



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SEDE
ESMERALDAS

ESCUELA GESTION AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

**Diferencias en las características morfo-funcionales
de los peces en la cuenca del río Santiago-Cayapas
entre los años 2016 a 2018 con presencia de
impactos por la minería aurífera**

**PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE LICENCIADO EN GESTION
AMBIENTAL**

AUTORA

NICOLE MENDOZA SAAVEDRA

ASESOR

PEDRO JIMENEZ PRADO

ESMERALDAS, AGOSTO -2020

TRIBUNAL DE GRADUACION

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el Reglamento de Grado de la PUCE-E, previo a la obtención del título de Licenciada en Gestión Ambiental.

Presidente Tribunal de Graduación

Mgt. Eduardo Rebolledo Monsalve

Lector 1

Mgt. Rubén Vinueza Cherréz

Lector 2

Mgt. Karla Solís Charcopa

Coordinadora de la Carrera de Gestión Ambiental

Dr. Pedro Jiménez Prado

Director de Tesis

Esmeraldas...de...del 2021

AUTORIA

Yo, Nicole Jenniffer Mendoza Saavedra, declaro que la presente investigación titulada: **“Diferencias en las características morfo-funcionales de los peces en la cuenca del río Santiago-Cayapas entre los años 2016 a 2018 con presencia de impactos por la minería aurífera”** es absolutamente original, auténtica y personal.

En virtud que el contenido de esta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica de la autora y de la PUCE-Sede Esmeraldas.

Nicole Jenniffer Mendoza Saavedra

CI: 1313211797

DEDICATORIA

**“No sabía lo que quería hacer, pero si
sabía en la mujer en la que quiero
convertirme”**

*Comienzo mi agradecimiento con esta frase,
porque me recuerda a mi yo de 16 años,
que no tenía idea de la carrera que seguiría
en la Universidad, pero lo que si tenía claro
era la mujer en la que me quería convertir.*

*Gracias a las enseñanzas de mi madre, es
que tengo en mente grabado que una mujer
debe ser libre financieramente y que debe
esforzarse por cumplir cada una de sus
metas.*

*Le dedico a ella cada uno de mis logros, mis
esfuerzos y mis alegrías, porque es ella
quien se desvelaba conmigo haciendo
tareas y, aun así, tener que madrugar para ir
al trabajo.*

*Era ella la que me decía “ya llegarán las
recompensas de tus esfuerzos y tus
desvelos”, era ella la que me abrazaba
cuando tenía un día malo en la Universidad
y me daba el empujoncito que necesitaba.*

*Es gracias a ella que no he tirado la toalla,
porque pensar en ella me da fuerzas, y
ánimos de seguir enfrentándome a las
adversidades que se me presenten y espero
de todo corazón, llegar a ser la mitad de lo
maravillosa que es mi mamá.*

*Soy alguien fuerte, porque fui criada por
alguien más fuerte que yo*

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por cada una de las bendiciones que me regala día a día con su misericordia, por brindarme sabiduría y por bendiciones que llegaron a mi vida en forma de personas.

Gracias a mis padres por su esfuerzo diario, por ser guía para mi vida con cada uno de sus consejos, enseñanzas y regaños para que yo pueda superarme y no dejar que me rinda.

A miembros de mi familia, mis tías, abuelos y primos que estuvieron para ayudarme cuando necesite una ayuda, de todo corazón se los agradezco.

Agradezco a Gabriel Rivero, por ser incondicional para mí en este proceso, por decir que todo iba a estar bien, por darme ánimos, por recordarme cada día lo inteligente y fuerte que soy, tu eres una de esas bendiciones que Dios me mando en forma de personas.

Gracias a mi tutor, Pedro Jiménez, fue un placer ser su estudiante desde el primer día que entre a la carrera de Gestión Ambiental, gracias por apoyarme y creer en mí.

*Agradezco nuevamente a Dios por permitirme estar en la PUCESE y por el grupo de amigos que me regalo **“porque en todo tiempo ama el amigo, y es como un hermano en tiempos de angustia”**.*

La Universidad se vuelve un lugar acogedor con buenos amigos, y con buenos amigos es que se pasa la Universidad, gracias a Paola Villacís y Darío Bolaños, porque ellos son los padres del grupo y siempre tiene un consejo, a Agustina Torán, Mariana Muzo, Karwin Arcos, Boris Jaramillo, Eliana Álava y Paula Martínez.

Porque de cada uno de ustedes me llevo una enseñanza en el corazón, llevo momentos, risas, peleas y llantos, espero que esta amistad que hemos creado no se borre con el tiempo.

Agradezco a mis amigas de toda la vida, Ana Palma y Gabriela Almeida, ustedes son como mis hermanas y en todos mis tiempos de angustia han estado ustedes, las amo.

ÍNDICE

TRIBUNAL DE GRADUACION.....	i
AUTORIA.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
ABREVIATURAS.....	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Presentación del Tema de Investigación.....	1
1.2. Planteamiento del Problema	3
1.3 Justificación.....	6
1.4 OBJETIVOS	7
1.4.1 Objetivo General.....	7
1.4.2 Objetivos Específicos	7
2. MARCO TEORICO	8
2.1. Bases Teóricas y Científicas.....	8
2.1.1 Contaminación Ambiental	8
2.1.2 Minería	9
2.1.3 Recursos Acuáticos (peces)	11
2.1.4 Morfometría Geométrica	12
2.1.4 Diversidad Funcional.....	12
2.2. Antecedentes	15
2.3 Marco Legal.....	17
2.3.1 Constitución del Ecuador	17
2.3.2 Código Orgánico Ambiental (COA)	18
2.3.3 Ley Minera	19
3. METODOLOGIA	20

3.1. Seleccionar los especímenes de peces de la colección de la Escuela de gestión Ambiental PUCESE apropiados para este tipo de análisis	21
3.2. Medir el cambio en la forma de los especímenes del río Santiago-Cayapas mediante la aplicación de la morfometría geométrica.....	22
3.3. Detectar el cambio en las morfo-funciones de los especímenes del río Santiago-Cayapas debido a la presencia de minería aurífera en diferentes cauces.....	27
4. RESULTADOS.....	34
4.1. Selección de los especímenes de peces de la colección de la Escuela de gestión Ambiental PUCESE apropiados para este tipo de análisis	34
5. DISCUSION	59
6. CONCLUSION.....	63
7. RECOMENDACIÓN.....	64
8. BIBLIOGRAFÍA	65
9. ANEXOS	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Calidad de agua parámetros in situ y colorimétricos	4
Tabla 2. Contenido de metales en sedimento	4
Tabla 3. Lista de mediciones obtenidas a partir de los 28 puntos homólogos de la figura 1. Origen (Punto de referencia donde inicia la medición) y Fin (Punto de referencia donde termina la medición)	28
Tabla 4. Atributos morfo-funcionales derivados de las mediciones de la tabla 3	30
Tabla 5. Análisis de la varianza para los índices de diversidad taxonómica	49
Tabla 6. Comparación de medias para índices de diversidad taxonómica	49
Tabla 7. Atributos morfofuncionales derivados de tabla 2 que caracteriza a los grupos funcionales	53
Tabla 8. Análisis de la varianza para los índices de diversidad funcional	55
Tabla 9. Comparación de medias para índices de diversidad funcional	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Contenido de metales en cuerpos de agua asociados al río Cachaví	5
Figura 2. Área de estudio	20
Figura 3. <i>Chaetostoma marginatum</i> perteneciente a la familia Loricariidae	23
Figura 4. <i>Sternopygus arenatus</i> perteneciente a la familia Sternopygidae.....	24
Figura 5. <i>Gasteropelecus maculatus</i> perteneciente a la familia Gasteropelecidae	24
Figura 6. Software de acceso libre TpsUtil32.....	25
Figura 7. Software de acceso libre TpsDig32	25
Figura 8. Software de acceso libre TpsRelw32.....	26
Figura 9. Software de acceso libre Morpho J.....	26
Figura 10. 28 puntos homólogos para todos los peces analizados	29
Figura 11. Análisis de las variables canónicas en la familia Bryconidae entre zonas..	35
Figura 12. Forma de los Bryconidae en la zona de control (factor de escala -4.0)	36
Figura 13. Forma de los Bryconidae en la zona de impacto (factor de escala 4.0)	36
Figura 14. Análisis de las variables canónicas en la familia Characidae entre zonas .	37
Figura 15. Análisis de las variables canónicas en la familia Cichlidae entre zonas	38
Figura 16. Forma de los Cichlidae en la zona de impacto (factor de escala 4.0)	39
Figura 17. Forma de los Cichlidae en la zona de control (factor de escala -4.0)	39
Figura 18. Análisis de las variables canónicas de la familia Eleotridae entre zonas....	40
Figura 19. Forma de los Eleotridae en la zona de control (factor de escala 4.0)	41
Figura 20. Forma de los Eleotridae en la zona de impacto (factor de escala -4.0)	41
Figura 21. Análisis de las variables canónicas de la familia Heptapteridae entre zonas	42
Figura 22. Forma de los Heptapteridae en la zona de control (factor de escala 5.0)...	43
Figura 23. Forma de los Heptapteridae en la zona de impacto (factor de escala -5.0)	43
Figura 24. Análisis de las variables canónicas de la familia Loricariidae entre zonas .	44
Figura 25. Forma de las especies en la zona de control (<i>Sturisoma frenatum</i> y <i>panamense</i>)	45
Figura 26. Forma de las especies en la zona de impacto (<i>Chaetostoma marginatum</i>)	45
Figura 27. Forma de <i>Sturisomas</i> y <i>Rineloricaria jubata</i> en la zona de impacto	46
Figura 28. Forma de <i>Sturisomas</i> y <i>Rineloricaria jubata</i> en la zona de control.....	47
Figura 29. Forma de <i>Chaetostoma marginatum</i> en la zona de impacto	47
Figura 30. Forma de <i>Chaetostoma marginatum</i> en la zona de control.....	48
Figura 31. Dendrograma de la diversidad taxonómica. A._ Índice de ShannonWeaver, B._ Índice de equitatividad.	50

Figura 32. Dendrograma de los grupos funcionales.....	52
Figura 33. Análisis de componentes principales que relacionan las diferentes variables (Dx) y las zonas de estudio	54
Figura 34. A. Gráfico de puntos de la riqueza funcional para las zonas de análisis. Medias con una letra diferente muestran una tendencia diferente. B. _ Dendrograma de la riqueza funcional para las zonas de análisis.....	56
Figura 35. A. _ Gráfico de puntos de la equidad funcional para las zonas de análisis. Medias con una letra diferente muestran una tendencia diferente. C. _ Dendrograma de la equidad funcional para las zonas de análisis.....	57
Figura 36. A. _ Gráfico de puntos de la divergencia funcional para las zonas de análisis. Medias con una letra diferente muestran una tendencia diferente. B. _ Dendrograma de la divergencia funcional para las zonas de análisis	57
Figura 37. A. _ Gráfico de puntos de la especialización funcional para las zonas de análisis. Medias con una letra diferente muestran una tendencia diferente. B. _ Dendrograma de la especialización funcional para las zonas de análisis	58
Figura 38. A. _ Gráfico de puntos de la dispersión funcional para las zonas de análisis. Medias con una letra diferente muestran una tendencia diferente. B. _ Dendrograma de la dispersión funcional para las zonas de análisis	58

ABREVIATURAS

COA: Código Orgánico Ambiental

PRAS: Programa de Recuperación Ambiental y Social

PUCESE: Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

MG: Morfometría Geométrica

MAATE: Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica

ACP o PCA: Análisis de componentes principales

AVC: Análisis de variables canónicas

MANOVA: Análisis multivariado de la Varianza

RESUMEN

En la minería, el agua se necesita en todos los procesos de extracción del mineral bruto; sin embargo, las descargas de agua que llegan a los ríos sin tratarse contienen partículas de metales que es lo que podría estar afectando directamente a los recursos bioacuáticos que habitan en la cuenca del río Santiago-Cayapas y como consecuencia de esta actividad existiría un cambio en la forma y función de estos recursos.

Para probar esta hipótesis, se realizaron dos tipos de análisis: La MG y los índices de diversidad funcional, tomando como objeto de estudio a los especímenes de la colección de peces del Laboratorio de Gestión Ambiental de la PUCESE, de los años 2016, 2017 y 2018, que fueron capturados en 14 localidades de los cantones Eloy Alfaro y San Lorenzo al norte de la provincia de Esmeraldas; a la cuenca se la dividió en tres zonas: impacto, control y recuperación y mezcla distante. Para la MG se utilizaron varios paquetes informáticos de acceso libre, incluyendo el Morpho J donde se realizó el análisis de variables canónicas por familias, dividiéndolas en 3 grupos debido a la gran diferencia en la anatomía de los individuos.

Para analizar los distintos índices de diversidad funcional se utilizó el software de acceso libre Fdiversity; Se contaron 1865 individuos capturados, en donde se identificaron 37 especies y 16 familias; para la MG se encontró un patrón en varias familias en cuanto a la altura del cuerpo, y es que las especies capturadas en la zona de control tenían el cuerpo más alto que las especies que fueron capturadas en la zona de impacto. Mientras que con el análisis de los índices de diversidad funcional no se encontró una diferencia estadísticamente significativa por lo que se procedió a realizar un análisis DGC en donde se encontraron tendencias.

Palabras claves: Morfometría geométrica, diversidad funcional, índices de diversidad funcional, impactos de la minería.

ABSTRACT

In mining, water is needed in all the processes of extraction of the raw mineral; however, the water discharges that reach the rivers untreated contain particles of metals that could be directly affecting the bio-aquatic resources that inhabit the basin of the Santiago-Cayapas river and as a consequence of this activity there would be a change in the form and function of these resources.

To test this hypothesis, two types of analysis were performed: the MG and functional diversity indices, taking as the object of study specimens from the fish collection of the Environmental Management Laboratory of PUCESE, from the years 2016, 2017 and 2018, which were captured in 14 localities of the Eloy Alfaro and San Lorenzo cantons in the north of the province of Esmeraldas; the basin was divided into three zones: impact, control and recovery and distant mixing. For the GM, several open access computer packages were used, including Morpho J where the analysis of canonical variables by families was carried out, dividing them into 3 groups due to the great difference in the anatomy of the individuals.

To analyze the different indices of functional diversity, the open access software Fdiversity was used; 1865 captured individuals were counted, where 37 species and 16 families were identified; for the MG a pattern was found in several families in terms of body height, and all the captured species in the control zone had a taller body than the species that were captured in the impact zone. The analysis of the functional diversity indices did not find a statistically significant difference, so we proceeded to perform a DGC analysis where trends were found.

Keywords: Geometric morphometry, functional diversity, functional diversity indices, impacts of mining

1. INTRODUCCION

1.1. Presentación del Tema de Investigación

La actividad económica de extracción de metales y piedras preciosas, conocida como minería, provoca la deforestación de la cubierta vegetal, cambios a nivel estructural del suelo, cambios en la calidad del agua, y reduce el caudal del río, debido al vertimiento de metales pesados y productos químicos utilizados al momento de extraer metales preciosos.(1)

Para que dicha actividad se lleve a cabo, se deben realizar estudios geológicos a las zonas que se pretenden explotar, para que se pruebe si la explotación minera es positiva o no, para empezar su fase de desarrollo y de esta manera extraer estos minerales con fines económicos.(2)

En el Ecuador existen 7 provincias donde se practica esta actividad minera como: Esmeraldas, Sucumbíos, Imbabura, Bolívar, Pichincha, Napo y Zamora Chinchipe.(3) Y en el norte de Esmeraldas se encuentra una de las 6 cuencas hidrográficas principales de la costa ecuatoriana, esta es la cuenca del Santiago-Cayapas, y se caracteriza por ser representativa en su diversidad de especies ya que cada 1000 km² se pueden encontrar casi 8 especies diferentes de peces.(4)

En el norte de la provincia de Esmeraldas se lleva a cabo la extracción de los metales como oro, plata, cobre, cerca de varios cuerpos de agua de la cuenca Santiago-Cayapas entre los cantones Eloy Alfaro y San Lorenzo que se contaminan gracias al desprendimiento de metales en el proceso de la extracción.(5)

La importancia que tiene el recurso agua en la minería y por lo que las empresas mineras legales o ilegales se ubicaron al norte de la provincia, es porque el agua se necesita en los procesos de extracción del mineral bruto, para la contención del polvo y enjuague de equipos; en la fase de procesado, para empapar e insertar separaciones físicas, en combinación con químicos para lixiviar los minerales. Y en la fase de final el agua se utiliza para bombear corrientes

residuales a sitios que se puedan descargar, todo este proceso implica un consumo de agua fresca ya sea de tipo continental o de mar.(6)

Por lo tanto, son los sistemas dulceacuícolas los ecosistemas más contaminados por la minería, debido a que elementos químicos como el plomo, el arsénico, el manganeso, el aluminio, el cobre, etc., afectan directamente a los recursos bioacuáticos por efecto de la bioacumulación de metales en sus tejidos a lo largo de su ciclo vital, cambiando así su metabolismo y su forma.(7)

Según la UICN, los peces de agua dulce son el grupo de especies más relevantes para la seguridad alimentaria de poblaciones aledañas o asentamientos cerca de los ríos, pero también son un grupo de especies amenazadas, porque al menos el 20% de los peces de agua dulce a nivel global están en las categorías de vulnerable, en peligro de extinción o ya están extintas.(8)

Actualmente existen estudios que han utilizado la MG (Morfometría Geométrica) y los índices de diversidad funcional, para conocer como las actividades antropogénicas han perjudicado o no algún ecosistema, mediante individuos que sirven como bioindicadores, como los peces, lo cual muestra mediante la forma (MG) y su función en el ecosistema (índices de diversidad funcional) si existen cambios.(9)

