugra por el esfuerzo para el aporte a la colección de peces del Museo de Zoología de la Universidad del Azuay que fue la fuente de datos para este trabajo

A Vinicio Santillán por el apoyo en el uso del software estadístico

A mis compañeros de laboratorio.

Xavier F. Pino

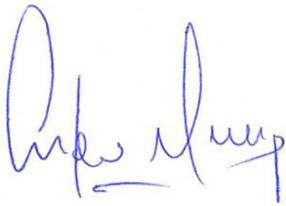
INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
INDICE DE CONTENIDO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL:	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	3
CAPITULO I	4
METODOLOGÍA	4
<i>Obtención de datos de la colección</i>	4
<i>Análisis de Datos</i>	6
CAPITULO II	9
RESULTADOS	9
<i>Composición taxonómica de la colección</i>	9
<i>Espacio funcional total ocupado por las especies de la colección ictiológica de la Universidad del Azuay</i>	11
<i>Espacio funcional por vertientes</i>	13
<i>Espacio Funcional por órdenes</i>	14
<i>Espacio funcional ocupado por familias</i>	15
<i>Espacio funcional ocupado por órdenes y por vertiente</i>	16
CAPITULO III	19
DISCUSIÓN Y CONCLUSION	19
<i>DISCUSION</i>	19
<i>CONCLUSION</i>	24
REFERENCIAS	25
ANEXOS	29

RESUMEN

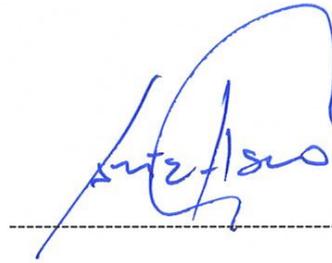
En este estudio se realizó la medición de los caracteres morfofuncionales de los peces del MZUA para establecer las diferencias de la riqueza funcional entre las vertientes oriental y occidental. Se generó una base de datos y se procedió, a través de AGP, determinar el área que ocupa la riqueza funcional, los diferentes órdenes y familias de la colección. Se encontró que existe mayor ocupación del espacio funcional en la región amazónica que en la región costanera tanto a nivel de órdenes como de familias. Estos hallazgos abren paso para nuevas preguntas sobre la diversidad funcional de los peces del Ecuador.

Palabras clave: Morfofuncional, riqueza funcional, carácter morfológico, diversidad de peces.



Antonio Manuel Crespo Ampudia, PhD

Director de la Escuela de Biología



Blgo. Edwin Javier Zárate Hugo

Director de tesis



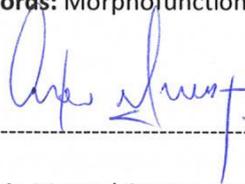
Xavier Fernando Pino Ordoñez

Autor:

ABSTRACT

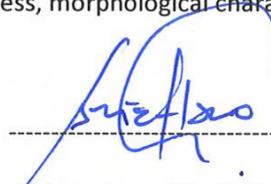
In this study, the morphofunctional characteristics of MZUA fish were measured to establish differences in functional richness between the eastern and western springs. Through AGP, a database was generated and the area occupied by functional richness, the different orders and families of the collection were determined. It was found that there is greater occupancy of functional space in the Amazon region than in the coastal region at both levels of orders and families. These findings open the way for new questions about the functional diversity of fish in Ecuador.

Keywords: Morphofunctional, overlap, functional richness, morphological character.



Antonio Manuel Crespo Ampudia, PhD

Biology Faculty Director



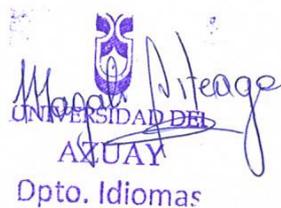
Edwin Javier Zárate Hugo

Thesis Director

Author:



Xavier Fernando Pino Ordoñez



Translated by
Ing. Paúl Arpi

INTRODUCCION

La diversidad taxonómica ha sido, en general, el indicador mayormente utilizado para estimar del estado de conservación de los ecosistemas (Desrochers & Anand, 2003); sin embargo, las recientes aproximaciones a la estimación del estado de conservación y salud de los ecosistemas basadas en la diversidad funcional, han demostrado ser también una herramienta útil para determinar cambios en los mismos (Chillo, Anand, & Ojeda, 2011; Mouillot, Graham, Bellwood, & Mason, 2013).

La funcionalidad de un organismo hace referencia al rol o función que desempeña el mismo en el medio en el que vive (Nock, Vogt, & Beisner, 2016), de manera que la funcionalidad esta siempre relacionada con aspectos biológicos de dicho organismo tales como el metabolismo, la morfología, el comportamiento entre otros (Wainwright, 1988); sin embargo, este término actualmente ha sido sujeto de variaciones en cuanto a su concepto (Violle, Navas, Vile, Kazakou, & Fortunel, 2007), debido a que algunos autores han realizado aplicaciones de este concepto en la investigación a nivel de poblaciones e incluso de ecosistemas (Jax & Setälä, 2016).

Por su parte la riqueza funcional hace referencia al espacio funcional definido por una comunidad (Villéger, Mason, & Mouillot, 2008). Este espacio se estima en función de la distancia euclidiana existente entre los caracteres funcionales seleccionados de las especies que comprenden dicha comunidad. Existen también otros índices para la estimación de la diversidad funcional tales como la divergencia y la equidad para los cuales se incluye el criterio de abundancia además de la riqueza de especies (Villéger et al., 2008).

Para fines del presente estudio a la funcionalidad se la ha relacionado con la morfología, de modo que el termino morfofuncional hace referencia a aquellas características morfológicas de un organismo que le permiten desempeñarse y cumplir una función en el medio en el que vive (Dullemeijer, 1980; Wainwright, 1988). Dentro de este marco existen clasificaciones basadas plenamente en la funcionalidad para definir una comunidad biológica (Lavorel, McIntyre, Landsberg, & Forbes, 1997), en las cuales no se incluyen la clasificación taxonómica como la base para dichas estimaciones.

Se han realizado estudios en donde se evidenciaron asociaciones ecológicas entre la morfología de varios grupos biológicos y su funcionalidad. Por ejemplo, en los peces, aquellos que viven en ambientes de aguas lenticas y rápidas tienen formas más adaptadas a la velocidad y el desplazamiento a través de fuertes corrientes fluviales los cuales cuentan con cuerpos alargados y más estrechos en el plano horizontal (Brinsmead & Fox, 2002; Guisande et al., 2012), mientras que, otras especies se han adaptado para vivir en el lecho por lo cual tienen una morfología más propia para este medio, por ejemplo, poseen aletas con adaptaciones para la tracción (Polgar, Sacchetti, & Galli, 2010), la fijación y escalada de

pendientes (Hoese, Addison, Toulkeridis, & Ili, 2015) y el nado raso sobre el lecho (Hoover, Murphy, & Killgore, 2014). De manera que los caracteres morfofuncionales nos proporcionan información sobre las diferentes capacidades que tienen los organismos para poder desempeñarse en su medio (Violle et al., 2007) y en consecuencia es potencialmente un indicador del estado en el que se encuentra un ecosistema (Mouillot et al., 2013; Pouilly, Lino, Brenenoux, & Rosales, 2003). Estas estimaciones pueden realizarse para medir cambios en los rasgos morfofuncionales de una comunidad tanto a escalas espaciales como temporales (Pease, González-Díaz, Rodiles-Hernández, & Winemiller, 2012), como, por ejemplo, en el caso de algunas especies oceánicas en las cuales la sobrepesca ha ocasionado una reducción en el tamaño promedio de los individuos, y por ende la variación en su diversidad y espacio funcionales, lo cual tiene repercusiones en el resto del ecosistema en el cual habitan (Audzijonyte et al., 2013).

Sin embargo, los efectos de la modificación del hábitat pueden ser también de origen natural, y 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. Dentro de este marco, el levantamiento de la cordillera de los andes al final del eoceno tardío dejó a muchas poblaciones de peces aisladas en la región del choco y de lo que actualmente es la región costa del Ecuador (Caballero, Parra, & Mora, 2010; Hammen, Werner, & Dommelen, 1973), de modo que este aislamiento permanente ocasionó que muchas especies empiecen in proceso diversificación y endemismo conservando cierta similitud con aquellas que continuaron habitando la región de la cuenca del Amazonas (Maldonado-Ocampo et al., 2005). Se ha encontrado evidencia de que recientes aislamientos de poblaciones de peces en la región del choco han generado ya una separación genética entre las mismas (Maldonado-Ocampo et al., 2012), por lo que es de importancia estimar en qué medida se asemejan o diferencian los espacios funcionales ocupados por los peces en el Ecuador ya que las regiones de las que provienen están fuertemente separadas por la cordillera de los Andes central.

En el Ecuador existen alrededor de mil especies de peces de agua dulce (Jiménez et al., 2015) de las cuales más de la mitad se encuentran en la región amazónica (Stewart, Barriga, & Ibarra, 1987); sin embargo su biología y su ecología aún no se han explorado exhaustivamente y aunque se han descubierto nuevas especies y realizado descripciones de las mismas, así como también investigaciones sobre su diversidad y su ecología de manera puntual (Barriga, 2011). De modo que a este campo de investigación se le podría oportunamente incluir estudios sobre su diversidad funcional, aspecto sobre el cual los estudios aún son muy escasos.

Los datos obtenidos para este estudio son a partir de muestras procedentes de ambas regiones biogeográficas del país y ya que en un inicio se pretende estimar el espacio de la riqueza funcional total ocupado por todas las especies de la colección, al ser estas procedentes de regiones completamente separadas por la cordillera de los Andes, es necesario saber en

qué medida se asemeja o diferencia la riqueza de los caracteres morfofuncionales de las especies de estas dos vertientes

Por lo mencionado, este estudio pretende responder la pregunta ¿Cómo varía la riqueza de caracteres morfofuncionales de la colección de peces de la Universidad del Azuay entre las regiones occidental y oriental de Ecuador?

OBJETIVOS

Objetivo general:

Estimar el espacio que ocupa la riqueza funcional de los peces presentes en la colección del Museo de Zoología de la Universidad del Azuay (MZUA), a nivel general y por las vertientes oriental y occidental

Objetivos específicos:

- Generar una base de datos de rasgos morfo-funcionales.
- Determinar la variabilidad en la diversidad de caracteres morfo-funcional de las familias de peces de la colección de la Universidad del Azuay

CAPITULO I

METODOLOGÍA

Obtención de datos de la colección

Los caracteres morfo-funcionales de los peces, se obtuvieron a partir de especímenes de la colección ictiológica del MZUA, los cuales fueron colectados en diferentes cuencas hidrográficas dentro del territorio Ecuatoriano, que a su vez forman las vertientes oriental y occidental de la cordillera de los Andes.

Para la obtención de estos datos se procedió a la obtención de los caracteres basándose en los criterios propuestos por Willemner (1991) y Pease (2012) y de esta manera establecer cuáles serían relevantes, mientras que para su obtención se recurrió al protocolo y metodología propuesto por J. Zambuido, J. Maldonado y E. Herrera (2016), estos caracteres comprenden las siguientes medidas (ver tabla 1), cada uno de estos caracteres está asociado con diferentes formas de vida de cada especie, unos se asociación la movilidad, otros con el uso de hábitat, otros con la alimentación y existen algunos que están asociados a más de una función.

Tabla 1. Descripción de los caracteres morfofuncionales obtenidos.

Rol	Definición	Símbolo	Significado
Alimentación	Asociado a las diferentes formas de alimentación en el hábitat y al gremio trófico que ocupan	HEAL	Longitud de la cabeza
		HEAD	Alto de la cabeza
		EYED	Posición del ojo en el plano horizontal
		MOUPO*	Posición de la boca con respecto al plano horizontal
		MOUW	Ancho de la boca
		SNTL	Longitud de la boca
Locomoción	Asociado la forma de desplazamiento en la columna de agua	DORH	Alto de aleta dorsal
		DORL	Largo de aleta dorsal
		CAUL	Largo de aleta caudal
		CAUH	Ancho de aleta caudal
Locomoción, Uso de hábitat	Asociado al uso de hábitat, por ejemplo su ocupación espacial de la columna de agua así	BODD	alto máximo del cuerpo
		BODW	ancho máximo del cuerpo
		PEDL	Longitud del pedúnculo caudal
		PEDD	Alto del pedúnculo caudal

	como también otras actividades como la transformación del hábitat y otros usos	PEDW BDBM PECL PECH PELVL ANAH ANAL	Ancho del pedúnculo caudal Distancia de la línea lateral al vientre Alto de aleta pectoral Largo de aleta pectoral Alto de aleta pélvica Largo de aleta anal Alto de aleta anal
Uso del hábitat	Asociado al uso de hábitat según el tamaño por ejemplo, espacios grandes o reducidos, con obstáculos o espacios abiertos	MSL EYEP	Longitud máxima estándar Posición del ojo en el plano vertical

* Este carácter es de tipo cualitativo, tiene que ver con la posición de la boca del individuo con respecto al plano horizontal, los demás caracteres son de tipo cuantitativo los cuales se estimaron en milímetros

Para obtener las medidas de cada uno de estos caracteres se utilizó un calibrador de Vernier ajustado a 0,01 mm, pero en el caso de los especímenes de mayor tamaño, para medir la (MAXL) se utilizó un flexómetro metálico y el resto de caracteres se midieron igualmente con el calibrador, consiguiendo estos datos se fueron insertando en una hoja de cálculo de Excel, se los midió primero los que estaban con la respectiva codificación y de allí se midió un máximo de cuatro especímenes por cada una de las especies presentes en cada recipiente de preservación.

En el caso de existir muchos individuos de una misma especie se procuraba tomar a los de mayor tamaño y que sean lo más similares entre sí, obteniendo los datos a partir de un máximo de cuatro individuos por especie y un mínimo de 1, evitando en lo posible, aquellos que lucían relativamente juveniles y de menor tamaño o con características atípicas para dicha especie. En el caso de no existir más opciones para escoger, es decir que el número de individuos era cuatro o inferior, se obtenían los datos de todos los individuos existentes incluyendo aquellos que eran de características disimiles al espécimen de referencia. Cabe resaltar también que algunas mediciones fueron estimadas en base a otros especímenes dado que, por ejemplo, existían individuos cuyas aletas estaban incompletas o ausentes por lo que en este caso se recurrió a los especímenes pares o incluso a la literatura e imágenes de la especie y proyectar el tamaño que tendría dicho carácter proporcionalmente al tamaño del mismo (Sambilay, 1990). Hubo también individuos que no presentaban ciertos caracteres siendo esto propio de la especie como por ejemplo los de los órdenes Gymnotiformes y Symbranchiformes los cuales carecen de algunos órganos de locomoción como las aletas dorsales, pélvicas, eran de tipo vestigial o simplemente estaban completamente ausentes en este caso en la columna donde se registraba este dato se introdujo un valor nulo sería reemplazado por el valor de cero.

Análisis de Datos

Para el análisis de los datos primeramente se procedió a generar una tabla dinámica en Excel, una vez escogidos los datos se pasó a obtener el promedio de los valores de los caracteres morfofuncionales por individuo dentro de cada especie, de esta manera se logra homogenizar las medidas. Esto se realizó debido a que se tomaron de hasta cuatro individuos por especie y dado que no se disponía de ese número para todas las especies, ya que en determinadas ocasiones se disponía de un solo individuo por especie, se propició obtener el promedio de las medidas de cada rasgo morfológico por especie, así también habían veces en que se presentaban diferencias en cuanto a las dimensiones de los caracteres morfológicos, esto asociado principalmente a las diferencias entre clases etarias; sin embargo en la mayoría de las ocasiones la variación de las medidas de los caracteres entre individuos no era muy alta, por lo tanto se tuvo que obtener también el promedio en estos datos, que no exhibían mayor diferencia, por motivos de estandarización del método, y de esta manera reducir el sesgo que podría producirse dada esta condición. Una vez organizados los datos de esta manera, se procedió a realizar el análisis estadístico en el programa R Studio versión 1.0.143. (RStudio Team, 2016).

Para encontrar la riqueza funcional primero se procedió a cargar los datos del archivo de Excel en R y una vez realizado este procedimiento se procedió a realizar un escalamiento de datos, esto se logró obteniendo la relación proporcional entre el largo total del cuerpo del pez (MAXL) y el resto de caracteres morfológicos, para encontrar esta relación se obtiene al dividir cada uno de los caracteres morfológicos para MAXL, de manera que este carácter no se incluyó en los análisis de datos para definir el espacio ocupado por la riqueza funcional y el resto de caracteres para de esta manera mantener un estándar en cuanto a la morfología y también poder asociar mejor los análisis a la realidad morfológica de cada especie. Luego se realizó un análisis de coordenadas principales (ACoP) para esto se utilizó el paquete (ape) (Paradis E., Claude J. & Strimmer K., 2004) en el cual se encuentra la función (pcoa), esta función permite encontrar los caracteres que más explican la variación, el cual consiste en la estimación de la distancia euclidiana entre los caracteres morfofuncionales obtenidos a partir de cada una de las especies. Luego esta función analiza la descomposición de las coordenadas principales en una matriz de distancia lo que nos permite simplificar el análisis en un campo multidimensional. En este caso se calculó la matriz de las distancias entre los 23 caracteres morfológicos medidos de cada especie presente en la colección (Legendre, 1986).

Luego para encontrar el nivel de influencia de los caracteres se procedió a utilizar la función (envfit) dentro del paquete (vegan) (Jari Oksanen, et al., 2017), la cual nos permite ordenar los vectores obtenidos a partir del ACoP; luego, con esta función se realizó el análisis por cada eje de coordenadas de manera independiente de esta manera se pudo constatar el nivel de correlación que tienen cada uno de los caracteres con el nivel de explicación de la variación por

cada eje y de esta manera poder observar cual sería el rasgo morfológico que más influía en la variación dentro de los ejes principales obtenidos una vez realizado el análisis

Sin embargo aunque el análisis utiliza vectores dado que es un algoritmo lineal, y de igual manera se genera una matriz de distancias, a los datos que se analizaron por vertiente se los organizaron como matrices separadas, para esto se utilizó la función (matrix) (Becker, R. A., Chambers, J. M. and Wilks, A. R. 1988) de este modo se podía eliminar cualquier variación en la cadena de datos principal y se podía diferenciar mejor la procedencia de cada especie (este u oeste).

Una vez obtenidos los resultados del ACoP se procedió a la generación de un polígono mínimo convexo el cual representa el espacio que ocupa la riqueza de caracteres morfofuncionales en la colección. Esto fue para la obtención del espacio funcional total incluyendo todas las especies procedentes de ambas vertientes. Para encontrar el porcentaje de espacio funcional ocupado por las especies en cada vertiente se procedió a utilizar la función (área) la cual permite determinar el área de un polígono generado mediante la función (polygon) y este valor se lo convirtió a valores porcentuales mediante una hoja de cálculo en Excel de manera manual, este porcentaje representaba el área ocupada por la riqueza funcional (FRich) (Mouillot et al., 2013) en ambas vertientes.

Para separar las especies de cada vertiente se comprobó la localidad de procedencia de cada especie en la colección (este u oeste) y estos datos se los agrego en dos columnas para luego indicar con el valor de 1 (presencia) y 0 (ausencia) en la columna de datos de cada vertiente dentro de la hoja de cálculo de Excel, consiguientemente se igual manera se llamó a los datos desde R para proceder a realizar el mismo análisis ACoP y consiguiente lograr generar los espacios de la riqueza funcional ocupado por las especies en cada vertiente, una vez obtenidos estos espacios se procedió a estimar el porcentaje del espacio funcional ocupado por las especies en cada vertiente en función del espacio funcional total.

El espacio funcional ocupado por cada orden se obtuvo seleccionando los valores a partir de la tabla dinámica que se había generado en Excel y utilizando los resultados del ACoP inicial se pudo obtener las variables que más se asociaban y explicaban la variación en el espacio funcional. Luego se seleccionaron los resultados del ACoP para cada uno de los órdenes de la tabla principal y con esto se generó el espacio ocupado por cada uno de estos. Sin embargo no todas las especies contaron con el número mínimo, de al menos tres especies por orden, de manera que las matrices de órdenes con menos de tres especies no se podían ejecutar en la función (polygon) por lo que estos ordenes quedaron descartados. Una vez obtenidos cuales serían los valores que irían en los ejes del plano bidimensional se procedió a realizar el grafico del área del espacio funcional ocupado por los órdenes principales analizados.

Para estimar el espacio funcional ocupado por cada familia, se procedió de manera similar que en el análisis realizado para los órdenes, se tomó en cuenta aquellas familias que contenían un número mínimo de tres especies por familia para poder generar el espacio funcional ocupado

por cada una, por lo cual algunas familias resultaron descartadas para el análisis, luego se estimó el área total en porcentaje ocupada por cada familia en función del espacio funcional total.