En la MG gracias a la implementación de técnicas biométricas, instrumentos y programas computacionales que permiten la captura y análisis de datos que representan la geometría de un espécimen, se puede evidenciar cualquier cambio en la forma, entre grupos de especímenes que hayan estado ya sea con o sin la influencia de una actividad que afecta al medio.(10)

Por otra parte, la diversidad funcional, es un término un poco difícil de explicar, por tratar de resumir la diversidad de especies con su relación con la comunidad y su función dentro de un ecosistema

En términos más sencillos lo que permitirá la diversidad funcional será representar mediante datos morfológicos y funcionales la dinámica de las especies dentro del ecosistema y de esta manera ampliar nuestro entendimiento sobre cómo las actividades antropogénicas pueden modificar el funcionamiento

de los ecosistemas, analizándose en función a 5 índices independientes: riqueza funcional, equitatividad funcional, divergencia funcional, especialización funcional y por último la dispersión funcional, es por esto que los peces son un modelo adecuado para examinar el cambio en la estructura de las comunidades.(11)

1.2. Planteamiento del Problema

La contaminación de las cuencas hidrográficas por minería, la destrucción de los hábitats y la introducción de especies invasoras, son factores que amenazan la conservación no solamente de las formas de vidas existentes en el medio acuático sino también del recurso alimenticio de las generaciones futuras.(8)

Por lo tanto, la gestión de los ecosistemas dulceacuícolas tienen mayor importancia para la sociedad, principalmente porque solo existe el 1% de agua dulce a nivel global, el recurso agua como tal, se lo utiliza en cada una de las actividades que se realizan a diario como: agricultura, uso doméstico, captación de carbono, la producción de energía, etc.(12)

En los cuerpos de agua de esta cuenca hidrográfica, se ha encontrado 6 o más minerales que superan la norma ecuatoriana de los límites máximos permisibles de la calidad de agua y de sedimentos (13); los metales pesados, utilizados en el proceso de la minería, contienen una alta movilidad de partículas en el medio acuático natural y, por lo tanto, presentan un alto nivel de toxicidad en las formas de vida que lo habitan.(1)

Demostrado en un estudio realizado por la PUCESE, PRAS (Programa de Recuperación Ambiental y Social) y MAATE (Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica) en el año 2012 con un periodo de 4 meses de muestreo de metales pesados en la cuenca Santiago-Cayapas, en 24 cuerpos de agua en la zona norte de Esmeraldas donde se analizaron 52 metales en agua, 27 metales en sedimentos y 28 metales en peces y crustáceos.(13)

Tomando como ejemplo una de las localidades muestreadas (San José de Cachaví) basándose en el TULSMA en el libro VI, anexo 1 en la tabla 3, los análisis sobre la calidad de agua pasan LMP (límites máximos permisibles) de la norma ecuatoriana, se encontró que en la localidad de San José de Cachaví en

el año 2013 en el mes de octubre, los elementos que se encontraron en cantidades alarmantes son el Aluminio que pasa 60 veces su límite, el Hierro 11 veces y Manganeso pasa 3 veces más los LMP ecuatorianos de calidad de agua.(13)

Tabla 1. Calidad de agua parámetros in situ y colorimétricos

LMP (TULSMA)	Elementos	Cantidad
0,05 mg/l	Cromo	0,21 mg/l
0,02 mg/l	Cobre	1,09 mg/l
0,18 mg/l	Zinc	0,26 mg/l
0,1 mg/l	Aluminio	6 mg/l
0,3 mg/l	Hierro	3,3 mg/l
0,1 mg/l	Manganeso	0,3 mg/l

Fuente: Informe PUCESE, PRAS Y MAATE

El cromo que llega al agua o al suelo, causa efectos adversos a la salud de animales y seres humanos, para que el cromo afecte las vías respiratorias es necesario que pase 60 veces los niveles que se encuentran comúnmente en el ambiente. El cromo VI puede causar cáncer de pulmón o de estómago.(14)

Tabla 2. Contenido de metales en sedimento

TULSMA Libro VI, Anexo 2 Tabla II, (LMP)	Elementos	Cantidad
200 mg/kg	Bario	295 mg/kg
10 mg/kg	Cobalto	15 mg/kg
30 mg/kg	Cobre	54 mg/kg
20 mg/kg	Cromo	43 mg/kg
25 mg/kg	Vanadio	139 mg/kg

Fuente: Informe PUCESE, PRAS Y MAATE

Y en cuanto a los LMP de metales en sedimentos, se demostró que estos elementos excedían la cantidad que exige la norma ecuatoriana, Bario con 1,47 veces, Cobalto 1,5 veces, Cobre 1,8 veces, Cromo 2,15 veces y Vanadio 5,56 veces de las que deberían.

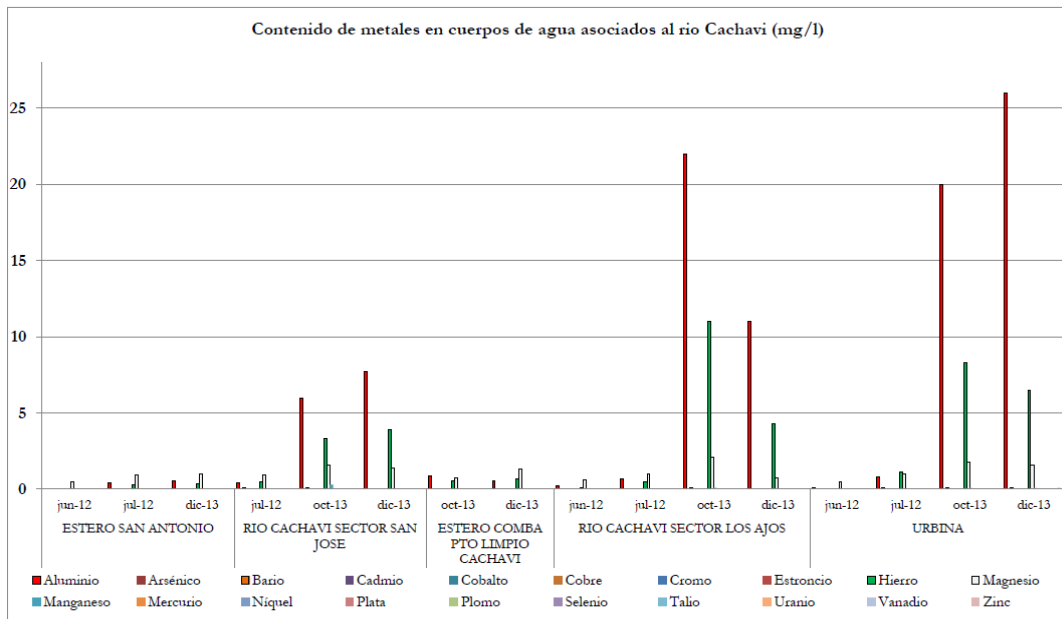


Figura 1. Contenido de metales en cuerpos de agua asociados al río Cachaví
Fuente: Informe PUCESE, PRAS, MAATE

En esta figura 1 de contenidos de metales muestreados en el río Cachaví por un laboratorio acreditado, muestra que los niveles de aluminio crecieron de manera exuberante de octubre a diciembre, en otras localidades del mismo río, y no solo metales como el aluminio sino también magnesio, hierro y plomo.

Como consecuencia de los mencionado, la diversidad de especies en esa localidad del mes de octubre a diciembre disminuyó de 8 a 5 especies; En la captura del mes de octubre se encontraron especies como: (*Chaetostoma marginatum*, *Awaous banana*, *Pimelodella elongata*, *Cichlasoma festae*, *Sternopygus arenatus*, *Rineloricaria jubata*, *Astyanax ruberrimus* y *Roeboides occidentalis*).

Mientras que para el mes de diciembre solo se encontraron especies como: (*Andinoacara blombergi*, *Sternopygus arenatus*, *Gobiomorus maculatus*, *Roeboides occidentalis* y *Bryconamericus dahlí*).

1.3 Justificación

El problema de la minería en el norte de Esmeraldas, no es solo una actividad que tenga efectos adversos en el medio ambiente, sino que también involucra a la parte social, involucra a los grupos afro ecuatorianos y a los pueblos y nacionalidades indígenas que desde siempre han vivido ahí, afectando a sus tierras, sus costumbres, su economía, su salud y su manera de subsistir con los alimentos que provee la tierra.

Debido a la presión de intereses económicos externos vinculados con la extracción de minerales preciosos, las comunidades del norte de Esmeraldas han vendido o entregado grandes extensiones de tierra por la falta de conocimiento económico y ambiental que les generan a ellos estas tierras.(15)

Específicamente en la comunidad de Wimbí, cantón San Lorenzo, al norte de la provincia de Esmeraldas, existe el despojo o la desposesión de su territorio ancestral (que de hecho no debería pasar según la Constitución), esto junto a problemas de salud debido a los químicos que se encuentran en el río que afectan a comunidades del norte de la provincia de Esmeraldas, incluyendo problemas de salud femenina en las partes íntimas en las mujeres.(16)

Otro aspecto importante que se debe tomar en cuenta es la repercusión que tiene esta acción en la fauna acuática, ya no es posible el consumo de estas especies de peces con tumores y contaminados por metales pesados encontrados en su cuerpo, como consecuencia esto afectaría a la economía de muchas familias ya que se dedican a la pesca artesanal.

Violando esta actividad de manera atroz los derechos constitucionales de estas comunidades, entonces es necesario esta investigación para que proporcione conocimiento, para que las comunidades se empoderen de sus derechos y sus recursos, incluso si no tienen el apoyo por parte de las autoridades locales, porque el sector minero es un sector estratégico para el país. Pero es importante poner en una balanza, y hacerse el cuestionamiento ¿Es más importante el dinero o el daño que esta actividad puede causarles a las comunidades del norte de Esmeraldas y sus descendientes?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Identificar patrones de la forma y función de los peces de la cuenca del río Santiago-Cayapas mediante el uso de morfometría geométrica y de análisis de diversidad funcional, para ser utilizados como bioindicadores del impacto de la minería aurífera.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar los peces de la colección de la Escuela de Gestión Ambiental (PUCESE) de los años 2016, 2017 y 2018.
- Medir el cambio en la forma de los especímenes mediante la aplicación de la morfometría geométrica.
- Evaluar el cambio en las morfo-funciones de los especímenes del río Santiago-Cayapas por medio de los índices de diversidad funcional.

2. MARCO TEORICO

2.1. Bases Teóricas y Científicas

2.1.1 Contaminación Ambiental

Se denomina a la contaminación ambiental como la presencia de elementos que son perjudiciales para las formas de vida que habitan un ecosistema, ya sea de manera natural o artificial(17) y en ambos casos si la entrada de sustancias a un ecosistema no es la misma, en otros términos, pasa la capacidad de ese ecosistema para degradar o asimilar esas sustancias, es cuando se produce una contaminación y empieza a ser perjudicial para la vida de ese lugar.(18)

2.1.1.2 Contaminación Ambiental Natural

Este tipo de contaminación es uno de los más antiguos, ya que tiene su origen en los fenómenos y procesos que realiza la tierra constantemente y siempre han existido independientemente a las actividades humanas.(18)

En el medio natural las formas que contaminación que existen son: Erupciones volcánicas, huracanes, incendios forestales, corrientes de aire, erosión del suelo, plantas toxicas, y las descargas eléctricas.(18)

2.1.1.3 Contaminación Ambiental Artificial

Tiene un punto de partida conocido como la Revolución Industrial en los años 1700, porque en esos años fue cuando aumentó y no paro de aumentar la extracción y producción de recursos utilizando químicos sintéticos y un excesivo aumento en el consumo de energía, debido también al aumento demográfico pasando la capacidad de degradar o asimilar desechos por parte del ambiente.(18)

Esta contaminación es conocida porque proviene como consecuencia de las actividades que realiza el hombre, de esta contaminación se desprender muchas más como: Contaminación del agua, suelo, aire, acústica, lumínica, etc.

2.1.2 Minería

Es una actividad productiva y extractiva, que transforma minerales del suelo o subsuelo para usos industriales, energéticos, materiales de construcción, entre otros usos; la extracción de estos minerales tiene varios tipos.(19)

2.1.2.1 Tipos de minería

Se sabe que existen dos tipos de minerales, los metálicos y los no metálicos; dentro de los metálicos están los elementos como el oro, plata, cobre, cromo, zinc, níquel, titanio, cobalto, etc., denominados metales preciosos; mientras que dentro de los no metálicos esta la sal, el cuarzo, el talco, el amianto, los fosfatos y el feldespato, piedra, cemento, grava, mármol, granito que son principalmente extraídos para construcción y también se encuentran las piedras preciosas como el diamante, esmeraldas, zafiros, rubíes, ámbar, jade, etc.(20)

Para la extracción de estas piedras preciosas y metales preciosos existen varios tipos de minería como la Subterránea, de superficie, aluvial y la minería submarina.(21)

La minería subterránea, se desarrolla dentro de la tierra a través de túneles, pozos, chimeneas y galerías verticales y horizontales. Los métodos más empleados son mediante túneles, pilares, hundimiento, corte y relleno (22)

Minería de superficie, es la que se desarrolla a cielo abierto, de manera gradual por capas o terrazas en terrenos anteriormente demarcados, para acceder a los metales preciosos en este tipo de minería es necesario remover la superficie de la tierra con maquinaria o explosivos creando inmensos cráteres de más de 100 ha con profundidades de hasta 800 m.(23)

Minería aluvial, se realizan en riberas o cauces de los ríos, se considera como el procedimiento más respetuoso con el ambiente como resultado de la reducción del impacto ambiental, permitiendo que los mineros artesanales adquieran con mayor facilidad los metales o piedras preciosas, aplicando un conjunto de técnicas rudimentarias y con mano de obra poco calificada.(24)

Minería submarina, permite obtener materiales situados bajo el océano, es un proceso en el que se utilizan grandes áreas de fuentes hidrotermales activas o extintas de 1400 a 3700 metros bajo la superficie oceánica, la razón es porque

estas fuentes hidrotermales crean depósitos de sulfuros que contienen metales preciosos como plata, cobre, manganeso, oro, cobalto y zinc.(25)

2.1.2.2 Fases de la minería

Se pueden identificar siete fases de la actividad minera según el art 27 de la Ley Minera ecuatoriana, las cuales son:

Prospección: Es donde se buscará indicios de nuevas áreas mineralizadas.(26)

Exploración: Consiste en la determinación del tamaño y forma del yacimiento, así como del contenido y calidad del mineral que existente.(26)

La exploración incluye también la evaluación económica del yacimiento porque se deben realizar estudios de mapeo geológico; muestreo geoquímico de sedimentos a lo largo de drenajes; muestreo sistemático de suelo y líneas de geofísica; y, muestreo de afloramientos y sondajes.(26)

Explotación: Es el conjunto de operaciones, trabajos y labores mineras destinadas a la preparación y desarrollo del yacimiento y a la extracción y transporte de los minerales. Entre sus principales actividades se encuentran: apertura y/o mejora de vías; instalación de campamentos y equipos de producción; extracción, triturado, transporte, molienda y concentración; construcción y operación de escombreras y depósito de relaves; transporte de concentrados a puerto marítimo; y cierre de la mina.(26)

Beneficio: Comprende el tratamiento de los minerales explotados para elevar el contenido útil o ley de los mismos.(26)

Fundición: Son los procedimientos técnicos destinados a separar los metales de los correspondientes minerales o concentrados producidos en el beneficio.(26)

Refinación: Consiste en los procedimientos técnicos destinados a convertir los productos metálicos en metales de alta pureza.(26)

Comercialización: consiste en la compra-venta de minerales o la negociación de contratos que tengan por objeto la negociación de cualquier producto resultante de la actividad minera.(26)

2.1.2.3 Impactos de la minería en el ambiente

La minería incorpora partículas sólidas en la corriente de agua, aumenta la carga de fondo, incremento en las tasas de sedimentación aguas abajo, hay variaciones en el nivel freático, variaciones en el régimen de recarga y modificaciones en el flujo subterráneo por efectos barrera, drenajes inducidos, infiltración restringida, compactación, apertura de pozos de agua estancada que posibilitan el desarrollo de vectores causantes de enfermedades endémicas, migración y destrucción de la ictiofauna.(27)

- El Agua: Contaminando a las aguas superficiales y subterráneas con metales pesados, elementos químicos y microorganismos que provienen de drenajes.
- El Aire: Con la exposición a altas concentraciones de dióxido de azufre, material particulado, metales pesados, como plomo, mercurio y cadmio.
- El Suelo: Con la precipitación de elementos tóxicos suspendidos en las emisiones atmosféricas.(28)

2.1.3 Recursos Acuáticos (peces)

Existen varias razones para trabajar con peces para estos tipos de análisis (MG y diversidad funcional) primero porque cubren muchos eslabones de la cadena alimenticia, y son capaces de acumular sustancias tóxicas y reaccionan fácilmente a bajas concentraciones de agentes mutagénicos.(29)

Cuando se contamina un ecosistema de manera natural o antropogénica, existe un filtro ambiental en el que, algunas especies serán más resistentes que las otras y se quedarán en el lugar de la perturbación, otras morirán y existirán otras especies que huyan. Es por esto que en muchos estudios se han utilizado a los peces como bioindicadores; al ver ciertas especies de las que se conoce su característica de resistencia en un ecosistema, se puede llegar a deducir la calidad de ese ambiente.(30)

Por último, son muy útiles en experimentos de toxicología cuando se trabaja con células sanguíneas con fines de monitoreo, porque los peces dulceacuícolas tienen mayor cantidad de sangre que los de agua salada.(31)

2.1.4 Morfometría Geométrica

La MG permite el estudio de la forma, definida como las propiedades geométricas restantes tras remover los efectos de la escala, la rotación y la traslación de un objeto. Una técnica dentro de estos métodos de evaluación de la forma es la búsqueda de componentes del cambio de la forma, la cual representaría todos los movimientos de los hitos, es decir, las variaciones locales y no lineales, indicando, por tanto, los cambios producidos en sectores puntuales de la forma.(32)

Los hitos en la MG hacen referencia a un punto en un sitio anatómico específico de la especie que se está analizando y que pueda ser localizado en el mismo sitio en cada una de las especies que se estén analizando. (32)

Por lo tanto, la MG ofrecería una mejor interpretación biológica y constituiría una herramienta gráfica para la visualización y cuantificación de la variación morfológica en diferentes contextos ecológicos y evolutivos.(33)

2.1.4 Diversidad Funcional

La diversidad funcional ayuda a esclarecer muchos patrones observados en las comunidades de peces y de ligarlos con los procesos que los estructuran, es por esto que los peces son un modelo idóneo para estudiar comunidades con los diferentes niveles tróficos en ambientes naturales. Actualmente, el estudio funcional de las comunidades ictiológicas cuenta con una base sólida, tanto teórica como analítica, que permite analizar los atributos funcionales, los ecosistemas dulceacuícolas proporcionan una oportunidad única para estudiar comunidades de peces.(11)

Para tener un entendimiento amplio sobre el tema, es necesario evaluarla desde varios puntos de vista, resumidos en cinco componentes independientes que varían según el autor, los cuales son:

- Riqueza funcional
- Equitatividad funcional
- Divergencia funcional
- Especialización funcional
- Dispersión funcional

Antes de explicar los cuatro componentes principales de la diversidad funcional, hay que entender algunos conceptos que mejoran la comprensión de este término, tales como: Rasgo funcional, grupo funcional, redundancia funcional y nicho funcional.