Luego se realizó el análisis para la estimación del espacio funcional ocupado por cada orden y por cada familia dentro cada vertiente para lo cual se procedió a escoger los órdenes y las familias dentro de cada vertiente, para ello se realizó utilizo el ACoP inicial pero esta vez de incluyeron las matrices de vertiente en las cuales se indicaba con los valores de 1 y 0 la presencia o ausencia de especies en cada una y también se escogió de la matriz principal los datos por cada orden y familia para luego con los resultados del ACoP generar el espacio funcional ocupado por cada uno, una vez obtenidas las áreas se estimó el porcentaje que cada orden dentro de cada vertiente ocupaba en base al área total ocupada por dicho orden, esto se realizó para cada uno de los órdenes y las familias estimadas, así también se obtuvo el área de sobreposición entre los órdenes y familias de cada vertiente.

CAPITULO II

RESULTADOS

Riqueza de especies de la colección

Se obtuvieron los datos morfofuncionales a partir de un total de 1048 individuos pertenecientes a 178 especies, los órdenes con mayor número de especies en ambas vertientes fueron Characiformes y Siluriformes (Fig. 1); mientras que las familias con mayor número de especies fueron Characidae, Loricariidae, Astroblepidae y Cichlidae (Fig. 2). Estas últimas familias fueron las que dominaron en las vertientes tanto oriental como occidental, aunque dentro de la familia Astroblepidae se obtuvieron datos a partir de individuos provenientes de cuencas hidrográficas de zonas altas superiores a los 1500 msnm lo que podría incluir a regiones de ecotonos con más factores de influencia de la región andina tales como bajas temperaturas y ríos mas corrientosos.

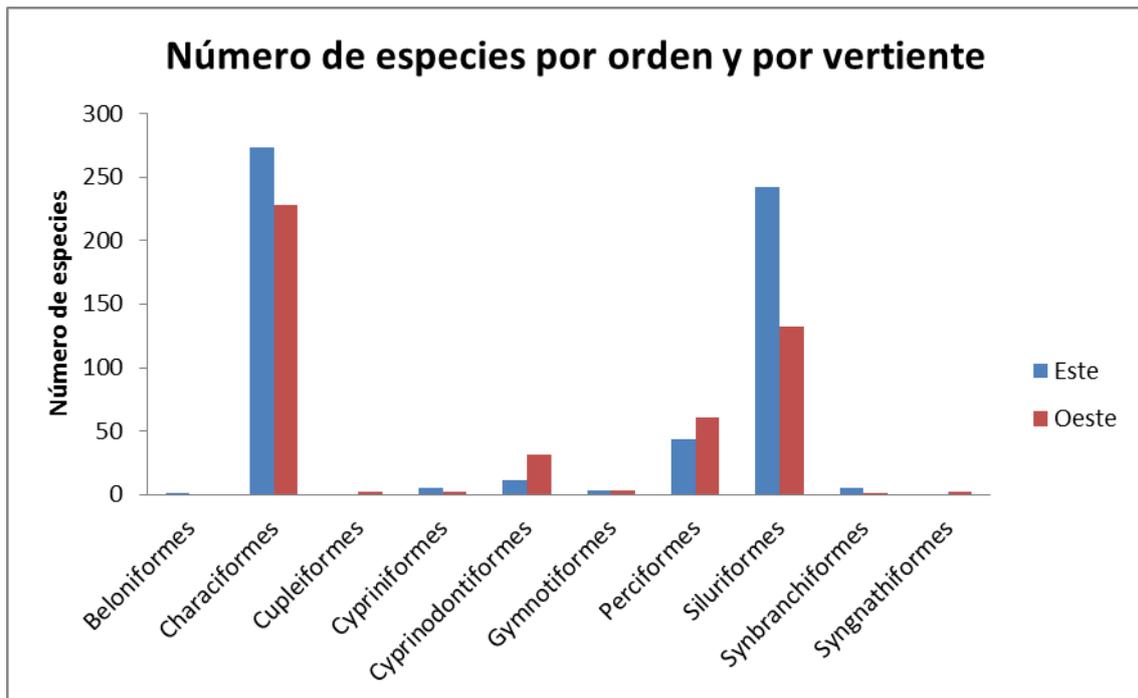


Figura 1. Riqueza total de especies por orden dentro de cada vertiente azul vertiente oriental y rojo vertiente occidental.

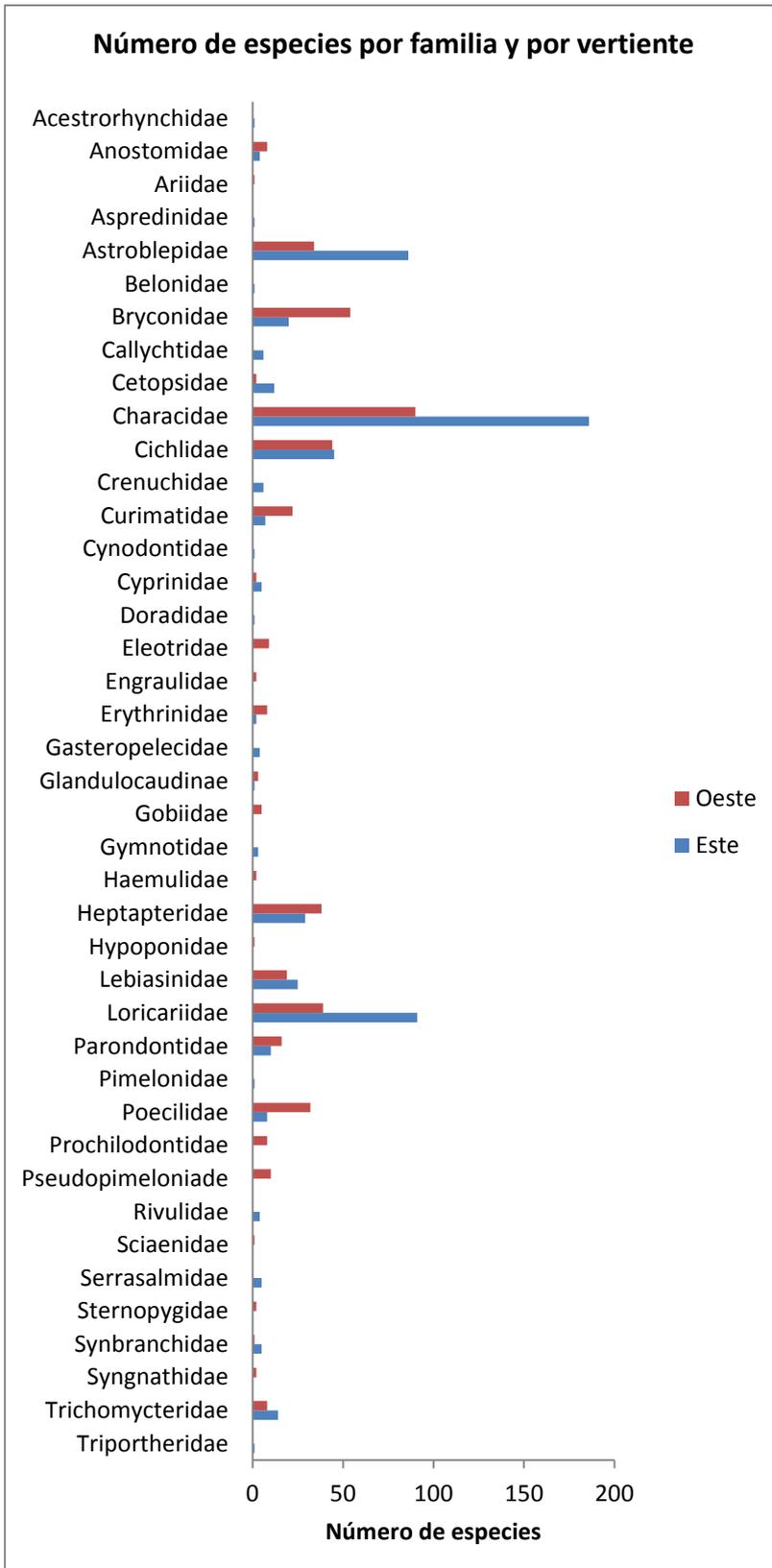


Figura 2. Riqueza total de especies por familia dentro de cada vertiente azul vertiente oriental y rojo vertiente occidental, se puede observar que en algunas familias existe mayor diferencia entre las vertientes mientras que en otras solo se ve presencia de uno de los órdenes

Las provincias de donde más provenían los especímenes fueron, Morona Santiago con el 27.9% seguido de Los Ríos con el 13.6%, Guayas con el 11% y Zamora Chinchipe con el 10.5%, en cuanto al porcentaje de especies por vertiente, de la vertiente oriental provienen el 55.8% de las especies mientras que de la vertiente occidental el 44.2%.

Espacio funcional total ocupado por las especies de la colección ictiológica de la Universidad del Azuay

Se obtuvo el espacio funcional ocupado por las especies de peces de toda la colección en términos de la riqueza de los caracteres morfofuncionales; el análisis de coordenadas principales ACoP dio como resultado que los caracteres morfofuncionales que más explicaban el espacio funcional ocupado por las especies fue el diámetro de la cabeza en sentido dorso-ventral (HEA-D) y el de la aleta anal (ANAL) con un 68% y un 12% respectivamente, dentro del gráfico del espacio funcional ocupado se observó que existían especies que tenían caracteres singulares lo cual les ubicó en los márgenes del espacio ocupado por la mayoría de especies, estas especies fueron: *S. arenatus*, *B. occidentalis*, *A. hypselonotus*, *S. marmoratus*, *P. starskii*, *Ancistrus sp.*, *C. anale*, *I. spinosissima*, *S. fasciatus*, *M. duriventre* y *C. gibbus*.

El ACoP demostró que los caracteres que más influían en la variación del espacio funcional fueron la aleta anal (ANAL) con una correlación de 0.82 y un valor de p de 0.001 lo cual indica que es un valor estadísticamente significativo con mientras que la segunda variable que más influyó en el segundo eje fue el diámetro de la cabeza en sentido dorso-ventral (HEA-D) con una correlación de 0.81 estadísticamente significativa con un valor de p de 0.001 sin embargo hubieron otros caracteres que también se encontraban en los ejes principales obtenidos a partir del ACoP los cuales tenían una menor significancia estadística en cuanto a la explicación de la variación en el espacio definido por la riqueza funcional (ver tabla 2).

Tabla 2. Nivel de influencia de cada carácter funcional, su correlación y nivel de significancia estadística. Aquí se observa el nivel de influencia de cada carácter morfológico en los dos principales ejes obtenidos a partir del análisis de coordenadas principales ACoP, también la correlación entre estos, los valores que más se acercan a la significancia estadística son HEA_D asociado al diámetro de la cabeza en sentido dorso-ventral y ANAL asociado a la longitud de la base de la aleta anal, todas estos resultados tuvieron un alto nivel de probabilidad mayor a p correspondiente a 0.001.

Caracteres	Eje 1	Eje 2	r2	Pr (>r)
BODD	0.90628	-0.42268	0.8317	0.001 ***
BODW	0.37759	0.92597	0.5984	0.001 ***
PEDL	-0.49644	0.86807	0.6128	0.001 ***
PEDD	0.81905	0.57373	0.3868	0.001 ***
PEDW	0.26880	0.96320	0.3123	0.001 ***
BDBM	0.94846	-0.31691	0.8006	0.001 ***
HEA_L	0.96493	0.26252	0.5598	0.001 ***
HEA_D	0.99757	-0.06972	0.8168	0.001 ***
EYEP	0.98075	0.19525	0.6833	0.001 ***
EYED	0.87610	0.48212	0.4775	0.001 ***
MOUW	0.42685	0.90432	0.3660	0.001 ***
SNTL	0.30114	0.95358	0.4693	0.001 ***
DORH	0.86074	0.50905	0.2322	0.001 ***
DORL	0.83647	0.54802	0.5972	0.001 ***
PECL	0.83819	0.54538	0.5262	0.001 ***
PECH	0.85184	0.52380	0.3715	0.001 ***
CAUL	0.85220	0.52321	0.6040	0.001 ***
CAUH	0.99528	0.09700	0.5176	0.001 ***
PELVL	0.67170	0.74083	0.7401	0.001 ***
ANAH	0.97191	-0.23536	0.0853	0.005 **
ANAL	0.18270	-0.98317	0.8463	0.001 ***

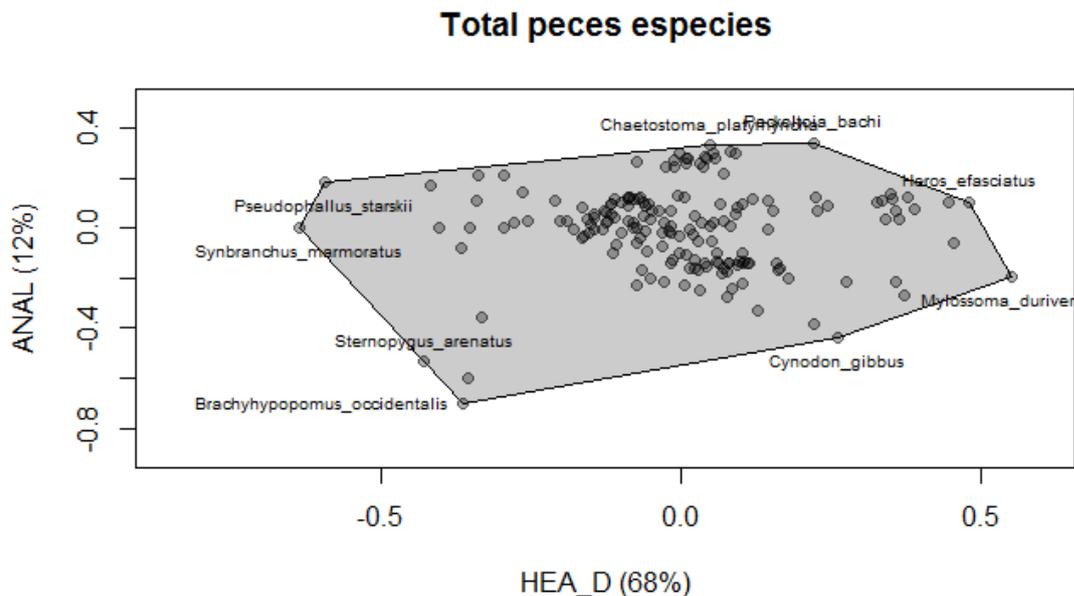


Figura 1. Espacio descrito por la riqueza de caracteres morfofuncionales de todos los peces de la colección del MZUA. En el eje de las abscisas ANAL representa la variación de la longitud de la aleta anal y en el eje de las ordenadas HEA_D, la variación del diámetro de la cabeza en sentido dorsoventral, las dos variables explican el 12% y el 68% de la variación respectivamente, de igual manera se observa que existe mayor variación a lo largo del eje que representa el diámetro de la cabeza en sentido dorso-ventral HEA_D.

Espacio funcional por vertientes

El espacio funcional ocupado por las especies dentro de cada vertiente (Fig. 2), fue relevante para establecer las probables diferencias entre las dos regiones. Del espacio previamente establecido, el ACoP aplicado a las vertientes evidenció que la región oriental ocupaba un espacio funcional relativamente mayor con un 94.3% del total, mientras que la región occidental ocupaba un 76.3% del espacio funcional total. También se observó que la mayor parte del espacio funcional está compartido por las especies de ambas vertientes, lo que sugiere que posiblemente exista un alto índice de similitud entre los especímenes colectados en ambas regiones, pero también se observó que existía una diferencia entre los espacios funcionales que correspondían al 32.3% del espacio funcional total, este cambio el espacio único ocupado por las especies en cada vertiente las cuales a su vez poseen caracteres morfofuncionales muy especializados para cada vertiente respectivamente.

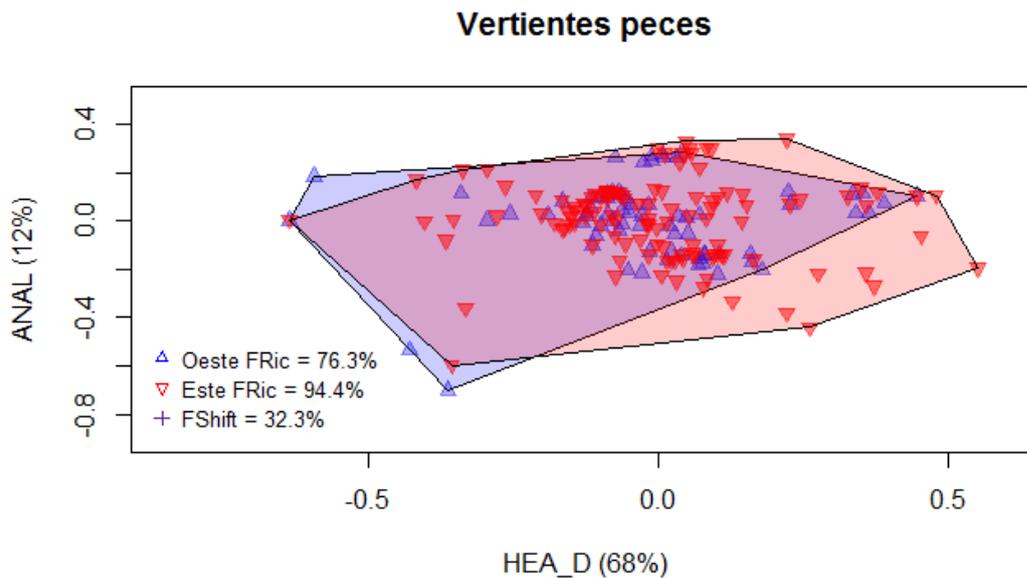


Figura. 2 Espacio funcional ocupado por las especies dentro de cada vertiente, ANAL representa la longitud de la aleta anal en la base, HEA_D representa el diámetro de la cabeza en sentido dorso-ventral. El oeste tiene una ocupación del 76.3% del espacio funcional total (ver figura 1) mientras que el este un 94.4%, el cambio entre las dos vertientes es del 32.3%, esto hace referencia a las zonas que no se encuentran compartiendo los espacios funcionales de cada vertiente.

Espacio Funcional por órdenes

Los espacios funcionales ocupados por cuatro de los cinco órdenes principales se encontraban muy cercanos entre sí (Fig. 3), el orden *Siluriformes* ocupó el espacio funcional más grande con el 30.9%, seguido del orden *Characiformes* con el 26.9%, *Perciformes* con el 8.3% y *Cyprinodontiformes* con el 0.4%, el orden *Perciformes* se halló compartiendo el espacio funcional con los órdenes *Characiformes* y *Siluriformes*, sin embargo los del orden *Gymnotiformes* el cual ocupaba el 1.7% del espacio funcional, se encontró alejado del resto de órdenes analizados.

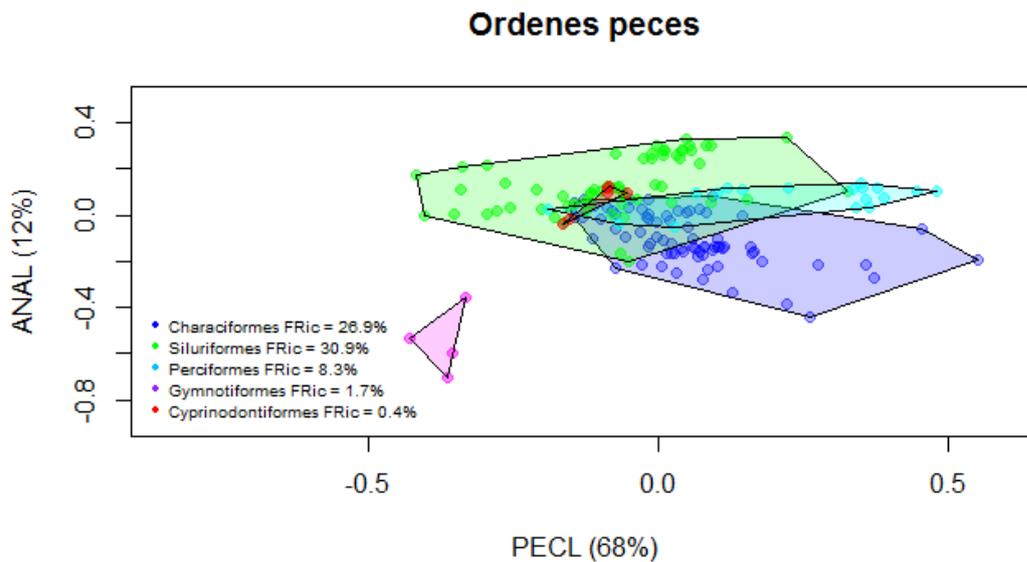


Figura 3. Espacio funcional ocupado por órdenes, esto hace referencia al espacio funcional ocupado por los principales órdenes presentes en la colección, sus porcentajes se obtuvieron a partir del espacio funcional total (ver figura 1.). Se puede observar la superposición entre los mismos, sin embargo el orden gymnotiformes se encuentra alejado del conglomerado.