Del concepto de nicho funcional parten los demás conceptos y al que están ligados debido a que todos tratan sobre el funcionamiento dentro del ecosistema, el nicho funcional trata sobre el rol o el papel que el individuo desempeña dentro del ecosistema.(34)

Lo que el concepto de rasgo funcional quiere decir es que son los atributos físicos o fenotípicos que posee cada especie los cuales influyen en su desempeño o eficiencia biológica, relacionando el desempeño con modificaciones en el hábitat e interacciones con el ecosistema determinando si su respuesta es productiva o contraproducente bajo ciertas condiciones ambientales. (35)

El grupo funcional, como su nombre lo dice es un grupo de individuos que cumplen funciones similares dentro de un ecosistema de acuerdo con sus rasgos funcionales (morfológicos, fisiológicos, conductuales, adaptaciones evolutivas), y para que se pueda conformar un grupo funcional, se requiere que estos individuos cumplan con cinco pasos fundamentales según Fonseca y Granade(36) las cuales son: definir la razón por la cual esos individuos serán clasificados en los distintos grupos funcionales, determinar la comunidad biológica que se va a estudiar, seleccionar las funciones a evaluar, escoger los rasgos funcionales de interés y por último, con realizar una matriz especies/rasgos, y aplicarle un análisis multivariado adecuado para crear los grupos funcionales.(34)

Ahora, aunado al concepto de grupo funcional, está el concepto de redundancia funcional, haciendo referencia a que dentro del grupo funcional existen individuos que desempeñan la misma función, con los mismos niveles de tolerancia a ciertas condiciones o eventos ambientales(34)

Examinar o evaluar la diversidad funcional mediante estos componentes permite obtener más detalles sobre la funcionalidad de las especies con su entorno. La riqueza funcional permite conocer cuál es la cantidad de espacio funcional habitado sin tomar en cuenta la abundancia; La Equitatividad funcional se trata de que tan homogénea es la distribución de las especies dentro de su espacio funcional; Divergencia funcional por otro lado, trata sobre las especies dominantes que existen dentro de una comunidad y la similitud que existe entre ellas, una alta similitud representaría una reducción en la competencia por alimento o espacio e incrementaría el uso eficaz de los recursos.(34)

Los componentes de Equitatividad funcional y divergencia funcional van desde (0-1), si existe una medida baja de la Equitatividad funcional esto significa que el nicho funcional de algunas especies está siendo subutilizadas y que por ende habrá una reducción en la productividad y esto aumenta la posibilidad de que especies exóticas se establezcan.(34)

La Especialización funcional tiene como objetivo medir las diferencias que existe entre especies; Por último, la dispersión funcional es una medida que combina la equitatividad y la divergencia; es independiente de la riqueza de especies, pero dependiente de la abundancia. Un aumento en la dispersión funcional indica que las especies más abundantes de una comunidad tienen rasgos funcionales distintos entre sí.(34)

2.2. Antecedentes

La extracción de oro y plata ha tenido lugar en Ecuador hace más de 500 años (desde la época de los incas), principalmente en la provincia de El Oro, por esta razón es el nombre de la provincia a la cual durante la mayor parte del siglo XX grandes compañías mineras han dominado.(1)

En la crisis económica que arruinó el país en la década de 1980, las grandes compañías mineras cerraron, creando desempleo e incrementando el nivel de la pobreza, esta misma crisis empujó a muchas personas a invadir minas abandonadas, y llevó a la aparición de una amplia e informal actividad minera a pequeña escala.(37)

Alrededor de 60,000 ecuatorianos fueron empleados en la minería de oro a pequeña escala en el año 2000. La apertura a esta actividad extractiva se dio en los últimos años del gobierno del expresidente Rafael Correa y en el primer año de gobierno del presidente Lenin Moreno esto provocó un incremento de los conflictos socio-ambientales y otorgaron protagonismo a las comunidades de estas zonas, estas comunidades posicionaron un debate público a cerca de la defensa de la naturaleza, los territorios y la vida.(38)

En el norte de la ciudad de Esmeraldas, la minería se desarrolla desde la época precolombina, especialmente en el cantón San Lorenzo y Eloy Alfaro, los mineros artesanales extrajeron durante mucho tiempo el oro, históricamente, el mecanismo de extracción era el “lavado”, donde se utiliza una batea de madera, se toma una porción de arena del río y se “lava” en búsqueda de las “pepitas” de oro.(39)

Desde los 80's, la denominada “fiebre del oro” ha atraído a empresas mineras, privadas y públicas como la Empresa Nacional Minera (ENAMI EP), ambos bañados por la cuenca del río Santiago-Cayapas, y los principales afectados por la actividad minera producida en el territorio.(5)

La morfometría geométrica nació desde la necesidad de complementar lo que la morfometría tradicional no podía, tiene lugar aproximadamente desde el año de 1977 con el artículo científico “*The diffusion of shape*” de D.G Kendall

incentivando a nuevos investigadores a incursionar en el campo de la morfometría geométrica.(40)

Esta herramienta se ha utilizado en varias partes del mundo para distintos propósitos de investigación, por ejemplo una investigación que se realizó en la ciudad de México, en la que se llevó a cabo una comparación de las características morfológicas de 6 especies de “vieja”(*Cichlidae*), se le hicieron 33 medidas corporales, en los cuales dio como resultado la diferencia entre esos 6 taxones.(41)

En la provincia de Esmeraldas, la investigadora Glenda Bravo, utilizó a la MG como herramienta para saber el cambio en la forma de 3 especies en específico (*Eretmobrycon ecuadorensis*, *Roeboides occidentalis*, *Mesoheros festae*) que estuvieron bajo la influencia de la actividad minera que se desarrolla en el norte de la provincia de Esmeraldas en la cuenca Santiago-Cayapas. (42)

En Ecuador la utilización de la morfometría geométrica también se hizo presente, un ejemplo de ello, es la investigación de Juan Carlos Granda y Cristhian Montero, que compararon distintas poblaciones de “Guanchiche” en ecosistemas lentico y loticos.(43)

La diversidad funcional por otro lado, tuvo su inicio en el año de 1993 y tuvo bastante acogida porque al igual que la MG, nació como una necesidad de dar respuesta a los problemas de pérdida de biodiversidad en el funcionamiento de las comunidades.(44)

En las últimas dos décadas se han reforzado dos líneas de investigación; la primera incorpora la información taxonómica y evolutiva, considerando la cercanía de las especies y la ramificación de un árbol taxonómico o filogenético (45) mientras que la otra línea considera que las especies no son iguales entre si y que sus rasgos funcionales y características morfológicas permiten entender mejor la variación de la funcionalidad y la función entre las especies dentro de la comunidad.(46)

Y en la actualidad pasaron a técnicas multidimensionales, proponiendo índices de diversidad funcional independientes como riqueza, equitatividad, especialización, divergencia y dispersión funcional.(47)

2.3 Marco Legal

2.3.1 Constitución del Ecuador

En la Constitución del Ecuador existen artículos que respaldan a los territorios ancestrales de los pueblos y nacionalidades indígenas y también de los pueblos afro ecuatorianos, en ella consta el art 57 específicamente en sus ítems (5,6,7 y11), los cuales decretan los siguientes derechos colectivos:

5. Mantener la posesión de las tierras y territorios ancestrales y obtener su adjudicación gratuita.

6. Participar en el uso, usufructo, administración y conservación de los recursos naturales renovables que se hallen en sus tierras.

7. La consulta previa, libre e informada, dentro de un plazo razonable, sobre planes y programas de prospección, explotación y comercialización de recursos no renovables que se encuentren en sus tierras... Si no se obtuviese el consentimiento de la comunidad consultada, se procederá conforme a la Constitución y la ley.

11. No ser desplazados de sus tierras ancestrales

En el caso de los territorios de los pueblos en aislamiento voluntario estas tierras serán de posesión ancestral irreductible e intangible, y en ellos estará vedada todo tipo de acción extractiva.(48)

Como una de las leyes de mayor peso en el país, la constitución de la República del Ecuador, define de manera específica que no se pueden realizar actividades extractivas en territorios del estado que les pertenezcan a los pueblos indígenas y a los pueblos afro ecuatorianos, como lo son en los cantones al norte de la provincia de Esmeraldas (Eloy Alfaro y San Lorenzo), a los que las empresas mineras no les realizan la consulta previa que indica la ley, a cuales se los expropia de sus tierras, y no se los indemniza por los impactos sociales y ambientales que ocasiona la minería.

2.3.2 Código Orgánico Ambiental (COA)

El COA, es una normativa importante en temas de materia ambiental encargado de regular, restringir y sancionar actividades para hacer valer los derechos de los recursos del país, en todos los temas que involucre a la biodiversidad del Ecuador.

Para los impactos ambientales ocasionados por la actividad extractiva de minerales, se tienen artículos en la constitución y en el Código Orgánico Ambiental que defienden los derechos de la naturaleza, ya que esta es un sujeto de derecho en el país.

En el capítulo segundo, de los derechos del buen vivir, en los artículos 12, 13, 14, el estado ecuatoriano garantiza el derecho a “un ambiente sano y ecológicamente equilibrado”, el derecho al agua y a los alimentos sanos y nutritivos.(48)

En el art 397 de la Constitución de la República del Ecuador, establece: "en caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental.(49)

2.3.3 Ley Minera

En la Ley de Minas del Ecuador, se encontró una inconstitucionalidad debido a que iba en contra de las leyes de protección a estos grupos indígenas y los grupos afro ecuatorianos.

En la Sentencia de la Corte Constitucional, en la que declara la inconstitucionalidad respecto a los territorios de comunidades indígenas, afro ecuatorianas y montubias, la cual se puede ver en el Registro Oficial Suplemento 176 de 21 de abril de 2010, página 1.(50)

En esta ley se regula y posibilita, la exploración y explotación minera en territorios donde habitan estos pueblos, nacionalidades, comunas y comunidades indígenas, montubias y afro ecuatorianas.

Aun así, se encontraron artículos que esta ley tiene en beneficio de las comunidades a ser explotadas como en los artículos:

Art 40: El Gobierno destinará los recursos económicos correspondientes al 3% de las ventas de los minerales explotados, a proyectos de desarrollo local sustentable, a través de los gobiernos municipales y juntas parroquiales y, de ser el caso, a las instancias de gobierno de las comunidades indígenas, para lo cual se establecerá la normativa respectiva.

Art. 70.- Resarcimiento de daños y perjuicios: Los titulares de concesiones y permisos mineros están obligados a ejecutar sus labores con métodos y técnicas que minimicen los daños al suelo, al medio ambiente, al patrimonio natural o cultural, a las concesiones colindantes, a terceros y, en todo caso, a resarcir cualquier daño o perjuicio que causen en la realización de sus trabajos.(51)

3. METODOLOGIA

El área de estudio (Figura 2) se desarrolló en los cantones de Eloy Alfaro y San Lorenzo en el norte de la provincia de Esmeraldas, ambos cantones están bajo la influencia hídrica de la cuenca Santiago-Cayapas, la cual drena un área de 6321 km² que desemboca en el Océano Pacífico.(52); Se tomaron alrededor de 143 muestras con coordenadas en 14 diferentes localidades de los cantones ya mencionados.

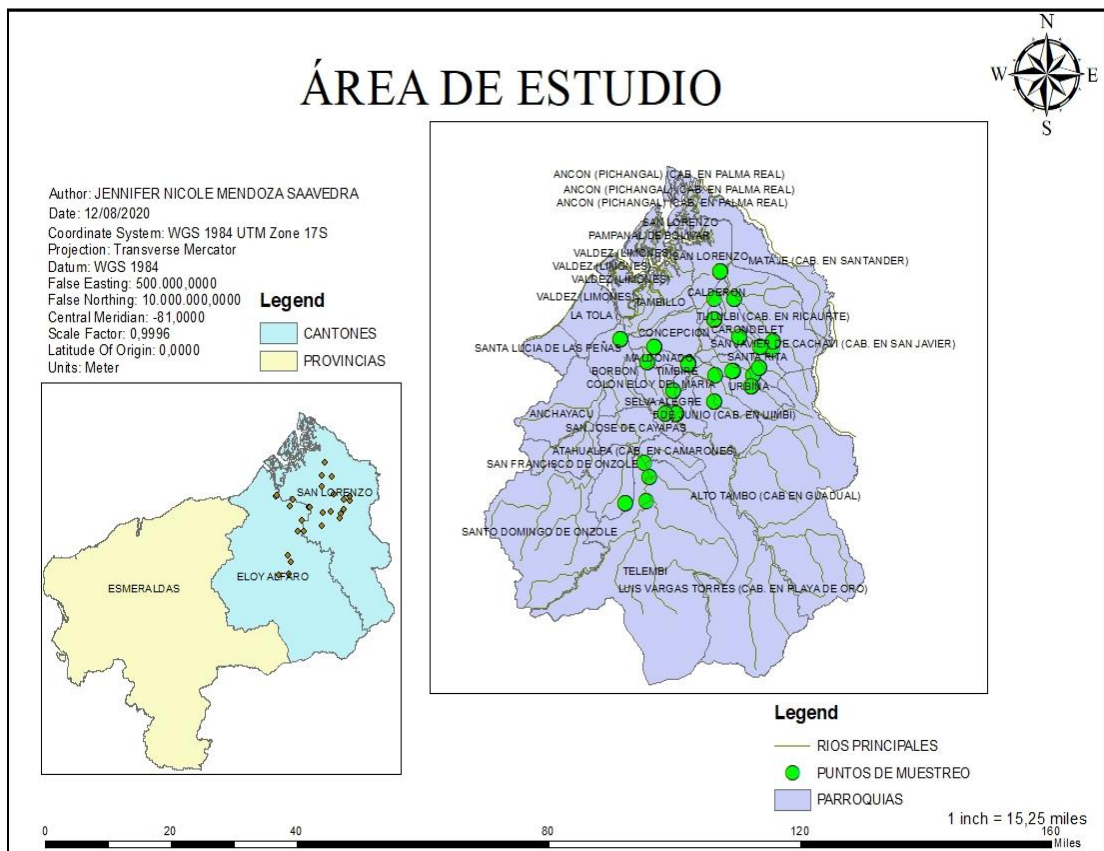


Figura 2. Área de estudio

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo el cantón Eloy Alfaro tiene una población de 39,739 habitantes distribuidos en una parroquia urbana y 14 parroquias rurales. El cantón San Lorenzo cuenta con 42,486 habitantes distribuidos en una parroquia urbana y 12 parroquias rurales.(53)

La investigación fue netamente observacional, debido a que se recopilaban los datos de los peces de la colección del Laboratorio de la Escuela de Gestión

Ambiental de la PUCESE de los años 2016, 2017 y 2018, en los que se midieron variables continuas.(54)

Para la realización de este estudio se hizo una división a la cuenca, por estaciones trabajando con cuatro zonas:

- Una Zona de Control (sin actividad minera al momento del muestreo o anterior).
- Una Zona de Impacto directo (Con actividad minera al momento del muestreo).
- Una Zona de Recuperación (sin actividad minera al momento del muestreo).
- Una zona de mezcla distante (zona de confluencia y cercana al estuario).

3.1. Seleccionar los especímenes de peces de la colección de la Escuela de gestión Ambiental PUCESE apropiados para este tipo de análisis

De acuerdo con los planteado se procedió a seleccionar los especímenes, dentro de la colección de peces del Laboratorio de la Escuela de Gestión Ambiental de la PUCE-SE; que son el resultado de los muestreos en los cantones Eloy Alfaro y San Lorenzo. Se encuentran originalmente en 34 tarros, los cuales corresponden a las 14 localidades de: Zapallito, Concepción, San Agustín, Durango, Cachavi, Palaví, Bogotá, Peña lisa, Valle de la virgen, Minas viejas, Wimbicito, Wimbí, María alta, Estero comba; localidades que se ven afectadas por la minería aurífera. El conteo de los individuos arrojó un resultado de 1865 especímenes en total, para los años 2016, 2017 y 2018.