Espacio funcional ocupado por familias

Las familias que ocuparon el mayor porcentaje del espacio funcional total (Tabla. 2) fueron *Characidae* con el 8.7% seguido de *Loricariidae* con el 6.8%, *Cichlidae* con el 2.8% y *Anostomidae* con el 1.5%. *Loricariidae* ocupaba un espacio un poco alejado de donde se encontraban agrupadas la mayoría de familias mientras que *Characidae*, aunque no muy alejada de aglomeración, sin embargo ocupada el extremo inferior, estas diferencias pueden deberse a que en ambos grupos existe mucha diferenciación a nivel morfológico y en consecuencia se evidencian diferencias en cuanto a la ocupación del espacio funcional, la variación en el eje vertical, el cual representa el largo de la aleta anal y explica el 12% de la variación, es menor que la amplitud de la variación en el eje horizontal el cual representa el diámetro de la cabeza en sentido dorso-ventral y explica el 68% de la variación en la riqueza funcional expresada como el espacio funcional ocupado por cada familia, estos espacios están calculados con relación al espacio funcional total.

Tabla 2. Porcentaje del espacio ocupado por la riqueza de caracteres morfofuncionales por cada familia (Fig. Anexo 1)

Familia	Porcentaje de riqueza funcional
Characidae	8.7%
Loricariidae	6.8%
Curimatidae	1.8%
Parodontidae	0.1%
Cichlidae	2.8%
Callychtidae	0.1%
Astroblepidae	0.9%
Trichomycteridae	0.2%
Anostomidae	1.5%
Heptapteridae	0.4%
Bryconidae	0.8%
Poeciliidae	0.4%
Serrasalminidae	0.8%
Lebiasinidae	0.1%

Espacio funcional ocupado por órdenes y por vertiente

En los espacios funcionales ocupados por cada orden (Tabla. 3) se pudo observar que el orden Characiformes ocupó el mayor espacio funcional seguido del orden Siluriformes, los órdenes Perciformes y Cyprinodontiformes ocuparon espacios más reducidos,

Sin embargo dentro del orden Characiformes, fueron los órdenes de la vertiente del este con un 100% los que ocuparon el mayor espacio funcional en relación al espacio funcional total ocupado por este orden, esto frente a las especies procedentes del oeste los cuales ocupaban un 26.7%, así también existió un sobreposición del 73.3% en la ocupación del espacio funcional entre las dos vertientes.

En el caso de los Siluriformes, los espacios eran similares en su área con un pequeño incremento en la vertiente del este de donde se encontraban ocupando el 92.3% del espacio funcional total ocupado por este orden, frente al oeste de donde ocupaban el 38.9%, el porcentaje de superposición entre las dos vertientes fue del 61.8% entre los espacios ocupados por las especies en ambas vertientes.

El orden de los Perciformes existió una leve similitud siendo las especies del oeste las que ocuparon un poco más el espacio funcional con un 87.3% del espacio funcional total ocupado por este orden, frente al espacio ocupado por las especies procedentes de la vertiente del este

con un 23.7%, sin embargo la diferencia entre las dos vertientes fue alto con un 84% del espacio funcional total.

Los Cyprinodontiformes por otro lado se observó una marcada diferencia siendo los del este los que ocuparon el mayor espacio funcional con un 31.4% del espacio funcional total ocupado por este orden esto frente al porcentaje de ocupación de las especies procedentes del oeste las cuales ocupaban el 10.5%, así como también un porcentaje de diferencia entre las vertientes del 98.9% del espacio funcional total.

Tabla 3. Porcentaje del espacio ocupado por la riqueza funcional por cada orden dentro de cada vertiente (Fig. Anexo 2)

Orden	FRic Oeste	FRic Este	FShift
Characiformes	26.7%	100%	73.3%
Siluriformes	38.9%	92.3%	61.8%
Perciformes	87.3%	23.7%	84%
Cyprinodontiformes	10.5%	31.4%	98.9%

Espacio funcional ocupado por las familias y por vertiente

El espacio funcional ocupado por cada familia dentro de cada vertiente evidenció en general una predominancia de las familias Loricariidae, Characidae y Anostomidae. Así mismo la mayoría de familias demostró tener una mayor ocupación del espacio funcional en la vertiente del este. La familia Anostomidae evidencio que la ocupación del espacio funcional no varía en gran manera entre los peces procedentes de ambas vertientes; en la vertiente del este ocupó el 84.6% del espacio funcional total ocupado por esta familia mientras que en la vertiente del oeste ocupaba el 54.9 %, sin embargo el cambio entre las dos vertientes fue del 51.8%.

La familia *Characidae* evidencio claramente una mayor ocupación del espacio funcional en la vertiente del este en comparación a la del oeste con un 17.7% de ocupación en la occidental y un 94.4% de ocupación en la oriental, el porcentaje de diferenciación entre las dos vertientes fue del 82.8%.

Proporciones similares se observaron en la familia Curimatidae que aunque no ocupaba un área significativa dentro del espacio funcional general (ver Fig. 1). Al observar las diferencias entre vertientes, las especies procedentes del este ocupaban el 27.5% del espacio funcional total ocupado por esta familia frente al 4.6% ocupado por las especies del oeste, el cambio entre los espacios ocupados en cada vertiente fue del 98.5 %.

En la familia Poeciliidae se observó que las especies procedentes del este ocuparon un mayor espacio funcional representado por el 70.8% con respecto al espacio funcional total ocupado por esta familia; frente al 10.4% de espacio funcional ocupado por las familias procedentes del

oeste, así también se observó un cambio alto entre los espacios ocupados por las especies de cada vertientes representado por el 56.7%.

La familia Cichlidae demostró tener una leve diferencia en el espacio funcional total ocupado por las especies procedentes de cada vertiente, las especies procedentes de la vertiente del este demostraron ocupar un espacio un poco mayor con el 70% del espacio funcional total ocupado por esta familia frente al 20.3% del espacio funcional ocupado por las especies procedentes de la vertiente del oeste, así también se observó un cambio entre los espacio funcionales de cada vertiente del 85%.

En la familia Astroblepidae se observó que las especies procedentes de la vertiente del este ocuparon un espacio mayor representado por el 40.6% del espacio funcional total ocupado por esta familia, frente al 69.4% del espacio funcional ocupado por las especies procedentes del oeste, así también se observó un cambio entre los espacio funcionales ocupador por las especies de cada vertiente representado por el 79.2%.

Las especies de la familia Heptapteridae procedentes de la vertiente del este demostraron ocupar un espacio funcional mayor representado por el 59.5% del espacio funcional total ocupado por esta familia frente al 8.2% del espacio funcional ocupado por las especies procedentes de la vertiente del este, también se observó que el cambio bastante alto entre los espacios funcionales ocupados representado por el 79.2%

La familia Loricariidae demostró que no había una mayor diferencia entre los espacios funcionales ocupados por las especies procedentes de cada vertiente, sin embargo el espacio funcional ocupado por las especies procedentes de la vertiente del este fue relativamente mayor con el 90% del espacio funcional total ocupado por esta familia frente al 16.6% del espacio funcional ocupado por las especies procedentes del oeste, así también el cambio entre las dos vertientes fue del 79.2%.

Tabla 4. Porcentaje del espacio funcional ocupado por la riqueza de caracteres morfofuncionales dentro de cada vertiente (Fig. Anexo 3)

Familia	F Rich Oeste	F Rich Este	F Shift
Anostomidae	54.9%	84.6%	51.8%
Characidae	17.7%	94.9%	82.8%
Curimatidae	4.6%	27.5%	98.5%
Poeciliidae	4.6%	27.5%	98.5%
Cichlidae	20.3%	70%	85%
Astroblepidae	40.6%	69.4%	79.2%
Heptapteridae	8.2%	59.5%	79.2%
Loricariidae	16.6%	90.7%	79.2%

CAPITULO III

DISCUSIÓN Y CONCLUSION

DISCUSION

La riqueza de los caracteres morfofuncionales de la colección de peces de la Universidad del Azuay, expresada como el espacio funcional, nos proporciona una nueva perspectiva sobre la diversidad de los peces del Ecuador. Es importante mencionar que este análisis es un primer acercamiento sobre el tema ya que es basado sobre una muestra que no contiene la riqueza completa de las especies existentes en el Ecuador (Stewart et al., 1987).

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó que existe, en las vertientes con mayor riqueza de especies, una mayor ocupación del espacio funcional, esto podría estar asociado al incremento de la diversidad caracteres morfológicos en las diferentes especies analizadas, sin embargo se ha encontrado que la diversificación en los peces está asociada a la evolución en su morfología (Rabosky et al., 2013).

Dentro del espacio funcional total generado por el análisis, se observó que la mayoría de especies se encontraban relativamente cercanas formando un conglomerado, pero también hubo especies con características particulares que se hicieron evidentes, por ejemplo los miembros de las familias Gymnotidae, Loricariidae, Gobiidae, Syngnathidae y Synbranchidae fueron los que se ubicaron en los extremos más alejados del conglomerado de especies. A partir del análisis de componentes principales (ACoP), los caracteres que explicaron la mayoría de los espacios funcionales fueron la longitud de la aleta anal (ANAL) y el diámetro de la cabeza en sentido dorso-ventral (HEA_D).

De acuerdo a Winemiller (1991) el conglomerado de especies observado dentro del espacio funcional no siempre se encuentra asociado al hecho de que exista una similitud entre los nichos ecológicos ocupados por las mismas, sino que más bien puede estar asociado a hábitos generalistas presentes en estas (Winemiller, 1991). Dado que el análisis del espacio funcional se realizó en base a los caracteres asociados al desplazamiento, esto es la longitud de las aletas pectorales (HEA_D) y anal (ANAL), podemos decir que, de acuerdo a la teoría propuesta por K. Winemiller (1991), se observa que las especies ubicadas en las partes más extremas poseen características más peculiares en cuanto a la manera en la que se desplazan y la región de la columna de agua que ocupan (funciones que están asociadas los caracteres seleccionados para el análisis), mientras que las de la zona de mayor agrupación poseen características más similares entre sí, por ejemplo especies provenientes de ambas vertientes que poseen rasgos morfológicamente similares en cuanto a la forma y tamaño de las aletas

pectorales y anal tales como las pertenecientes a las familias *Anostomidae* (Machado-Evangelista, Esguícero, & Arcifa, 2015), *Prochilodontidae* (Gomes et al., 2015) o *Bryconidae* (Hernández-mena, Lynggaard, Mendoza-garfias, & León, 2016), se encontraban mayormente en dentro del conglomerado.

La influencia de estos caracteres en la variación del espacio funcional puede deberse a que estos están asociados a funciones que están muy relacionadas a la especialización del nicho ecológico tales como la locomoción como lo es la aleta anal (ANAL) y a la alimentación y estilo de vida como lo es el diámetro de la cabeza en sentido dorso-ventral (HEA_D), sin embargo se pudo constatar también, a través del grafico la presencia de especies en ambas vertientes por ejemplo el género *Symbranchus marmoratus*, la cual se encuentra en la mayor parte del neotrópico y la cual conserva una morfología con muy poca variación entre las distintas regiones en las cuales se lo ha registrado así como la ocupación de un nicho ecológico muy similar en ambas regiones (Winemiller, 1991).

Cuando se realizó la comparación entre ambas vertientes, se observó que el espacio funcional en la vertiente del este era mayor frente a la vertiente del oeste posiblemente debido a que la muestra no fue lo suficientemente grande en cuanto a la riqueza de especies, pero también hay que mencionar que algunas especies de la región amazónica tenían rasgos únicos y también que la riqueza de especies así como el número de individuos por especie era mayor en la vertiente del este lo cual al parecer fue un factor determinante el cual las diferenciaban en gran manera a las observaciones obtenidas al analizar la vertiente de oeste.

En el polígono generado que representaba el espacio descrito por la riqueza de caracteres morfofuncionales, algunas especies analizadas presentaron valores extremos en cuanto a la dimensión y morfología de estos caracteres. Por ejemplo, la familia Gymnotidae se caracteriza por tener una aleta anal que cubre la mayor parte de su zona ventral (Craig, Correa-roldán, Ortega, Crampton, & Albert, 2018; Jiménez et al., 2015), mientras que Loricariidae se caracteriza por tener una aleta anal de tamaño relativamente reducido (Birindelli, Zanata, & Lima, 2007). Aquí también se encontró a la familia Synbranchidae en la cual la aleta anal es de tipo vestigial (Favorito, Zanata, & Assumpção, 2005), pero la cual está presente en ambas regiones.

Sin embargo, con relación al espacio funcional total, se observó una reducción en el área total, esto posiblemente se debe a que existen familias, géneros y especies únicas para cada vertiente, por ejemplo en la vertiente del oeste se encuentran las familias Gobiidae y Syngnathidae las cuales tienen una fuerte influencia oceánica mientras que en el este se encuentran la familia Serrasalminidae y Rivulidae, los cuales exhiben características únicas y son propios de la región amazónica (Jiménez et al., 2015).

En el análisis a nivel de ordenes se pudo observar que de igual manera los espacios se encontraban muy cercanos entre sí, aunque por ejemplo en el caso del orden Characiformes se observó que su espacio funcional fue el de mayor tamaño pero adicionalmente, si se lo

compara al espacio funcional general, se observa que se encuentran muy cercanos al conglomerado de especies, en el análisis realizado por Toussaint et al (2016) de igual manera se constató que Characidae dominaba el espacio funcional no solo en el neotrópico sino a nivel global (Toussaint, Charpin, Brosse, & Villéger, 2016), a este orden le seguía, en porcentaje espacio funcional ocupado, el orden Siluriformes los cuales se encontraban de igual manera cercanos al núcleo de especies, sin embargo aquí se pudo observar que una buena parte del espacio funcional ocupado se encontraba alejado del conglomerado, dando así una idea de que en este orden existe una sustancial especialización y en consecuencia especies clave dentro del ecosistema que habitan, los órdenes Perciformes y Cyprinodontiformes de igual manera se encontraban en la mayor parte dentro del conglomerado de especies aunque describiendo en porcentaje un espacio funcional relativamente menor, sin embargo el orden de los peces eléctricos Gymnotiformes, esto se puede deber a factores como las adaptaciones peculiares de este grupo para desempeñarse en su medio natural, tanto para la percepción así como para el desplazamiento por ejemplo, carecen de las aletas dorsal y pélvicas, su aleta caudal es muy vestigial, a diferencia de su aleta anal la cual ha desarrollado adaptaciones que le permiten desplazarse realizando movimientos ondulatorios sincronizados, así como también el uso de órganos eléctricos para la comunicación, la navegación y la alimentación (Kirk & Alphonse, 1997), de modo que este hallazgo peculiar arroja nuevas luces sobre el nivel de especialización presente en este grupo, el cual se ha diversificado en gran manera en el neotrópico principalmente en la cuenca amazónica y la región del choco.

En el análisis a nivel de familias se pudo constatar que en la vertiente del este los espacios funcionales eran mayores. Esto implicaría que el nivel de especialización en la vertiente del este es mayor y por lo tanto el nivel de diversificación de los caracteres morfofuncionales, esto podría deberse a que al momento de realizar las comparaciones tomando todas las familias existen muchas que son tienen más diversidad de características morfofuncionales en la vertiente del este como lo es el caso de las familias *Characidae* y *Loricariidae*, es importante también mencionar que hubieron familias de mucha importancia para el análisis pero estas se descartaron ya que contenían menos de tres especies con lo cual el programa no podía delimitar un polígono, lo que representaría un sesgo importante en cuanto al espacio funcional ocupado por muchas de ellas las cuales son de alta relevancia como las familias de los peces eléctricos Gymnotidae.

Así también resulto de mucha relevancia realizar la comparación entre las dos vertientes. En el Ecuador la cordillera de los andes es una barrera natural importante, la cual divide estas dos regiones (Varela & Ron, 2018; Caballero, Parra, & Mora, 2010) y los peces son el grupo más susceptible de quedar aislado por cambios los en la geografía (Nicol, Stevens, & Jobling, 2017) debido a su biología que es completamente acuática lo que hace difícil que se desplacen a través de barreras terrestres sean estas naturales o de origen antrópico, sin embargo hubieron individuos que se registraron en ambas vertientes los cuales pertenecen al género *Astroblepus*, esto se puede deber a que, a diferencia de la mayoría de especies de peces, se han adaptado

para ascender sistemas de fuertes corrientes y sobrevivir a bajas temperaturas (Barriga, 2011) lo que muy probablemente facilitó su traslado entre las dos vertientes (Jiménez et al., 2015), por otro lado hubieron familias que se encontraban exclusivamente en una de las dos vertientes, por ejemplo las familias Gobiidae y Syngnathidae se encontraban únicamente en la vertiente del este, mientras que familias como Serrasalminidae y Rivulidae eran únicas en la vertiente del oeste, otra observación importante fue el efecto de la introducción de especies exóticas en ambos biomas, en este sentido los géneros *Poecilia* y *Oreochromis* se encontraban en ambas vertientes.

En cuanto a los órdenes, en la vertiente del este las especies ocupaban un mayor espacio funcional que aquellas procedentes del oeste, aunque los órdenes Characiformes y Siluriformes fueron los que dominaron el espacio funcional la diferencia entre el tamaño del espacio ocupado por vertiente de cada uno de estos no fue porcentualmente muy significativa, sin embargo el orden Perciformes demostró que existe una fuerte diferenciación entre los espacios funcionales en cada vertiente por lo que el porcentaje de sobreposición fue mínimo, también se observó una fuerte diferencia en el tamaño de los espacios funcionales ocupados por el orden de los Cyprinodontiformes dentro de cada vertiente siendo el espacio funcional de la vertiente del este el que ocupó más del 90% del espacio funcional total, esta variación puede deberse al hecho de que en la región amazónica se encuentre la familia *Rivulidae* (Hoedeman, 1962), la cual es única para la región amazónica.

En cuanto a las familias se observó que las que procedían de la vertiente del este ocupaban espacios funcionales mayores, en las que se encontró una diferencia más significativa fue en la familia Characidae, esto muy probablemente se debe a que existieron individuos pertenecientes a las familias Serrasalminidae y Cynodontidae las cuales son únicas para la vertiente del este, además estos poseen caracteres únicos como mayor tamaño así como morfologías propias tales como cuerpos en forma semejantes a un disco en el caso de los serrasálmidos así como la aleta anal más amplia y en el caso de los cynodontidos cuerpos aletas pectorales más alargadas y cuerpos más alongados (Cardoso, DeHart, Edwar de Carvalho, & Siqueira-Souza, 2019; Huie, Summers, & Kolmann, 2019). De forma similar se pudo constatar en el caso de la familia Loricariidae en las cuales los rasgos morfofuncionales mantienen cierta similitud entre ambas vertientes, se observó que el tamaño de los espacios funcionales era semejante así como la superposición entre ambos, esto sugiere que el espacio funcional total está casi equitativamente compartido entre las especies procedentes de ambas vertientes, esto puede deberse al nicho ecológico que ocupan el cual es principalmente bentónico y su forma de alimentación es herbívora (Lujan & Armbruster, 2012), sin embargo la diferenciación en el espacio que ocupan, es decir con alta sobreposición entre ambas vertientes sugiere que en la región oriental existe un nivel de especialización más elevado por lo que se ocupa un espacio funcional mayor.

Las especies de la familia Poeciliidae ocuparon un mayor espacio funcional en la vertientes del este, y de igual manera la sobreposición entre ambas vertientes era mínima, esto puede

deberse principalmente a la introducción de *Poecilia reticulata* en la región occidental (Jiménez et al., 2015), así también la diversificación de esta familia en la región oriental es alta (Reznick, Furness, Meredith, & Springer, 2017).

La familia Cichlidae tuvo mayor presencia en la región oriental, sin embargo el cambio entre ambas regiones era significativo teniendo como resultado una mínima sobreposición entre los espacios funcionales ocupados por esta familia. Este fenómeno puede que se explique principalmente por la alta diversificación de esta familia en la región oriental en donde se encuentran géneros como *Chrenicichla* (Benzaquem et al., 2008) y *Heros*, (Veras, José, Ribeiro, & Brabo, 2016) los cuales poseen morfologías bastante diversificadas y especializadas, mientras que en la región occidental se tiene presencia del género *Andinoacara* y *Cichlasoma* los cuales conservan cierta similitud morfológica con el género *Oreochromis* (Jiménez et al., 2015), este último introducido artificialmente para producción piscícola.

En general las variaciones que se observan entre ambas vertientes tienen concordancia con la hipótesis de que las especies que habitan en la región occidental son producto del aislamiento geográfico de cuerpos de agua debido al levantamiento de la cordillera de los andes (Caballero et al., 2010; Hammen et al., 1973), lo cual podría reflejarse en la mayor especialización en la región oriental en la cual también existe mayor diversidad de nichos ecológicos en comparación a la región occidental.

Por otro lado, los datos obtenidos podrían ser utilizados como línea base para futuros estudios basados en los caracteres morfofuncionales de los peces procedentes de ambas vertientes. Este tipo de estudios ya se han realizado para estimar el cambio ocurrido en la actualidad con respecto al estado anterior de un ecosistema (Labay et al., 2011), principalmente en cuanto a los posibles cambios que puedan darse en las poblaciones producto de la acción antrópica, o por los cambios de los ecosistemas de origen natural. Una recopilación realizada por Mouillot et al., (2013) se constató la relación existente entre las alteraciones a nivel del hábitat y modificaciones en el espacio funcional, el cual variaba según el disturbio existente en el medio de los peces, esto expresado como variaciones en sus caracteres morfológicos y en consecuencia cambios en su espacio funcional expresado en función de la riqueza (Mouillot et al., 2013).