Se procedió de revisar todos y cada uno de esos 1865 especímenes, los que posteriormente serían utilizados para los distintos análisis de morfometría geométrica y diversidad funcional. Inicialmente, se procedió al reconocimiento y determinación de las diferentes especies existentes, las familias a las que pertenecían; así como generar una codificación, útil en la elaboración de una matriz que tuviera la información y diferenciación de cada

espécimen. El etiquetado se realizó de manera individual y secuencial; Los ítems con los que cuenta la matriz, que otorgaron información del pez, fueron: año de captura, familia a la que pertenecen, nombre científico y, por último, su peso y talla estándar.

Una vez realizado este procedimiento y con la información que se necesitaba, se realizaron nuevos códigos que sirvieron para las fotografías de morfometría geométrica.

3.2. Medir el cambio en la forma de los especímenes del río Santiago-Cayapas mediante la aplicación de la morfometría geométrica

Para este objetivo se utilizó 1568 especímenes; los cuales fueron identificados con etiquetas con información del año de captura, localidad, nombre científico, y diferenciación de zona de impacto, recuperación o control y, por último, el número del individuo, ejemplo (16-Sa-Ee-ZI-05). En los casos donde el número de especie por localidad pasaba los 30 individuos, se seleccionaban 30 individuos al azar.

Con el uso de una cámara Nikon D5 100 24 MP con lente AF-S Nikkor 18-55 1:3.5 - 5.6 G, un trípode y una regla, se tomaron fotografías con una alta calidad, todas a una misma altura. A todos los peces se les tomo la foto con la regla ubicada en la parte inferior. Todas estas imágenes fueron útiles para visualizar las zonas donde se colocarían los hitos en los peces.

Se seleccionaron hitos, según tres grupos de especie tipo, debido a la gran diferencia que existía en la forma del cuerpo entre especies; como la disposición de las aletas, ya que existen especies como: *Sternopygus arenatus* que carecen de aleta dorsal y aleta pélvica; como *Gasteropelecus maculatus* que carecen de aleta pélvica; a diferencia del resto de especies que si presentan todas las aletas.

Por esta razón se procedió a realizar la diferenciación por familias y no se pudo hacer un solo análisis global para todas las especies. Para las especies que pertenezcan a las familias: Curimatidae, Erythrinidae, Lebiasinidae, Characidae, Bryconidae, Pseudopimelodidae, Heptapteridae, Loricariidae, Poeciliidae,

Belonidae, Mugilidae, Cichlidae, Eleotridae y Gobiidae que tienen todas las aletas se usaron un número total de 13 hitos:

1. Hocico
2. Inicio de la cabeza
3. Inicio de la aleta dorsal
4. Final de la aleta dorsal
5. Inicio de la aleta caudal
6. Final de la aleta caudal
7. Final de la aleta anal
8. Inicio de la aleta anal
9. Inicio de la aleta pélvica
10. Inicio de la aleta pectoral
11. Final de la cabeza
12. Inicio del ojo
13. Final del ojo

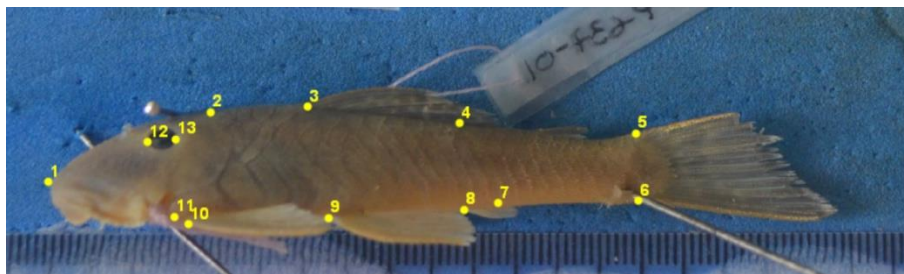


Figura 3. *Chaetostoma marginatum* perteneciente a la familia Loricariidae

Las especies pertenecientes a la familia Sternopygidae tuvieron 10 hitos.

1. Hocico
2. Inicio de la cabeza
3. Inicio del pedúnculo caudal
4. Final del pedúnculo caudal
5. Final de la aleta anal
6. Inicio de la aleta anal
7. Final de la cabeza
8. Inicio de la aleta pectoral
9. Inicio del ojo
10. Final del ojo

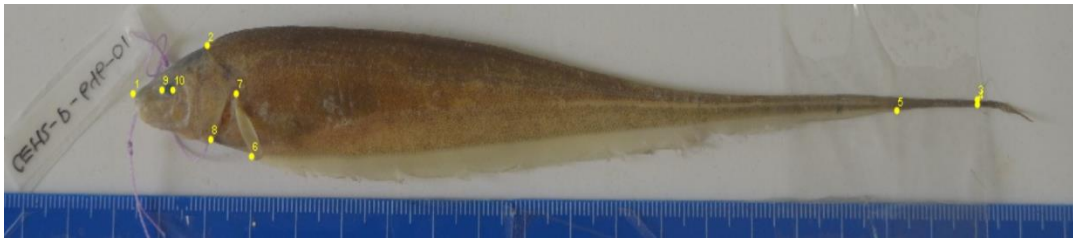


Figura 4. *Sternopygus arenatus* perteneciente a la familia Sternopygidae

Las especies pertenecientes a la familia de Gasteropelecidae tuvieron 12 hitos

1. Hocico
2. Inicio de la cabeza
3. Inicio de la aleta dorsal
4. Final de la aleta dorsal
5. Inicio del pedúnculo caudal
6. Final del pedúnculo caudal
7. Final de la aleta anal
8. Inicio de la aleta anal
9. Inicio de la aleta pectoral
10. Final de la cabeza
11. Inicio del ojo
12. Final del ojo

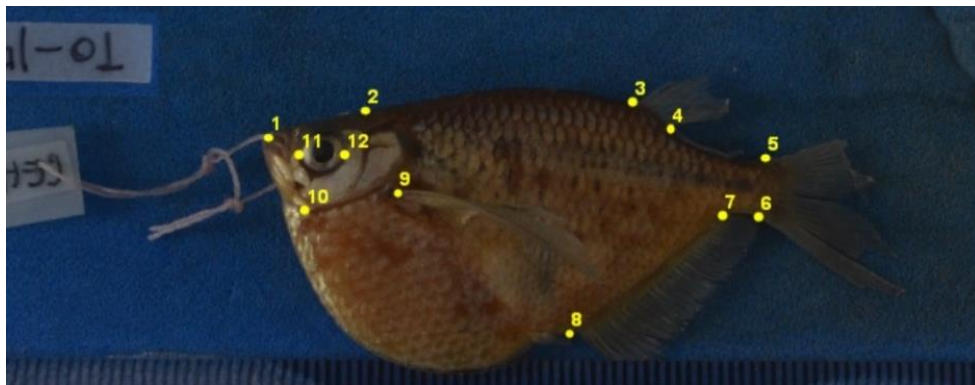


Figura 5. *Gasteropelecus maculatus* perteneciente a la familia Gasteropelecidae

Luego de tomar las fotos, cada individuo con su respectivo código, se archivaron en tres carpetas, una para cada año, y dentro de cada una de ellas se reagrupaban nuevas carpetas según sus localidades de captura; finalmente, otras carpetas con los respectivos nombres científicos. Cada fotografía fue nombrada con exactamente el mismo código de la etiqueta que contenía cada individuo.

Para el análisis de las fotografías se utilizó un software de libre acceso que contiene 3 paquetes informáticos que son: tpsUtil32(64), tpsDig32 y tpsRelw32. El primer paquete informático que se utilizó (TpsUtil, Figura 6), permite crear una carpeta que contendrían las imágenes de los distintos individuos y construiría un archivo tps para cada especie en cada carpeta, para su utilización en los siguientes paquetes informáticos.

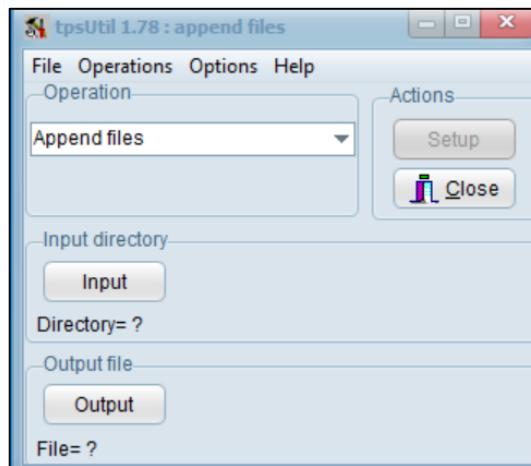


Figura 6. Software de acceso libre TpsUtil32

El segundo paquete (TpsDig, Figura 7), luego de acceder al tps creado anteriormente, se digitalizan y registran los hitos en cada uno de los individuos (detalle de hitos más adelante), vale recalcar que, se deben digitar todos los hitos en un mismo orden y que cada individuo debe tener la misma cantidad de hitos.

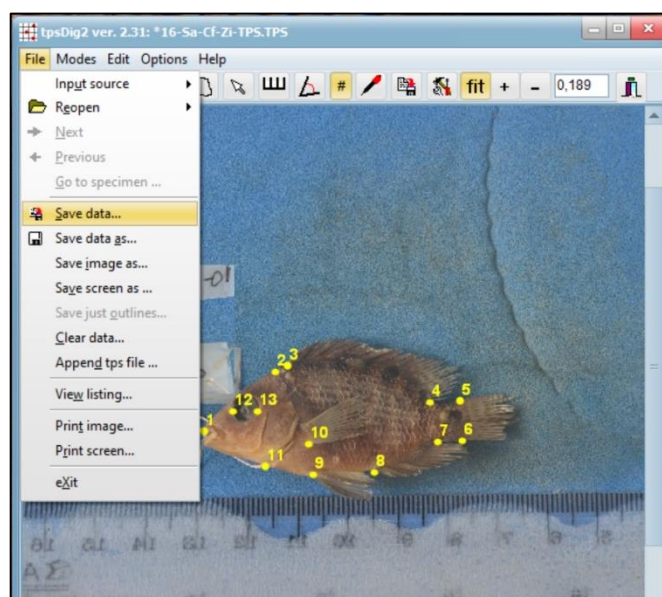


Figura 7. Software de acceso libre TpsDig32

El tercer paquete (TpsRelw, Figura 8), fue utilizado para verificar la ubicación correcta de hito en cada individuo, según corresponda.

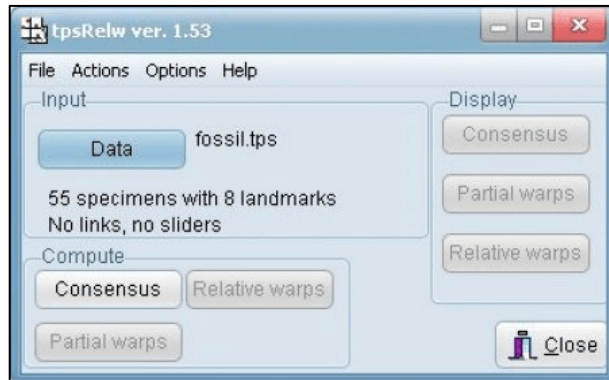


Figura 8. Software de acceso libre TpsRelw32

En el programa MorphoJ (Figura 9) es donde se podrá llevar a cabo la unificación y homologación de los hitos digitados anteriormente en el TpsDig32, entre los diferentes especímenes; y como resultado poder ver, tanto la forma consenso de los individuos, como la diferenciación entre ellos a través del análisis de variables canónicas.

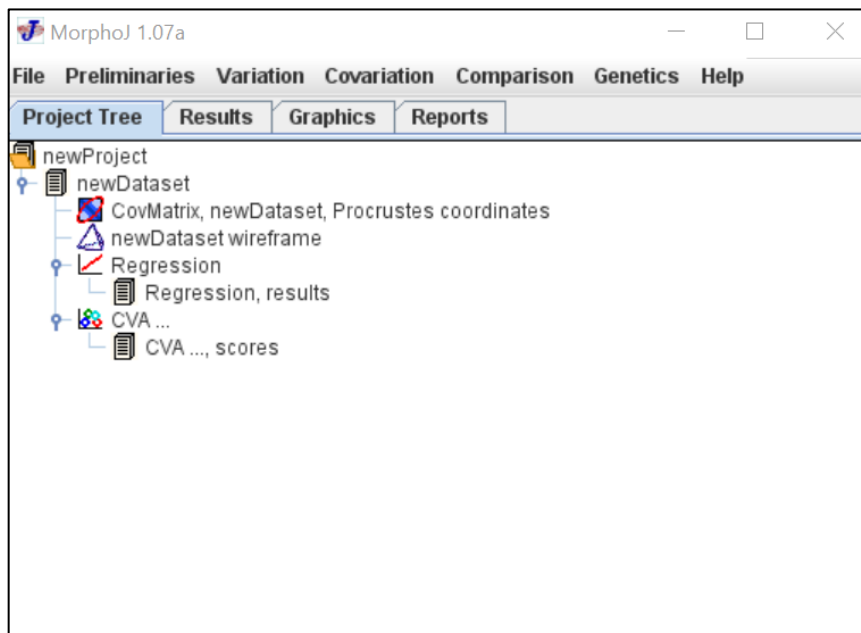


Figura 9. Software de acceso libre Morpho J

Una explicación más detallada sobre el uso y significado de estas herramientas informáticas para morfometría geométrica puede ser consultada en el libro “Guía práctica de Morfometría Geométrica- Aplicaciones en la ictiología.”(40).

Los análisis de la forma pura en el cuerpo de los peces, mediante la morfometría geométrica, fueron realizados con el software MorphoJ vers. 1.8.0_151 (55). La alineación de Procrustes se realizó por el método de "Principal Axes" para obtener la matriz de covarianza, que fue generada para cada especie como en su conjunto, según cada punto de muestreo donde fueron recolectados para todo el periodo de estudio, y agrupados por gremio, hábitat y grupo funcional (información obtenida a partir del objetivo tres). Un análisis de componentes principales (ACP o PCA) fue realizado utilizando esta matriz de covarianza para explorar los principales patrones de variación en la forma del cuerpo de cada grupo.

El impacto de la alometría fue evaluado mediante una regresión entre el componente principal 1 sobre el logaritmo natural del tamaño centroide (40). Para diferenciar la forma que adquiere esa alometría, se utilizó la variación en la forma del cuerpo de cada especie relacionada a la alometría cuando era alto ($P < 0.0001$), entonces se usaron los residuales de esta regresión, que representan la variación real en la forma del cuerpo, independiente al tamaño del espécimen, para finalmente hacer análisis de variantes canónicas (AVC) sobre el tamaño centroide. El AVC se realizó para cada especie en cada zona de estudio (Control, Impacto, Recuperación y Mezcla distante) y también gremios y hábitat globales. Se usaron las variables canónicas uno (CV1) que se expresa de izquierda a derecha y por otro lado la variable canónica dos (CV2), que se manifiesta de abajo hacia arriba. En ambos casos, mostrando los cambios en su forma, según la mayor cantidad de varianza acumulada entre ellas

3.3. Detectar el cambio en las morfo-funciones de los especímenes del río Santiago-Cayapas debido a la presencia de minería aurífera en diferentes cauces.

Para este estudio de diversidad funcional se utilizaron y midieron 1797 peces con el uso de calibradores digitales, precisión de 0,01 mm, de la marca Stanley Digital Caliper. Primeramente se realizó un análisis de la diversidad taxonómica, por medio del cálculo de los índices de Shanno.Winner (H') y su equivalente en equidad (H'/H_{max}), con el desarrollo de dendrogramas a partir del análisis de medias con el método DGC.(56)

Posteriormente se realizó la identificación de 28 puntos homólogos para todos los peces estudiados (Figura 10); a partir de estos puntos, se tomaron 30 mediciones (Tabla 3).

Tabla 3. Lista de mediciones obtenidas a partir de los 28 puntos homólogos de la figura 1. Origen (Punto de referencia donde inicia la medición) y Fin (Punto de referencia donde termina la medición)

Código	Medida	Origen	Fin
M1:	Longitud estándar	1	26
M2:	Altura de la boca	1	6
M3:	Longitud de la cabeza	1	11
M4:	Longitud de la maxila	1	2
M5:	Longitud del hocico	1	3
M6:	Altura de la aleta dorsal	16	29
M7:	Longitud de la aleta dorsal	16	28
M8:	Altura del cuerpo	13	15
M9:	Altura de la cabeza (1)	10	12
M10:	Altura de la cabeza (2)	8	9
M11:	Altura de la cabeza (3)	4	6
M12:	Altura del ojo	5	6
M13:	Longitud de la mejilla	7	11
M14:	Diámetro del ojo	3	7
M15:	Base de la boca	2	6
M16:	Inserción de la pectoral	13	14
M17:	Longitud de la aleta pectoral	14	21
M18:	Altura del cuerpo pectoral	13	15
M19:	Longitud de la aleta pélvica	17	18
M20:	Altura de la aleta pélvica	18	19
M21:	Altura de la aleta anal	22	23
M22:	Longitud de la aleta anal	22	24
M23:	Altura del pedúnculo caudal	25	27
M24:	Longitud del pedúnculo caudal	26	28
M25:	Altura de la aleta pectoral	20	21
M26:	Inserción de la aleta dorsal	1	16
M27:	Inserción de la aleta pectoral	1	14
M28:	Inserción de la aleta pélvica	1	17
M29:	Inserción de la aleta anal	1	22
M30:	Pectoral vs Pélvica	13	14

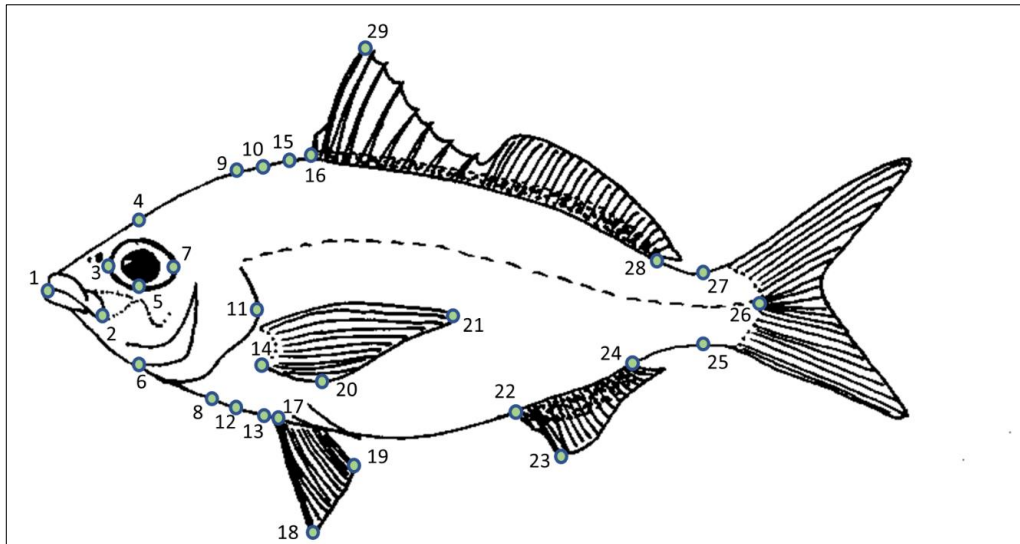


Figura 10. 28 puntos homologos para todos los peces analizados

Con estas medidas se realizaron las fórmulas de atributos eco-morfológicos, obtenidas de diferente bibliografía, logrando Variables D_x (Tabla 2); a estos rasgos funcionales suaves se adicionó uno duro, que es el nivel trófico. Mediante un análisis de correlación de Pearson, se excluyeron del análisis aquellas variables (D_x) cuyo valor generó un coeficiente mayor a 0.7, todos aquellos con valor superior, fueron considerados como redundantes y por lo tanto, fueron eliminados del estudio.(57)

Para entender la diversidad funcional de una comunidad es necesario elegir los rasgos funcionales que serán objeto de estudio; pero establecer cuáles son los más apropiados para entender la función de una especie dentro de un ecosistema no es una tarea fácil. En este sentido, existen investigadores que proponen la necesidad de diferenciar entre rasgos funcionales, denominados como “duros” y rasgos funcionales llamados “suaves”(58). Los primeros identifican una función de interés y normalmente están asociados a la biología de los organismos, un ejemplo es su posición en estructura trófica (59); los segundos valoran esas funciones, de manera indirecta, a través de mediciones sencillas y rápidos, un ejemplo son las particularidades morfológicas y que pueden utilizarse como indicadores de la función de los organismos con respecto al uso de los recursos (60), obviamente para utilizar este tipo de rasgos suaves se debe utilizar características morfológicas con relevancia funcional, fáciles de medir.(61)

Tabla 4. Atributos morfo-funcionales derivados de las mediciones de la tabla 3

Variable	Nombre	Fórmula	Característica	Referencia	Atributo
D1	Posición de la apertura bucal	M2/M11	Alimentación	Villéger et al., 2010; Elleouet et al., 2014	Valores altos indican abertura bucal inferior, propio de peces bentónicos que aprovechan recursos del sustrato
D2	Posición del ojo	M12/M11	Hábitat	Elleouet et al., 2014; Lefcheck et al 2014	Valores altos indican peces con ojos orientados hacia la parte superior, bentónicos o bentopelágicos
D3	Tamaño del ojo I	M14/M11	Alimentación	Elleouet et al., 2014; Lefcheck et al 2015	Valores bajos implican uso visual mínimo (ojo pequeño) en la captura de presas y en la movilización
D4	Altura relativa del cuerpo	M18 / M1	Hábitat	Reecht et al., 2013; Elleouet et al, 2014	Valores bajos indican peces de cuerpo bajo o muy relacionados con el bentos; valores altos peces mayoritariamente nadadores pelágicos
D5	Posición de la aleta pectoral	M16/M18	Maniobrabilidad	Elleouet et al., 2014; Lefcheck et al., 2014	Valores bajos indican un cuerpo poco alto y alargado, por lo tanto, con pectoral menos útiles en la maniobrabilidad.
D6	Aspecto de la aleta anal	M21 / M22	Maniobrabilidad/propulsión	Breda, 2005; Soares et al., 2013	Valores altos implica que la aleta anal es corta pero alta, útil en la maniobrabilidad; contrario a valores bajos donde la aleta anal es larga pero poco alta, útil en la propulsión.
D7	Longitud relativa de la aleta pectoral	M17 / M1	Maniobrabilidad/propulsión	Lefcheck et al., 2014	Valores altos implican una mayor propulsión sobre maniobrabilidad
D8	Proporción de la aleta pectoral	M25/ M17	Maniobrabilidad	Payan-Alcacio J. 2016	Valores altos implican mayor maniobrabilidad menor potencia
D9	Propulsión del pedúnculo caudal	M23/ M24	Propulsión	Webb, 1984; Elleouet et al., 2014	Valores bajos indican mayor potencia y maniobrabilidad en la propulsión del cuerpo, que normalmente son muy alargados

D10	Longitud relativa del pedúnculo caudal	M24 / M1	Propulsión	Winemiller, 1991; Soares et al., 2013	Valores altos (pedúnculos largos) indican peces bentónicos o bentopelágicos, cuya característica es una fuerte propulsión caudal
D11	Longitud de la mandíbula	M4 / M3	Alimentación	Sibbing & Nagelkerke, 2001; Lefcheck et al., 2014	Valores altos pueden indicar peces con capacidad de comer presas grandes
D12	Altura relativa de la cabeza	M9 / M8	Alimentación	Willis et al., 2005; Soares et al., 2013	Valores mayores se encuentran en peces que se alimentan de peces de mayor tamaño (depredadores)
D13	Tamaño de la cabeza	M3 / M1	Alimentación	Pouilly et al., 2003; Soares et al., 2013	Valores altos implican una mayor capacidad de captura de presas; en hábitats bentopelágicos
D14	Altura relativa de la boca	M2 / M1	Hábitat	Willis et al., 2005; Soares et al., 2013	Valores altos (boca grande) pueden indicar peces con capacidad de comer presas grandes, principalmente desde abajo hacia arriba en la columna de agua
D15	Aspecto de la boca	M4 / M5	Alimentación	Payan-Alcacio J. 2016	Valores altos indican una boca superior y grande (largos maxilares), importantes en la captura de presas; de hábitat bentopelágicos y pelágicos.
D16	Tamaño del ojo II	M14/M3	Alimentación	Payan-Alcacio J. 2016	Valores altos implica mayor uso de vista (ojos grandes) en la búsqueda de presas
D17	Proporción de las aletas de dirección	M22/ M7	Maniobrabilidad	Payan-Alcacio J. 2016	Cero es la ausencia de alguna de las aletas. Valores altos son propios de peces bentopelágicos y pelágicos, que utilizan más la aleta anal (que es más larga que la dorsal) como estabilización en el nado rápido y la maniobrabilidad.
NT	Nivel Trófico	-	-	Froese et al., 1992.	Valores bajos tienen al vegetarianismo, intermedios al omnivorismo y los altos al carnivorismo

Por esta razón, se han reconocido al menos dos funciones clave: la obtención de alimento y la locomoción (62). Cada una de estas funciones es explicada por varios rasgos funcionales que a su vez se calculan utilizando medidas morfo-anatómicas. Este concepto, además es también usado en la determinación de modelos poblacionales y comunitarios ante la presencia de disturbios ambientales.(63)

Los grupos funcionales ayudan a reconocer la semejanza entre especies dentro de una comunidad tomando en cuenta argumentos de diferente naturaleza biológica, diferenciando grupos de especies cuyas características funcionales y estrategias para la obtención de algún recurso son similares (64). Obviamente son grupos de organismos que tienen respuestas similares ante elementos ambientales.(65)

Una vez eliminadas las variables redundantes, se realizó un análisis de conglomerados jerárquicos, cuyo objetivo es generar una partición de las especies de acuerdo a rasgos de interés y como no requiere de suposiciones de agrupamiento a priori, se usó para realizar clasificaciones con variables continuas.(66)

Para hacer el análisis de conglomerados jerárquicos se seleccionó un método o algoritmo de encadenamiento y una medida de distancia o similitud (67), en este caso se usó el método Ward, que incluye la información de la covarianza entre rasgos funcionales, lo que produce grupos más diferenciados entre sí, al minimizar la varianza dentro de los grupos y maximizar la varianza entre ellos; además de la distancia de Mahalanobis, ya que los rasgos considerados, por tratarse de métricas cuantitativas de organismos con simetrías, están muy correlacionados.(66)

Para identificar si los diferentes grupos funcionales tenían diferencias significativas entre ellos se realizó un análisis multivariado de la Varianza (MANOVA), con la finalidad de verificar que tan diferentes resultan ser los grupos determinados con el análisis de conglomerados jerárquicos. Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para entender la relación entre las diferentes variables morfológicas (D_x) y las zonas de estudio (Control, Minería, Recuperación y Mezcla distante).

Si bien el enfoque de grupos funcionales que analiza el nivel al cual las diferencias interespecíficas son funcionalmente significativas es arbitrario, se asume también que las especies de un mismo grupo son funcionalmente iguales (es decir que las especies dentro de un mismo grupo terminan siendo redundantes) y también que todos los pares de especies de diferentes grupos son diferentes. Dicho de otra manera, al agregar una especie de un nuevo grupo funcional a una comunidad, aumenta la riqueza funcional de dicha comunidad.(68)

Los cálculos de los diferentes índices de diversidad funcional fueron obtenidos con el programa Fdiversity que utiliza plataforma de código abierto es *R* (56) y para el resto de análisis se utilizó InfosTat.

Se utilizó, a la zona y a los años, como factores de condición; se ingresaron todas las variables, menos la D9 y D16, por ser redundantes, y el nivel trófico, es decir un total de 15 variables de análisis; las frecuencias como pesos y las localidades como unidades de muestreo. Se usó la distancia euclídea para la matriz de distancias.

Para la comparación de medias de los diferentes índices de diversidad funcional, se utilizó la técnica multivariada del análisis de conglomerados (encadenamiento promedio) sobre una matriz de distancia, denominada DGC (69), con lo que a partir del resultado del análisis de conglomerado se obtiene un árbol binario en el cual puede observarse la secuencia jerárquica de formación de conglomerados; se designa como Q a la distancia entre el origen y el nodo raíz del árbol (aquel en el cual se unen todas las medias), para construir una prueba con nivel de significación α .(70)

Las medias (o grupos de medias) unidas en nodos que están por encima de Q , se pueden considerar estadísticamente diferentes para el nivel de significación α ; con este análisis se puede lograr identificar tendencias, cuando el análisis de las varianzas no refleja diferencias significativas.(69)

4. RESULTADOS

4.1. Selección de los especímenes de peces de la colección de la Escuela de gestión Ambiental PUCESE apropiados para este tipo de análisis

Para este estudio existen 16 familias identificadas: Curimatidae, Erythrinidae, Lebiasinidae, Gasteropelecidae, Characidae, Bryconidae, Heptapteridae, Loricariidae, Sternopygidae, Poeciliidae, Mugilidae, Cichlidae, Eleotridae, Gobiidae, Pseudopimelodidae y Belonidae; siendo Characidae la familia con el mayor número de individuos.

Se determinan y utilizan un total de 37 especies para este estudio: *Pseudocurimata lineopunctata*, *Hoplias malabaricus*, *Lebiasina astrigata*, *Gasteropelecus maculatus*, *Astyanax ruberrimus*, *Eretmobrycon brevirostris*, *Hyphessobrycon sp. nov.*, *Pseudochalceus longianalis*, *Pseudochalceus bohlkei*, *Roeboides occidentalis*, *Brycon dentex*, *Brycon posadae*, *Brycon oligolepis*, *Brycon atrocaudatus*, *Pimelodella elongata*, *Pimelodella grisea*, *Pimelodella modestus*, *Rhamdia quelen*, *Chaetostoma marginatum*, *Rineloricaria jubata*, *Sturisomatichthys frenatum*, *Sturisomatichthys panamense*, *Sternopygus arenatus*, *Sternopygus macrurus*, *Pseudopoecilia fría*, *Dajaus monticola*, *Andinoacara blombergi*, *Mesoheros festae*, *Mesoheros ornatus*, *Eretmobrycon ecuadorensis*, *Eleotris picta*, *Gobiomorus maculatus*, *Hemieleotris latifasciata*, *Awaous transandeanus*, *Sicydium hildebrandi*, *Strongylura fluviatilis* y *Batrochoglanis transmontanus*.

Seleccionando, para morfometría geométrica, un total de 1568 individuos; los cuales tenían las condiciones apropiadas para este tipo de análisis (completos y bien conservados), fueron descartados 297 especímenes en estado inapropiado. Para diversidad funcional se utilizaron 1797 individuos apropiados para este tipo de análisis, con un descarte de 68 especímenes por estado inapropiado o exceso en número.

4.2. Medida del cambio en la forma de los especímenes del río Santiago-Cayapas mediante la aplicación de la morfometría geométrica

Aunque se realizó el análisis en absolutamente todos los individuos, seleccionados como apropiados, la presencia escasa en el número de algunos grupos taxonómicos y/o la identificación de no efectos significativos en el análisis de la forma pura de sus cuerpos, precisó el filtrado de los resultados únicamente a las familias Bryconidae, Characidae, Cichlidae, Eleotridae, Heptapteridae y Loricariidae; las cuales además fueron directamente sometidas a una comparación en consideración a las zonas de afectación minera (Control, Impacto y recuperación) para los análisis de variables canónicas..

Bryconidae. _ En el análisis de la variable canónica 2 (CV2), en las zonas de impacto y de control, nos permite entender que existen diferencias significativas en la forma del cuerpo, aunque hay que resaltar que la zona de control está representada por un individuo (Figura 11), aunque es importante señalar que es necesario un mayor esfuerzo de muestreo para ratificar esta tendencia.

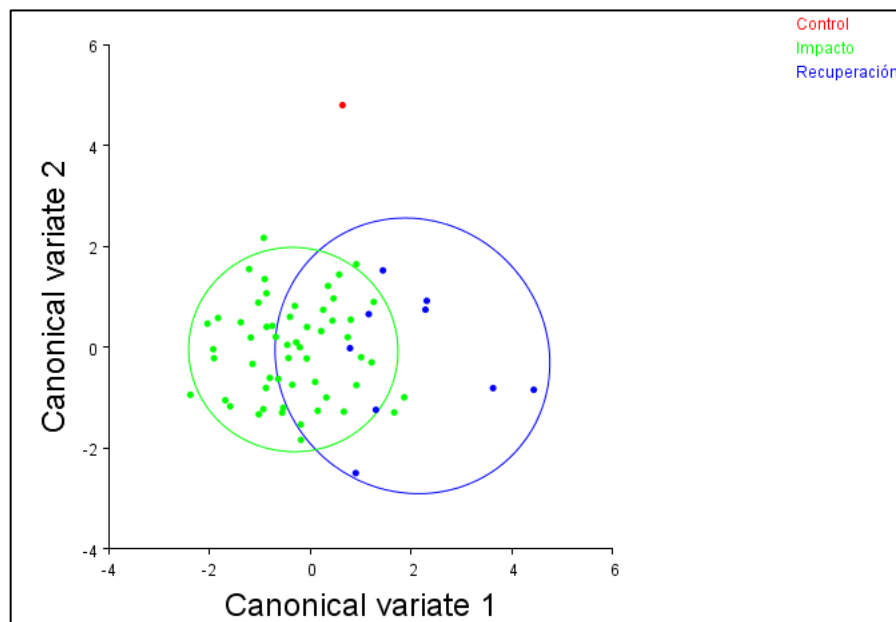


Figura 11. Análisis de las variables canónicas en la familia Bryconidae entre zonas

El análisis del CV2, indica que la forma de las especies de la familia Bryconidae, en la zona de control (Figura 10, punto rojo) a diferencia de las especies que se encuentran en la zona de impacto (Figura 11, elipse celeste) presentan cambios en la altura de cuerpo. La altura del cuerpo se reduce en las zonas de impacto. Otro cambio que existe en la zona de impacto es que el punto 1, que corresponde al hocico, se levanta un poco (Figuras 12 y 13).