De todas formas estos hallazgos son de naturaleza descriptiva por lo que es importante profundizar aún más en el planteamiento de nuevas preguntas en las cuales se incluyan variables ambientales así como índices de abundancia y riqueza, de igual modo es importante mencionar que el estudio estuvo enfocado principalmente en la colección de peces en la cual se encontraban especies procedentes de diferentes partes del Ecuador de manera aleatoria, esto también genera la necesidad de enfocar los estudios a nivel regional o a nivel de los diferentes niveles taxonómicos y entonces poder tener una mejor perspectiva de la realidad en la que se encuentra este grupo biológico en el Ecuador.

CONCLUSION

Estos resultados aunque son preliminares y están basados en muestras preservadas en el Museo de Zoología de la Universidad del Azuay, las cuales han sido colectadas en diferentes campañas de muestreo, sin embargo dan nuevas ideas sobre la diversidad funcional de los peces en el Ecuador. Estos hallazgos pueden ser utilizados como base de preguntas a futuro sobre la biología y ecología de este grupo, además se ha logrado establecer una base de datos que podrá seguir creciendo en el futuro y poder enfocar los estudios a grupos más específicos a nivel de vertientes, regiones o incluso cuencas hidrográficas así como también se podría incrementar la resolución de los resultados haciendo estudios enfocados en cada orden o incluso a nivel de familias, es importante que se continúen con los aportes de datos para este proyecto y además establecer posibles hipótesis basándose en estos y futuros hallazgos que puedan realizarse a futuro.

Dentro de estos hallazgos se han podido constatar, aunque con un bajo nivel de confianza debido a que en el estudio no se pudo incluir a la abundancia para realizar estimaciones sobre la diversidad funcional, sin embargo se abre paso a nuevas preguntas sobre la evolución y ecología de los peces del Ecuador, existen recopilaciones en las cuales se observa el alto grado de especiación que ocurre en este grupo lo cual está asociado principalmente al cambio en su morfología y tamaño (Rabosky et al., 2013) así como en la ocupación del nicho ecológico (Winemiller, 1991), pero también casos en los que algunas especies han cambiado muy poco a través en el tiempo, manteniendo características primitivas y con muy poca radiación morfológica.

Es evidente el nivel de especiación y radiación morfológica y filogenética que ha ocurrido en los peces del neotrópico, sin embargo es de mucho interés conocer mejor las relaciones filogenéticas existentes entre los diferentes clados para poder plantar hipótesis sobre los factores que están influyendo en los procesos evolutivos tanto a nivel de especiación como de diversificación, pero también reconocer cuales taxones están siendo sujetos de fenómenos de especiación en la actualidad por efectos de los cambios en su hábitat como adaptaciones en su morfología y consecuente pérdida de fitness o por el contrario conservación o incluso mejoramiento de este para desempeñarse en su medio natural.

REFERENCIAS

- Aitchison, B. Y. J. (1982). Principal component analysis of compositional data, (1083), 57–65.
- Audzijonyte, A., Kuparinen, A., Gorton, R., Fulton, E. A., Audzijonyte, A., Kuparinen, A., ...
 Fulton, E. A. (2013). Ecological consequences of body size decline in harvested fish species: positive feedback loops in trophic interactions amplify human impact. *Biology Letters*, 9.
- Barriga, R. (2011). *Lista de peces de agua dulce e intermareales del Ecuador*.
- Benzaquem, D. C., Feldberg, E., Ivan, J., Porto, R., Gross, M. C., Alfredo, J., & Zuanon, S. (2008). Cytotaxonomy and karyoevolution of the genus *Crenicichla* (Perciformes), 1, 250–255.
- Birindelli, J. L. O., Zanata, A. M., & Lima, F. C. T. (2007). *Hypostomus chrysostiktos*, a new species of armored catfish (Siluriformes: Loricariidae) from rio Paraguaçu, Bahia State, Brazil. *Sociedade Brasileira de Ictiologia*, 5(3), 271–278.
- Brinsmead, J., & Fox, M. G. (2002). Morphological variation between lake- and stream-dwelling rock bass and pumpkinseed populations, 1619–1638.
<https://doi.org/10.1006/jfbi.2002.2179>
- Caballero, V., Parra, M., & Mora, A. R. (2010). LEVANTAMIENTO DE LA CORDILLERA ORIENTAL DE COLOMBIA DURANTE EL EOCENO TARDÍO – OLIGOCENO TEMPRANO: PROVENIENCIA SEDIMENTARIA EN EL SINCLINAL DE ORIENTAL DE NUEVO MUNDO, CUENCA VALLE MEDIO DEL MAGDALENA. *Boletín de Geología*, 32.
- Cardoso, D. C., DeHart, P., Edwar de Carvalho, C., & Siqueira-Souza, F. K. (2019). Diet and ecomorphology of predator fish species of the Amazonian floodplain lakes, 19(3).
- Chillo, V., Anand, M., & Ojeda, R. (2011). Assessing the Use of Functional Diversity as a Measure of Ecological Resilience in Arid Rangelands. *Springer*, (August).
<https://doi.org/10.1007/s10021-011-9475-1>
- Craig, J. M., Correa-roldán, V., Ortega, H., Crampton, W. G. R., & Albert, J. S. (2018). Revision of *Gymnotus* (Gymnotiformes: Gymnotidae) from the Upper Madeira Basin of Bolivia and Peru, with descriptions of two new species. *Zootaxa*, (April).
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.4413.1.3>
- Desrochers, R. E., & Anand, M. (2003). The use of taxonomic diversity indices in the assessment of perturbed community recovery. *Transactions on Ecology and the Environment*, 63.
- Dullemeijer, P. (1980). FUNCTIONAL MORPHOLOGY AND EVOLUTIONARY BIOLOGY. *Acta*

Biotheoretica, 250, 151–250.

- Favorito, S. E., Zanata, A. M., & Assumpção, M. I. (2005). (Teleostei: Synbranchiformes: Synbranchidae) from ilha de Marajó, Pará, Brazil, with notes on its reproductive biology and larval development. *Neotropical Ichthyology*, 3(3), 319–328.
- Gomes, J., de Oliveira Mota Andrade, T. de S., Lima, C. F., da Silva Castro, J., Nonata, R., Carvalho, N., & Torres, A. R. (2015). Morphological Biomarkers in *Prochilodus lineatus* (Pisces, Prochilodontidae) for Environmental Impact Assessment in the Region of the Baixada Maranhense, Brazil. *ResearchGate.Net*, (December 2015).
<https://doi.org/10.1063/1.4938903>
- Guisande, C., Pelayo-Villamil, P., Vera, M., AnaManjarres-Hernandez, Carvalho, M. R., P.Vari, R., ... Santiago, R. D. (2012). Ecological Factors and Diversification among Neotropical Characiforms, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/610419>
- Hammen, T. . Van Der, Werner, J. H., & Dommelen, H. Van. (1973). PALYNOLOGICAL RECORD OF THE UPHEAVAL OF THE NORTHERN ANDES : A STUDY OF THE PLIOCENE AND LOWER QUATERNARY OF THE COLOMBIAN EASTERN CORDILLERA AND THE EARLY EVOLU- TION OF ITS HIGH-ANDEAN BIOTA, 16.
- Hernández-mena, D. I., Lynggaard, C., Mendoza-garfias, B., & León, G. P.-P. D. L. (2016). A new species of *Auriculostoma* (Trematoda: Allocreadiidae) from the intestine of *Brycon guatemalensis* (Characiformes: Bryconidae) from the Usumacinta River Basin, Mexico, based on morphology and 28S rDNA sequences, with a key to species of the genus. *Zootaxa*, (November). <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4196.2.5>
- Hoese, G., Addison, A., Toulkeridis, T., & Iii, R. T. (2015). Observation of the Catfish *Chaetostoma microps* Climbing in a Cave in Tena , Ecuador, 35, 29–35.
<https://doi.org/10.3897/subtbiol.15.4809>
- Hoover, J. J., Murphy, C. E., & Killgore, K. J. (2014). Ecological Impacts of Suckermouth Catfishes (Loricariidae) in North America: A Conceptual Model. *Aquatic Nuisance Species Research Program*, 14–1(August 2016).
- Huie, A. J. M., Summers, A. P., & Kolmann, M. A. (2019). Body shape separates guilds of rheophilic herbivores (Myleinae : Serrasalminae) better than feeding morphology. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 166(1), 1–15.
- Jax, K., & Setälä, H. (2016). Function and “functioning” in ecology: what does it mean?, 111(3), 641–648.
- Jiménez, P., Aguirre, W., Laaz, E., Navarrete, R., Nugra, F., Robolledo, E., ... Valdiviezo, J. (2015). *GUIA DE PECES PARA AGUAS CONTINENTALES EN LA VERTIENTE OCCIDENTAL DEL ECUADOR*. Quito-Ecuador: Imprenta Mariscal.