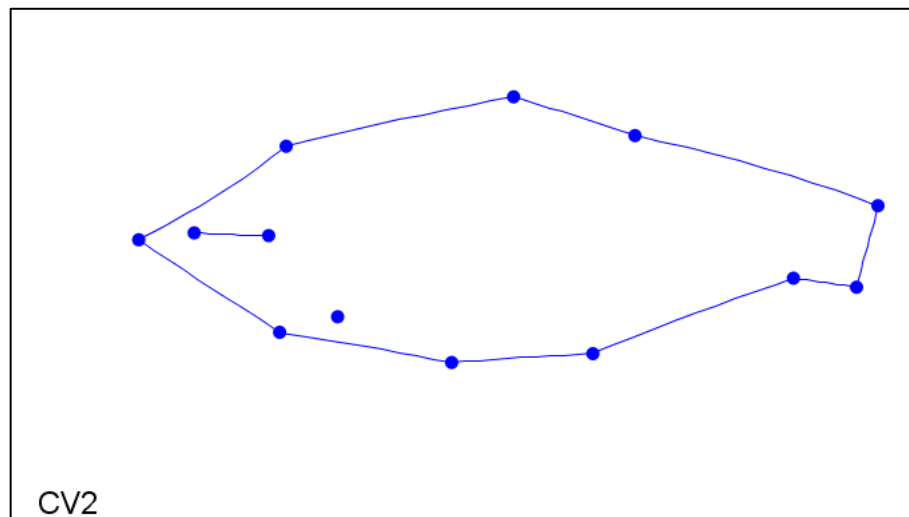


Figura 12. Forma de los Bryconidae en la zona de control (factor de escala -4.0)

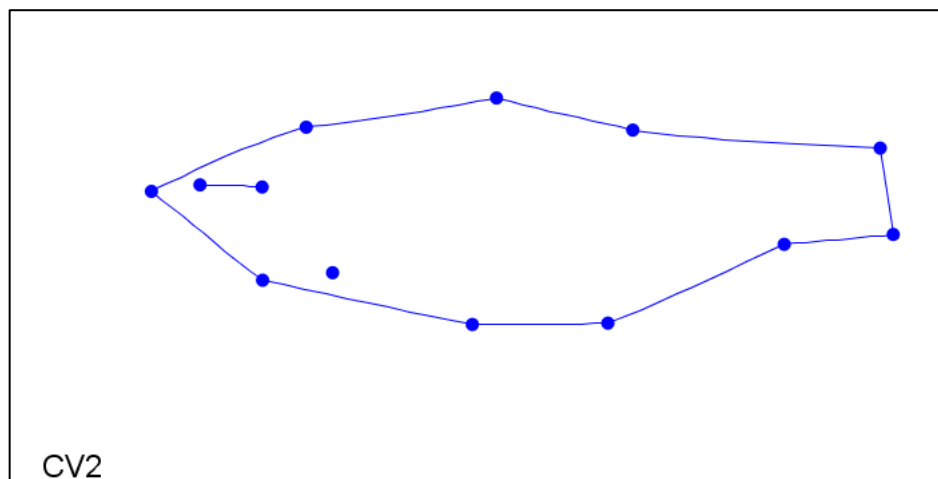


Figura 13. Forma de los Bryconidae en la zona de impacto (factor de escala 4.0)

Characidae. _ Como se ha dicho anteriormente, tiene una gran cantidad de especies que están presentes en toda la cuenca, y los resultados que el análisis de variables canónicas arrojó (Figura 14), es que no hay diferencias claras entre las zonas de control (rojo), de impacto (celeste) porque existe un solapamiento total de las zonas y es complicado indicar que existen tendencias.

Es un claro ejemplo de que esta familia es muy resistente a impactos ambientales en el medio y por ende no es una buena opción como bioindicadora de calidad de agua.

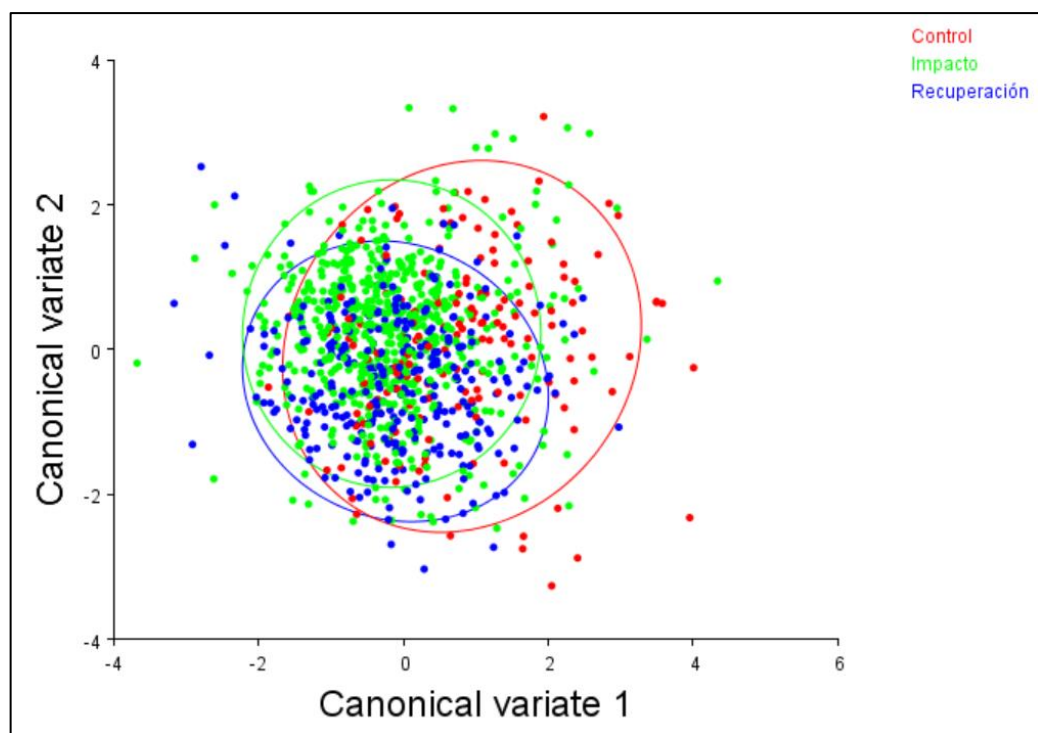


Figura 14. Análisis de las variables canónicas en la familia Characidae entre zonas

Cichlidae. _ Se muestra lo mismo en cuanto al solapamiento de las zonas, y la variable canónica 1, no proporciona mayor información (Figura 15).

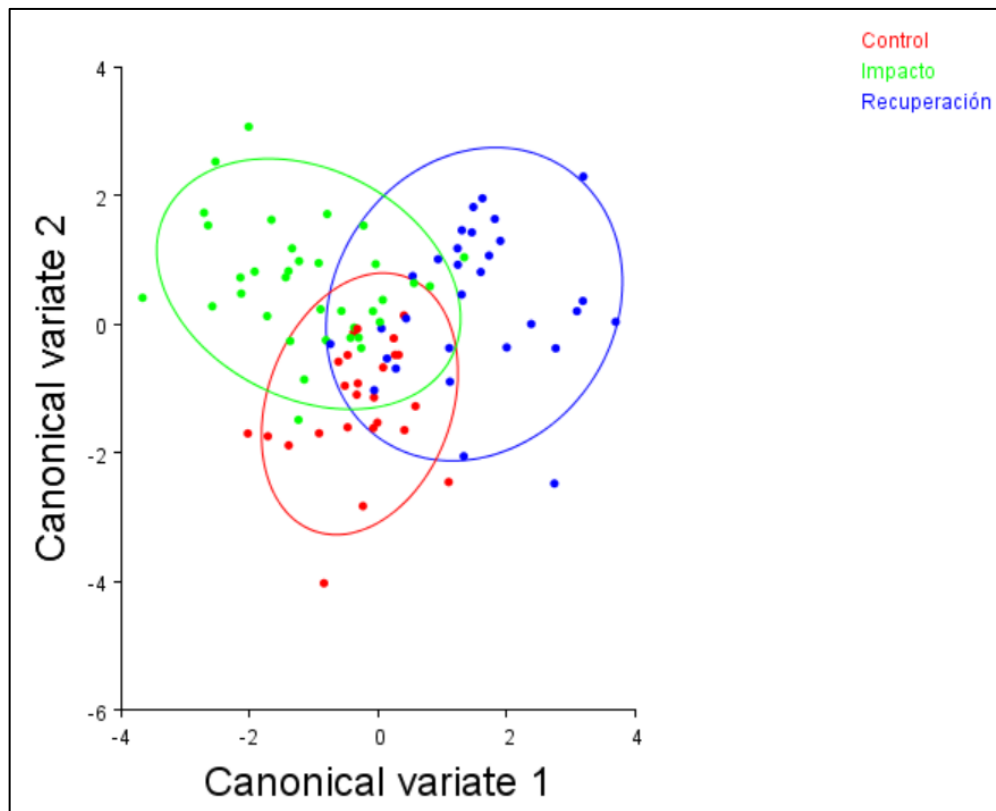


Figura 15. Análisis de las variables canónicas en la familia Cichlidae entre zonas

Mientras tanto la variable canónica 2 muestra que la altura del cuerpo de los especímenes que están en la zona de impacto (Figura 16) es reducido o menos profundo, que los especímenes que se encuentran en la zona de control (Figura 17).

Otra de las diferencias que se encontró en los especímenes de esta familia es que hubo un cambio en los puntos 1 y 2 que hacen referencia al inicio y final de la cabeza, en la zona de impacto la cabeza es más grande que en la zona de control.

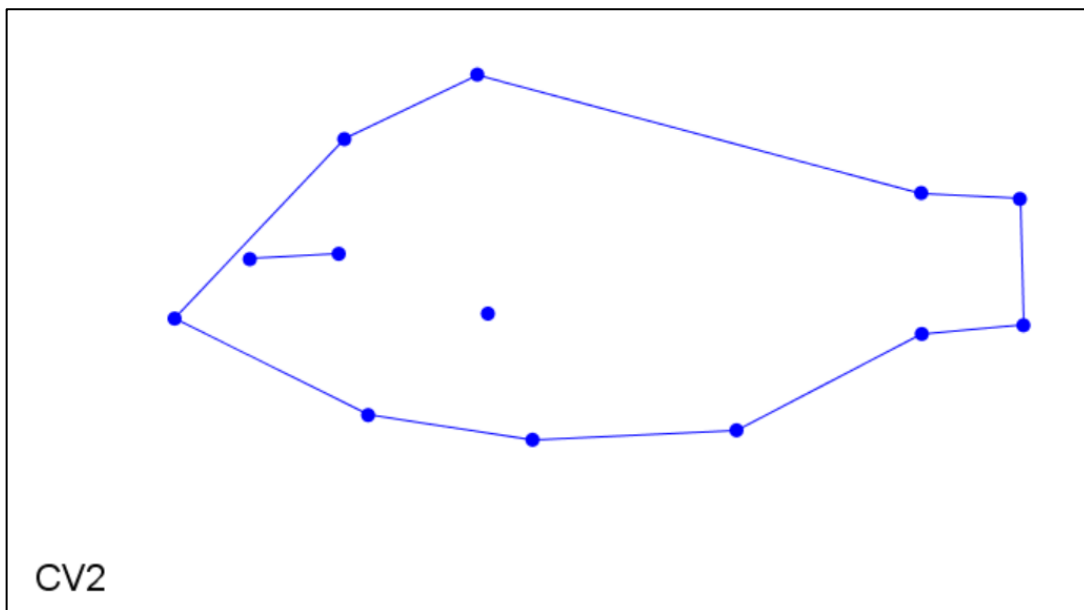


Figura 16. Forma de los Cichlidae en la zona de impacto (factor de escala 4.0)

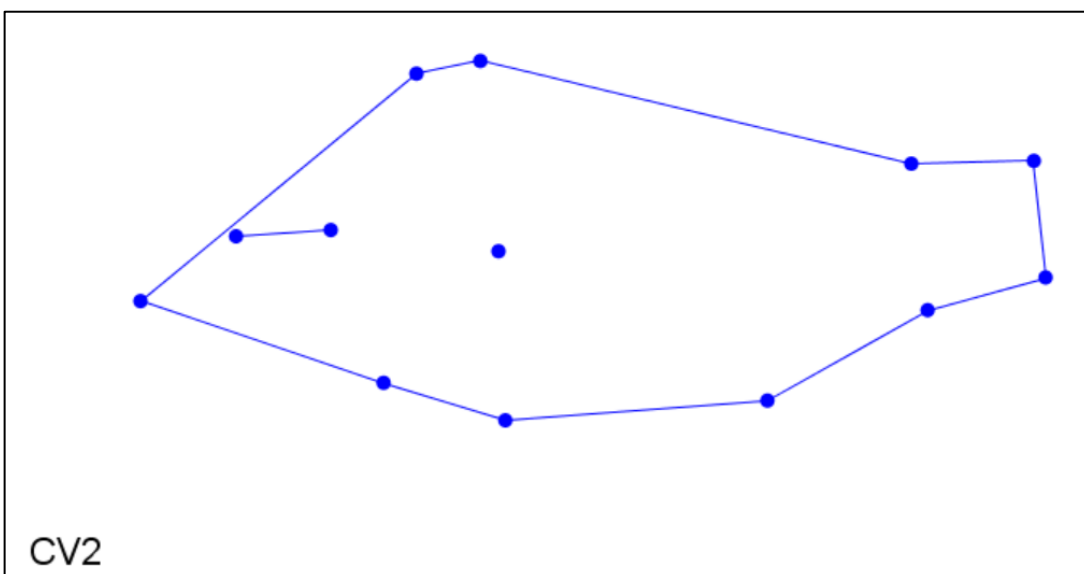


Figura 17. Forma de los Cichlidae en la zona de control (factor de escala -4.0)

Eleotridae. _ Muestra una tendencia muy clara el CV2 (Figura 18). La forma de las especies en la zona de control (Figura 19) tienen ligeramente el alto del cuerpo más alto que las especies de la zona de impacto (Figura 20) que tienen el cuerpo ligeramente más comprimido; aunado con pequeños cambios en la posición de varios puntos del cuerpo de esta familia.

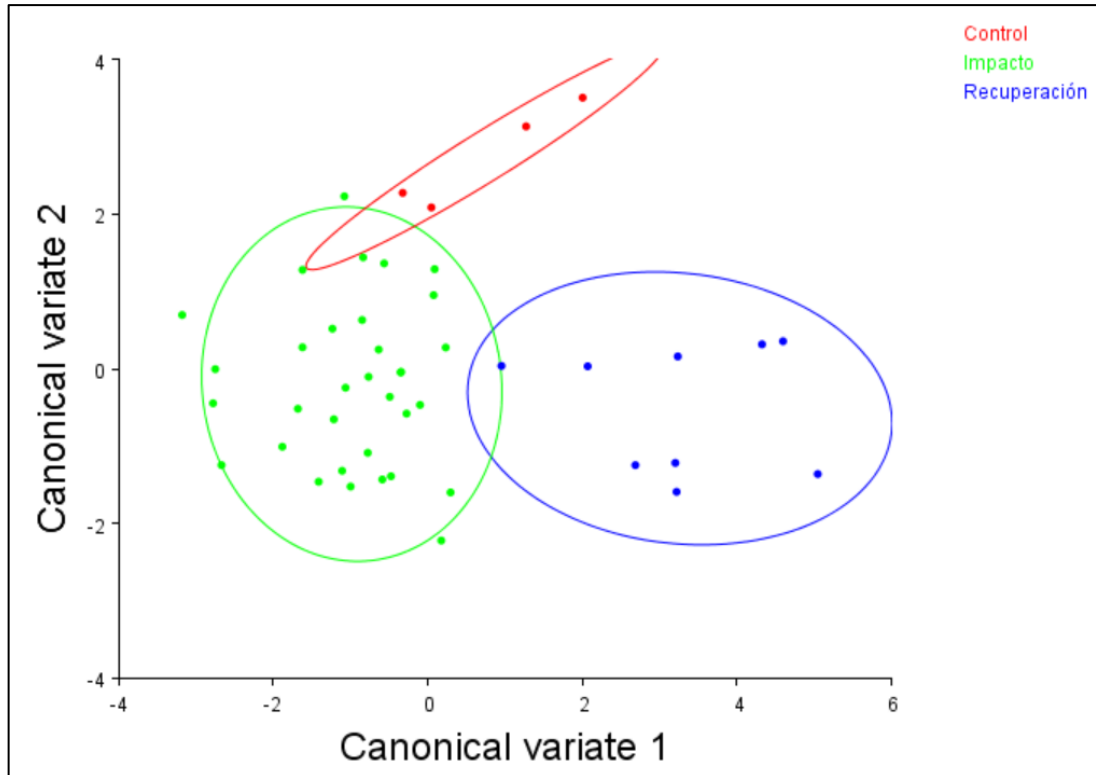


Figura 18. Análisis de las variables canónicas de la familia Eleotridae entre zonas

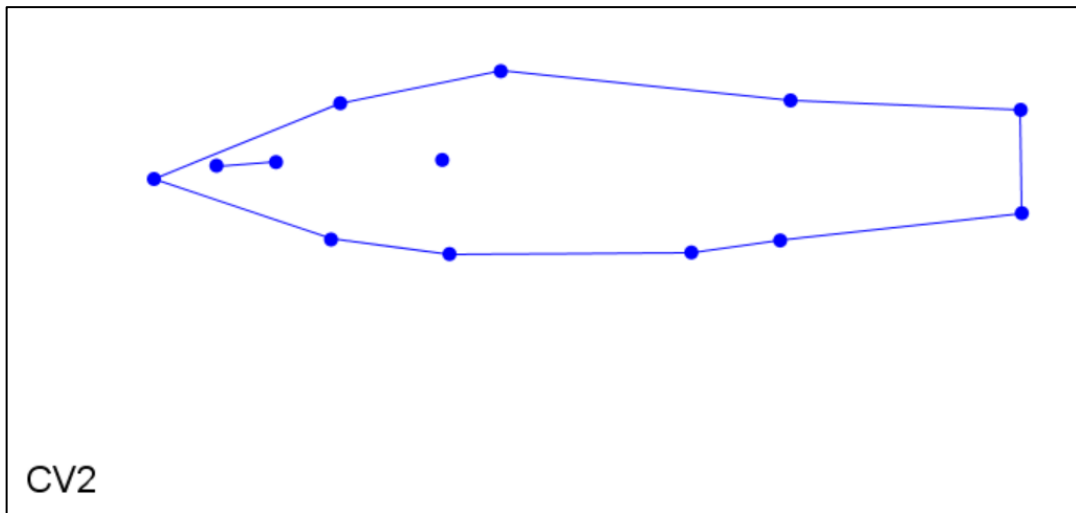


Figura 19. Forma de los Eleotridae en la zona de control (factor de escala 4.0)

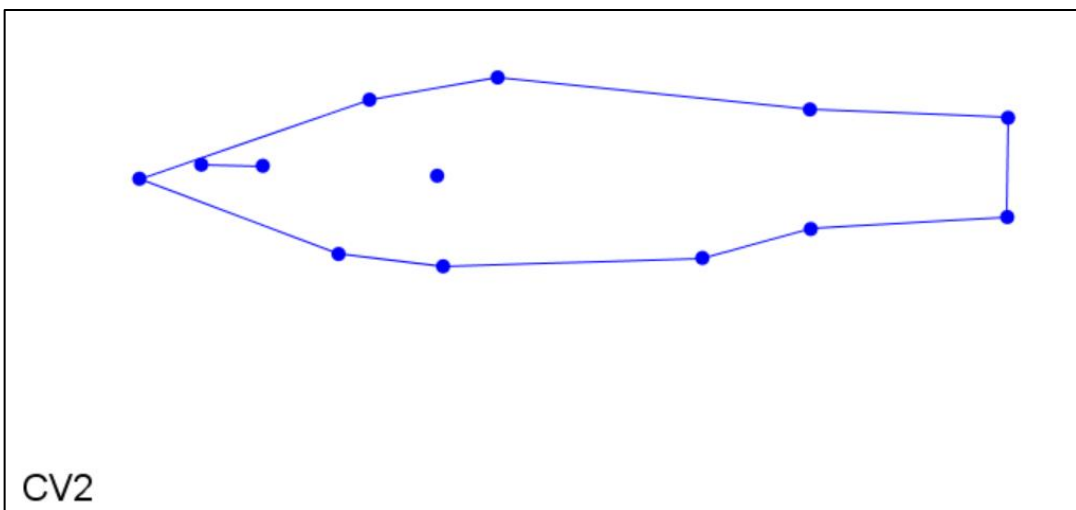


Figura 20. Forma de los Eleotridae en la zona de impacto (factor de escala -4.0)

Heptapteridae. _ Existe una clara diferenciación entre la zona de control y la zona de impacto (Figura 21) según el análisis para la variable canónica uno (CV1).