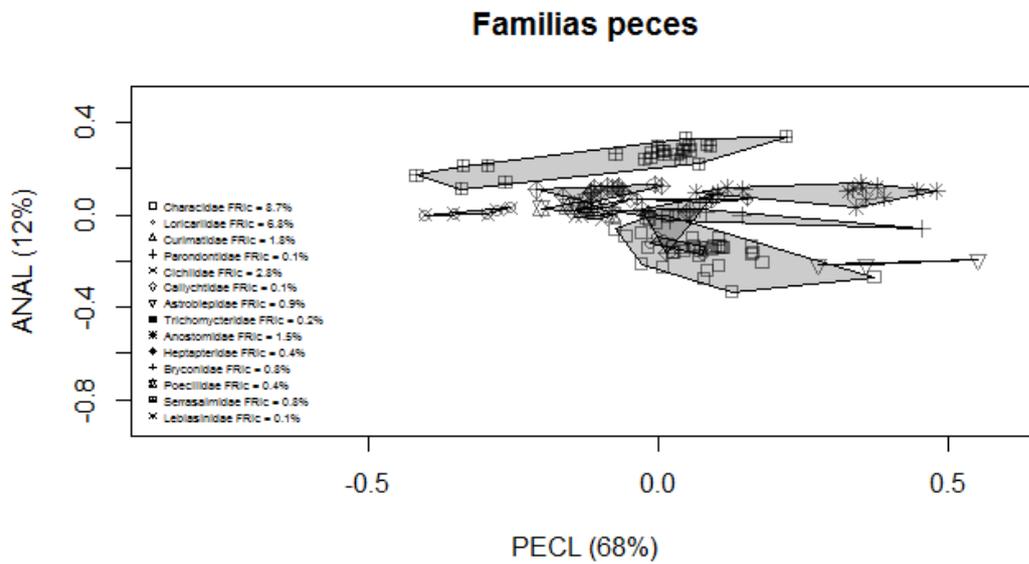
- Labay, B., Cohen, A. E., Sissel, B., Hendrickson, D. A., Martin, F. D., & Sarkar, S. (2011). Assessing Historical Fish Community Composition Using Surveys , Historical Collection Data , and Species Distribution Models, *6*(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025145>
- Lavorel, S., McIntyre, S., Landsberg, J., & Forbes, T. D. . (1997). Plan functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance, *5347*(11).
- Lujan, N. K., & Armbruster, J. W. (2012). Morphological and Functional Diversity of the Mandible in Suckermouth Armored Catfishes (Siluriformes : Loricariidae), *39*, 24–39. <https://doi.org/10.1002/jmor.11003>
- Machado-Evangelista, M., Esguícero, A. L. H., & Arcifa, M. S. (2015). (Characiformes : Anostomidae) from the upper Rio Juruena , MT , Brazil : ontogenetic shifts related to the feeding ecology, *45*(4), 383–392.
- Maldonado-ocampo, J. A., Ortega-lara, A., Villa-navarro, F. A., Prada-pedrerros, S., Rodríguez, C. A., & V, J. C. C. (2005). *Peces de los Andes de Colombia*. (C. M. Villa G & M. M. Gaitán U, Eds.) (I). Bogota D.C., Colombia: Humboldt, Instituto de Investigacion de Recursos Biologicos Alexander Von.
- Maldonado-Ocampo, J. A., Usma Oviedo, J. S., Villa-Navarro, F. A., Ortega-Lara, A., Prada-Pedrerros, S., Jiménez S, L. F., ... Sánchez Garcés, G. C. (2012). *PECES DULCEACUICOLAS DEL CHOCÓ BIOGEOGRÁFICO DE COLOMBIA*. (L. F. Cuervo G, Ed.) (I). Bogota D.C., Colombia: Unión Gráfica.
- Mouillot, D., Graham, N. A. J., Bellwood, D. R., & Mason, N. W. H. (2013). A functional approach reveals community responses to disturbances, *28*(3), 167–177.
- Nicol, E., Stevens, J., & Jobling, S. (2017). Riverine fish diversity varies according to geographical isolation and land use modification, (May), 7872–7883. <https://doi.org/10.1002/ece3.3237>
- Nock, C. A., Vogt, R. J., & Beisner, B. E. (2016). Functional Traits, (February 2018). <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0026282>
- Pease, A., Gonzáles-Díaz, A., Rodiles-Hernández, R., & Winemiller, K. O. (2012). Functional diversity and trait – environment relationships of stream fish assemblages in a large tropical catchment. *Freshwater Biology*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2012.02768.x>
- Polgar, G., Sacchetti, A., & Galli, P. (2010). Differentiation and adaptive radiation of amphibious gobies (Gobiidae : Oxudercinae) in semi-terrestrial habitats, 1645–1664. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02807.x>
- Pouilly, M., Lino, F., Brenenoux, J. G., & Rosales, C. (2003). Dietary–morphological relationships in a fish assemblage of the Bolivian Amazonian floodplain, 1137–1158.

<https://doi.org/10.1046/j.1095-8649.2003.00108.x>

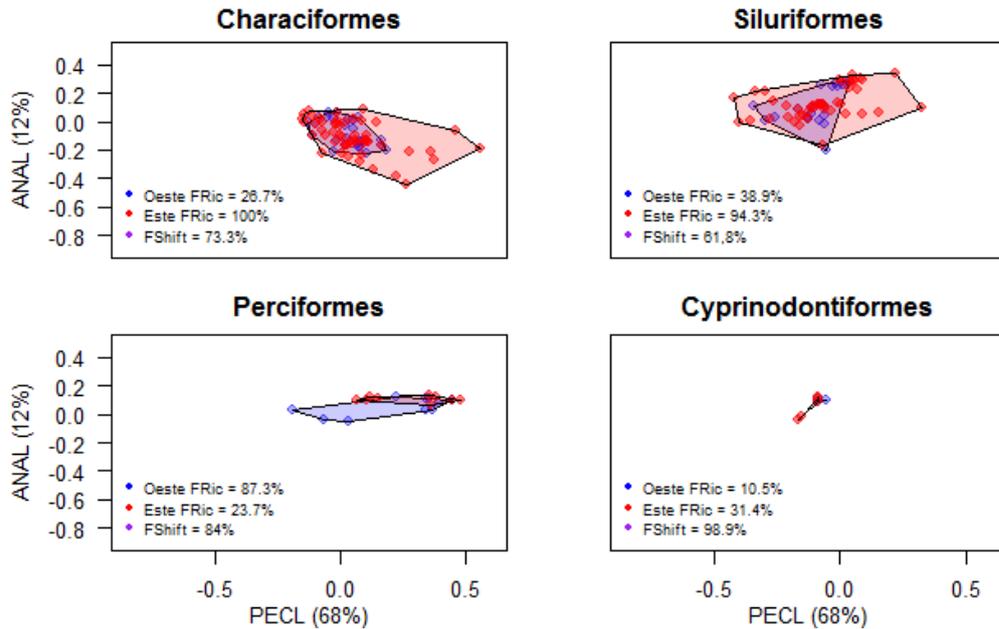
- Rabosky, D. L., Santini, F., Eastman, J., Smith, S. A., Sidlauskas, B., Chang, J., & Alfaro, M. E. (2013). Rates of speciation and morphological evolution are correlated across the largest vertebrate radiation. *Nature Communications*, 1–8. <https://doi.org/10.1038/ncomms2958>
- Reznick, D. N., Furness, A. I., Meredith, R. W., & Springer, M. S. (2017). The origin and biogeographic diversification of fishes in the family Poeciliidae, 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172546>
- Sambily, V. (1990). Interrelationships Between Swimming Speed, Caudal Fin Aspect Ratio and Body Length of Fishes. Manila.
- Stewart, D., Barriga, R., & Ibarra, M. (1987). *ICTIOFAUNA DE LA CUENCA DEL RIO NAPO*. Quito-Ecuador.
- Toussaint, A., Charpin, N., Brosse, S., & Villéger, S. (2016). Global functional diversity of freshwater fish is concentrated in the Neotropics while functional vulnerability is widespread. *Nature Publishing Group*, (October 2015), 1–9. <https://doi.org/10.1038/srep22125>
- Veras, G. C., José, D., Ribeiro, D. M., & Brabo, M. F. (2016). Revista Brasileira de Zootecnia Short Communication Influence of photoperiod on growth , uniformity , and survival of larvae of the Amazonian ornamental *Heros severus* (Heckel , 1840), 45(7), 422–426.
- Villéger, S., Mason, N., & Mouillot, D. (2008). NEW MULTIDIMENSIONAL FUNCTIONAL DIVERSITY INDICES FOR A MULTIFACETED FRAMEWORK IN FUNCTIONAL ECOLOGY. *Ecological Society of America*, 89(8), 2290–2301.
- Violle, C., Navas, M., Vile, D., Kazakou, E., & Fortunel, C. (2007). Let the concept of trait be functional !, (January), 882–892. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0030-1299.15559.x>
- Wainwright, S. A. (1988). Form and Function in Organisms, 28(2), 671–680.
- Winemiller, K. O. (1991). Ecomorphological Diversification in Lowland Freshwater Fish Assemblages from Five Biotic Regions. *Ecological Society of America*, 61(4), 343–365.

ANEXOS

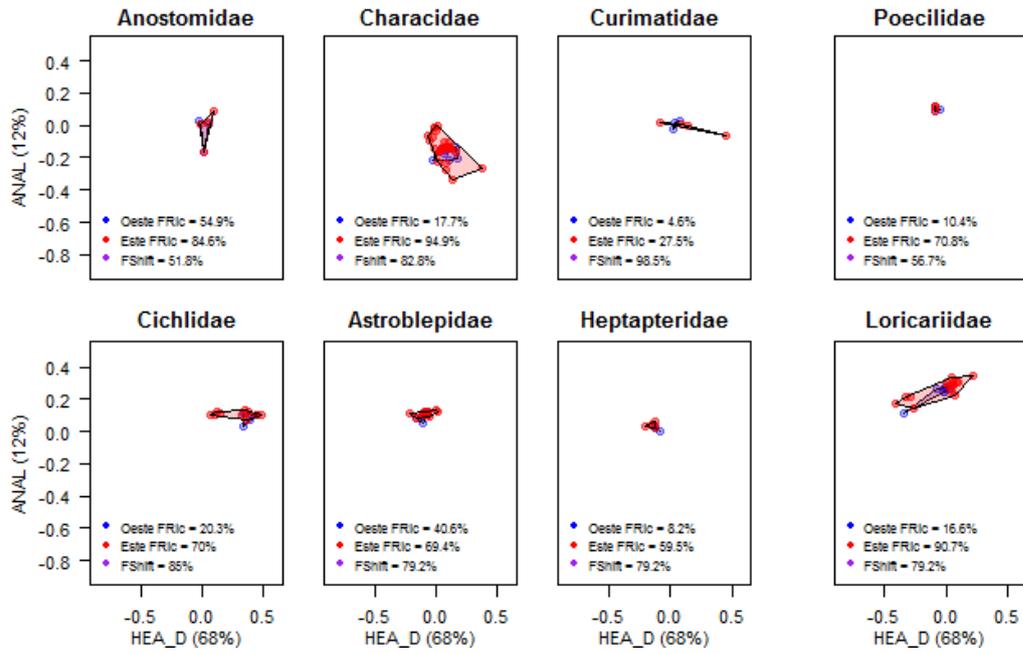
Anexo 1. Espacio de la riqueza de caracteres morfofuncionales ocupado por familia



Anexo 2. Espacio de la riqueza de caracteres morfofuncionales ocupados por orden y por vertiente en función del espacio total ocupado por cada orden.



Anexo 4. Espacio de la riqueza de caracteres morfofuncionales ocupados por familia y por vertiente en función del espacio total ocupado por cada familia.



Anexo 5. Metodología para la obtención de los caracteres morfofuncionales de los peces

Ejemplo 1. Medición de base de la aleta dorsal (DORL)



Ejemplo 2. Medición de la longitud total (MAXL)



Ejemplo 3. Medición de la longitud de la cabeza (HEAL)