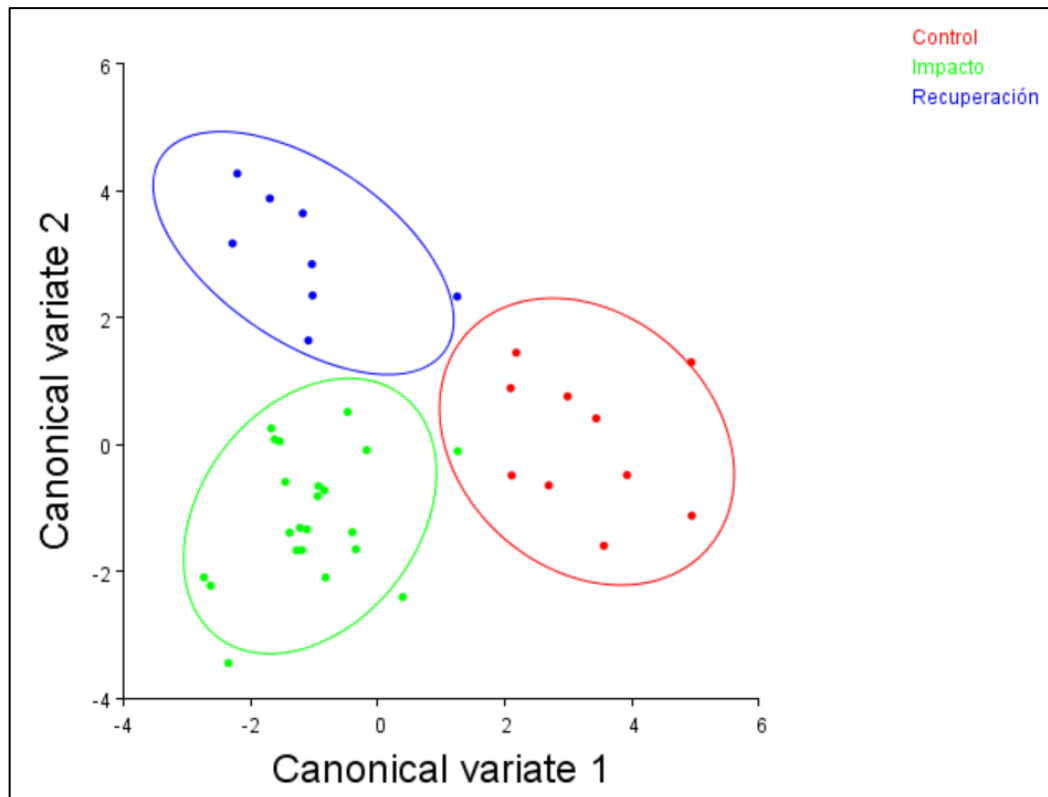


Figura 21. Análisis de las variables canónicas de la familia Heptapteridae entre zonas

La forma de las especies que se encuentran en la zona de control (Figura 22) tienen los puntos 3 y 4 correspondientes a la aleta dorsal más elevada que las especies que se encuentran en la zona de impacto (Figura 23), lo cual muestra estos mismos puntos, pero hundidos, también existe un cambio en los puntos 5 y 6 que corresponden al pedúnculo caudal, mostrando que en la zona de control tiene una tendencia hacia abajo y en la zona de impacto tiene una tendencia hacia arriba.

Otras de las diferencias evidentes es la altura del cuerpo, en la zona de control el cuerpo es más alto mientras que en la zona de impacto el cuerpo es más comprimido.

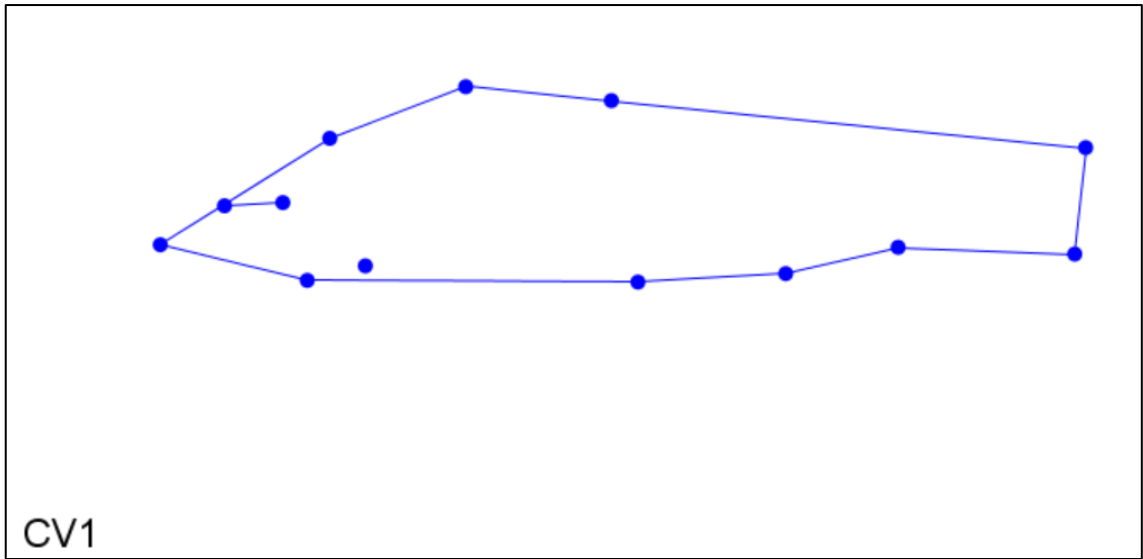


Figura 22. Forma de los Heptapteridae en la zona de control (factor de escala 5.0)

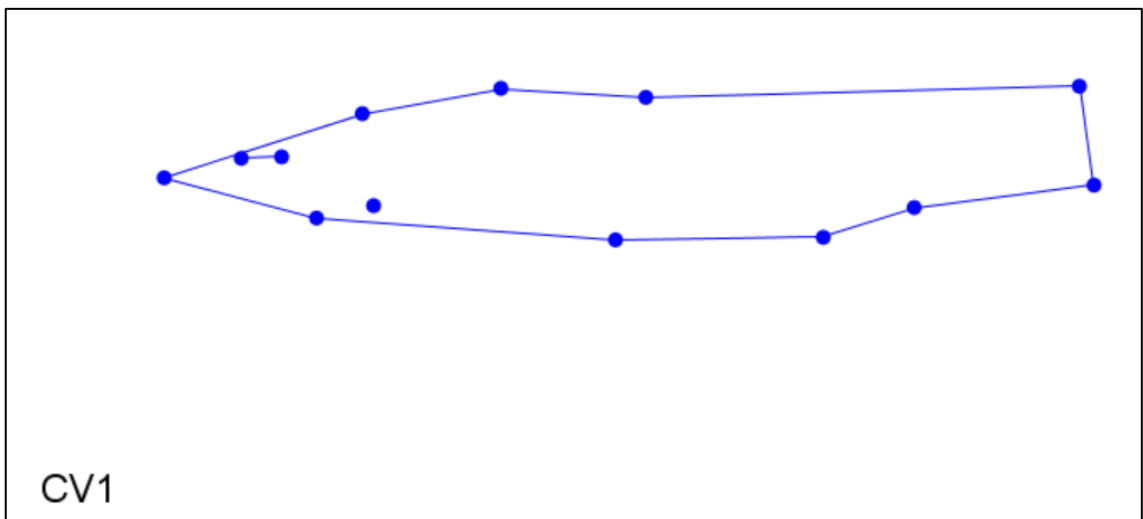


Figura 23. Forma de los Heptapteridae en la zona de impacto (factor de escala -5.0)

Loricariidae. _ La figura 24, muestra también una clara diferenciación en las diferentes zonas, principalmente a nivel de CV2. Sin embargo, existe un dominio, entre los grupos que caracterizan a la zona control, de *Sturisoma frenatum* y *Sturisoma panamense* (Figura 25), mientras que la zona de impacto estuvo mayormente caracterizada por la presencia de *Chaetostoma marginatum* (Figura 26).

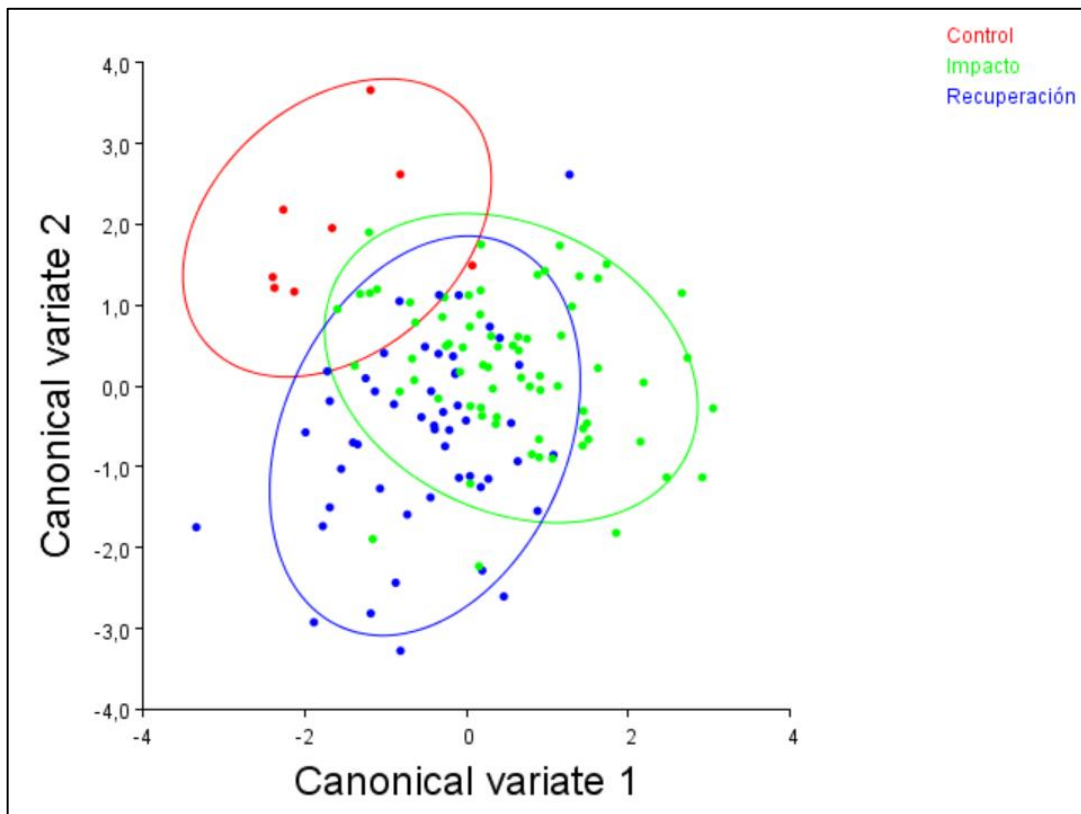


Figura 24. Análisis de las variables canónicas de la familia Loricariidae entre zonas

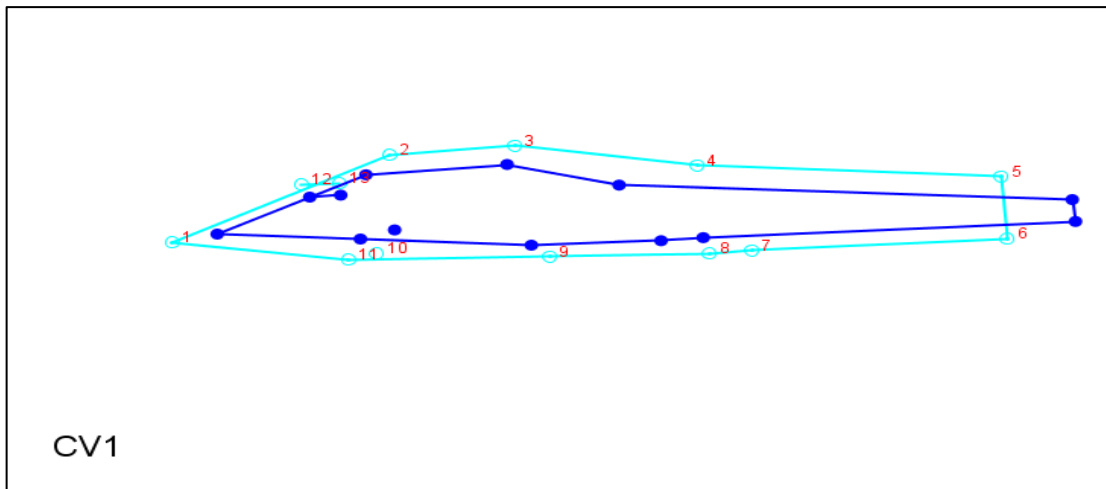


Figura 25. Forma de las especies en la zona de control (*Sturisoma frenatum* y *panamense*)

Lo que el programa estaba analizando en la figura 25, es la forma de un *Sturisoma frenatum*, *panamense* y *Rineloricaria jubata*, dentro de una forma consenso de *Chaetostoma marginatum*, todas especies correspondientes a la familia Loricariidae, pero evidentemente con formas corporales muy diferentes.

Mientras que en la figura 26, se analizaba la figura de un *Chaetostoma marginatum* dentro de una forma consenso similar a la misma.

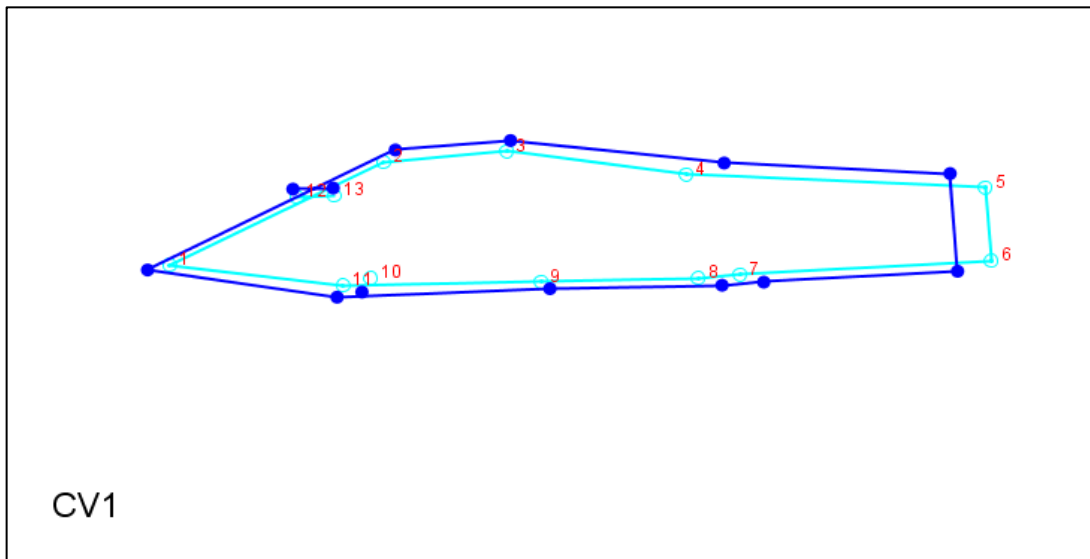


Figura 26. Forma de las especies en la zona de impacto (*Chaetostoma marginatum*)

Debido a esa heterogeneidad en la forma de las especies dentro de la familia Loricariidae, se hizo un análisis de variables canónicas por género. En ambos géneros, se puede garantizar su presencia en la zona de impacto (Figura 27 y 29), mostrando que tienen el cuerpo reducido mientras que los individuos que se encuentran en la zona de control (Figura 28 y 30) tienen el cuerpo más alto.

Determinándose de esta manera, que existe un patrón general en todas las familias analizadas, y es que el cuerpo de los peces que están en la zona de impacto directo de la minería tienen el cuerpo algo reducido en comparación con el alto del cuerpo de los peces que están en la zona de control.

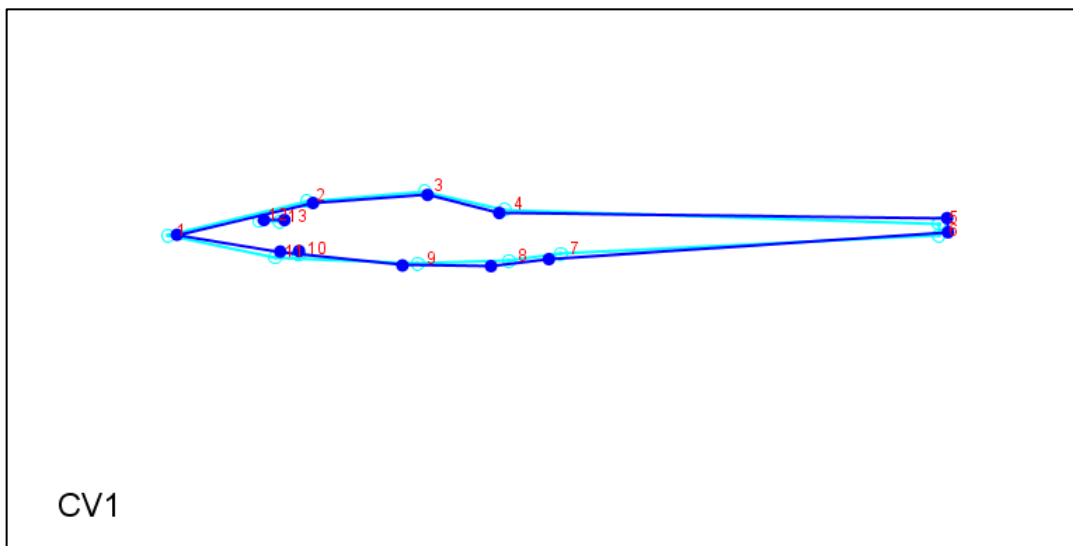


Figura 27. Forma de *Sturisomas* y *Rineloricaria jubata* en la zona de impacto

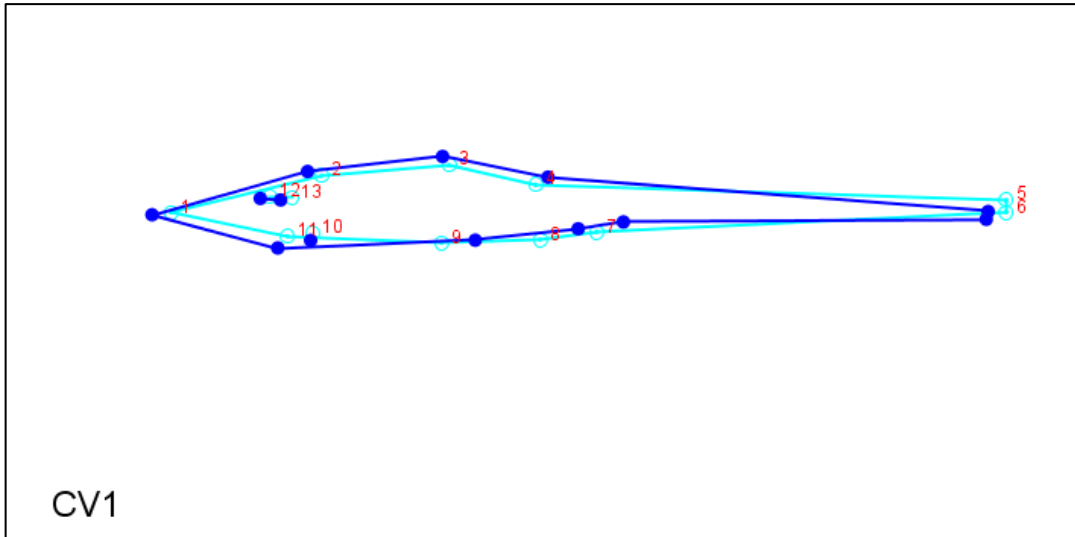


Figura 28. Forma de *Sturisomas* y *Rineloricaria jubata* en la zona de control

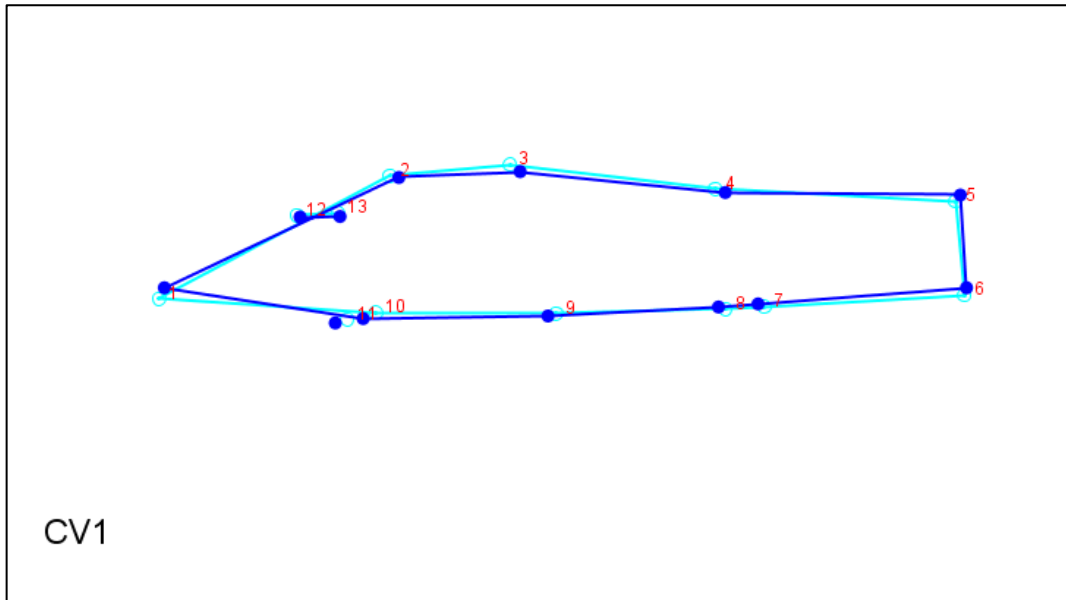


Figura 29. Forma de *Chaetostoma marginatum* en la zona de impacto

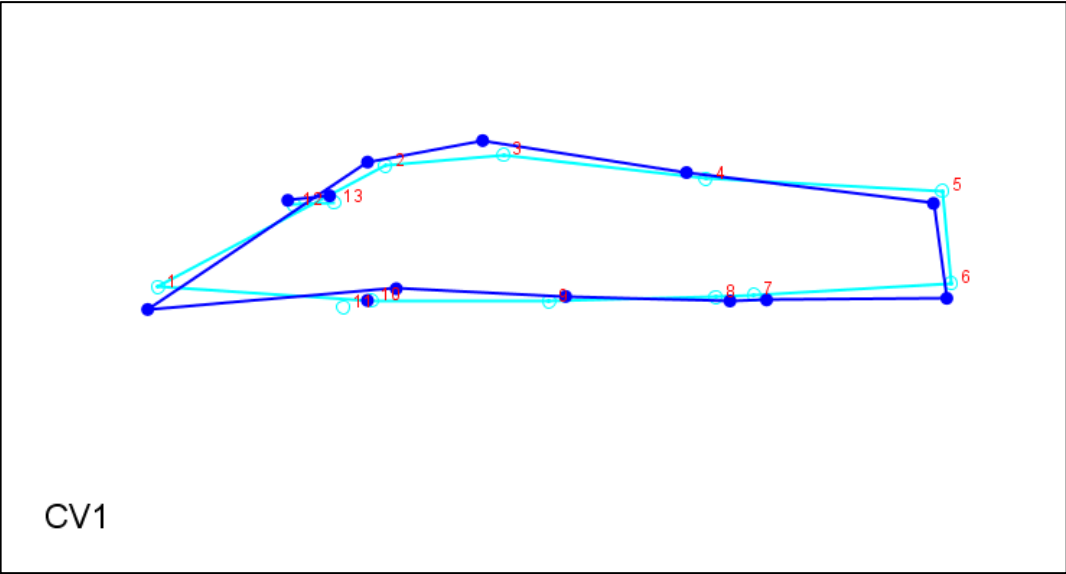


Figura 30. Forma de *Chaetostoma marginatum* en la zona de control

4.3. Detección del cambio en las morfo-funciones de los especímenes del río Santiago-Cayapas debido a la presencia de minería aurífera en diferentes cauces

Diversidad taxonómica. _ La diversidad de especies no mostró diferencias significativas entre las diferentes zonas (Tabla 6); Sin embargo, al hacer el análisis DGC, se logra identificar una tendencia que separa las zonas de Control y las de minería, sobre todo en cuanto a la equitatividad, mostrando que las zonas mineras tienen una diversidad taxonómica menos equitativa que las zonas control (Tabla 5, Figura 2)

Tabla 5. Análisis de la varianza para los índices de diversidad taxonómica

Índice de Diversidad Taxonómica	Resultado	Diferencia	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	P valor
Shannon-Weaver	Zona	3	0,39	0,13	0,99	0,4138
	Ano	2	1,26	0,63	4,78	0,0179
	Residuales	24	3,16	0,13		
Evenness (H/Hmax)	Zona	3	0,06	0,02	1,01	0,4067
	Ano	2	0,01	3,20E-03	0,15	0,8588
	Residuales	24	0,5	0,02		

Tabla 6. Comparación de medias para índices de diversidad taxonómica

Índice de Diversidad Taxonómica	Zona	Promedio	D.E.	DGC (alfa = 0,05)
Shannon-Weaver	Control	1,42	0,16	B
	Minería	1,41	0,1	B
	Recuperación	1,26	0,12	B
	Mezcla distante	1,7	0,26	A
Evenness (H/Hmax)	Control	0,79	0,07	A
	Minería	0,69	0,04	B
	Recuperación	0,72	0,05	B
	Mezcla distante	0,85	0,1	A

Medias con una letra diferente son significativamente diferentes ($p > 0,05$), para el DGC. D.E = Desviación estándar.

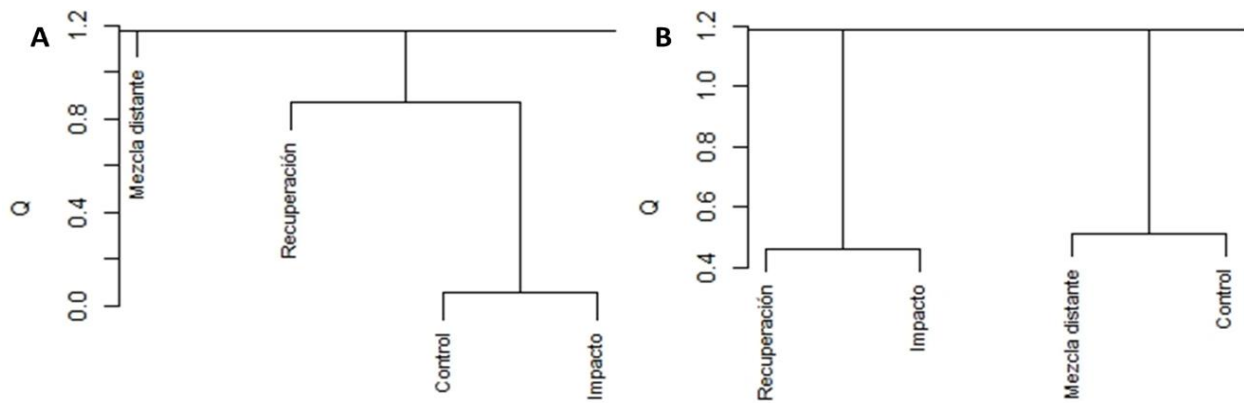


Figura 31. Dendrograma de la diversidad taxonómica. A._ Índice de ShannonWeaver, B._ Índice de equitatividad.

Grupos funcionales. _ Después de realizada la correlación de Pearson, las variables (Dx) número 9 y 16 terminaron siendo redundante, por lo que fueron eliminadas de los siguientes análisis (Anexo 1). Luego de realizado el análisis de conglomerados jerárquicos, donde se realizaron varias corridas, probando diferentes niveles de agrupación, desde 4 a 10, quedando grupos biológicamente coherentes en 8 (Figura 32, Anexo 2); con el MANOVA se pudo, además determinar que existían diferencias significativas entre todos ellos, ratificando la eficiencia en la discriminación entre grupos funcionales (Anexo 3).

En la tabla 7, se resume las características de los diferentes grupos funcionales con las familias que las conforman. Podemos distinguir que los grupos funcionales han sido agrupados con especies de determinadas familias, cada una de ellas, con características que los unifican o los separa. Así, el grupo funcional 1, lo conforman los Cichlidos, el grupo funcional 2 la única especie, un Gasteropelecidae, que se caracteriza por no tener aletas pélvicas; el grupo funcional 3 es más diverso, lo conforman cuatro familias, casi todos bentopelágicos; el grupo funcional 4 los peces “anguila” de la familia Sternopygidae; el grupo funcional 5, que es el más diverso (12 especies), todas afines en las familias Characidae y Bryconidae (esta última familia anteriormente formaba parte de Characidae) ; el grupo funcional 6, menos diverso en especies pero si más heterogéneo, reúne a cinco familias; el grupo funcional 7, con una sola familia y especie, Strongyluridae; y finalmente, el grupo funcional 8, con la

familia Loricariidae como su representante. Para detalles y características de cada grupo funcional, así como de su composición, ver la tabla 5.

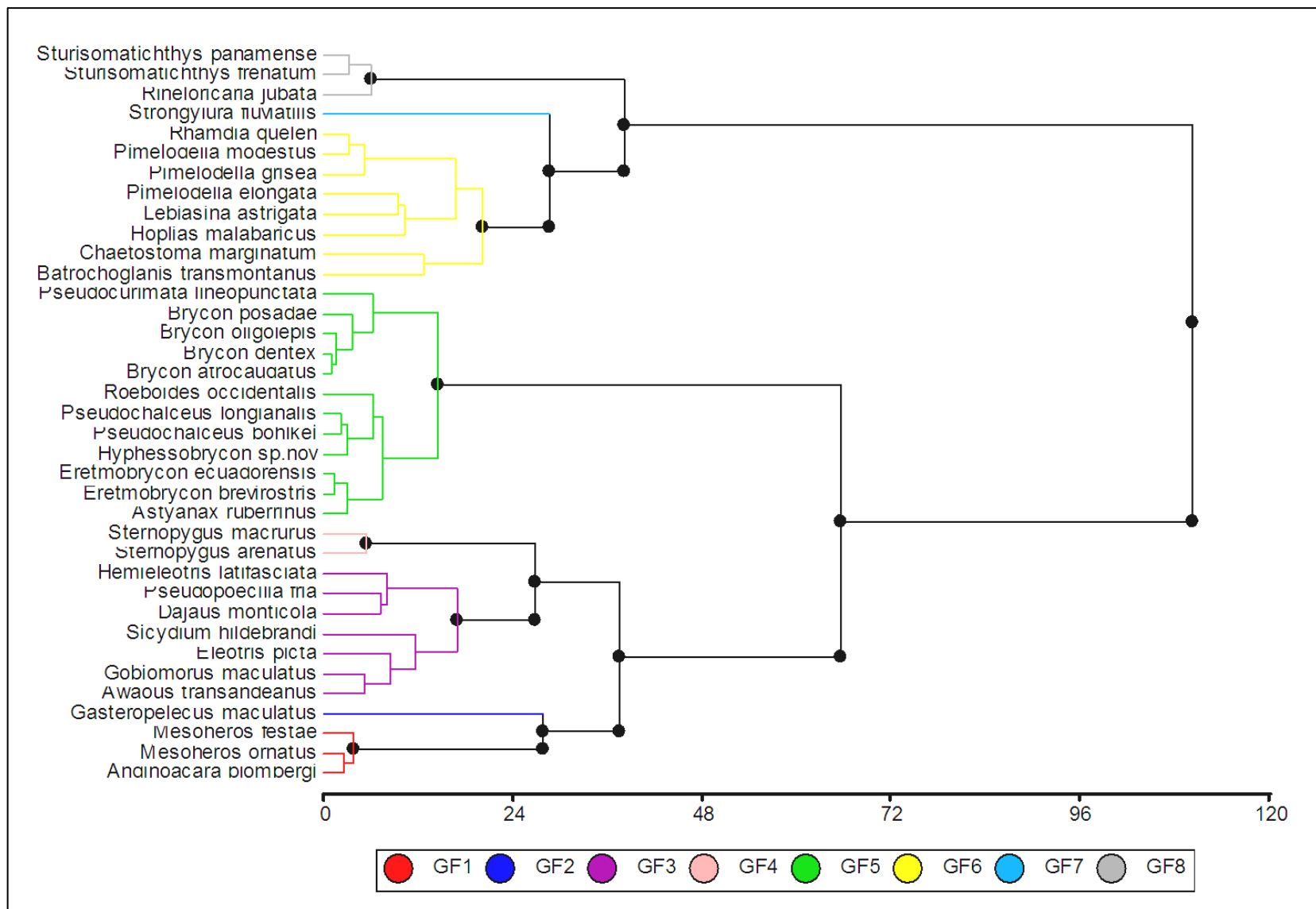


Figura 32. Dendrograma de los grupos funcionales

Tabla 7. Atributos morfofuncionales derivados de tabla 2 que caracteriza a los grupos funcionales

*Variables con los valores máximos y mínimos que corresponden a cada grupo funcional.

Grupo Funcional	Mínimos*	Máximos*	Familias	Atributo
1	D1, D10, D11, D15, D17	D4, D7, D9, D13	Cichlidae	Peces pelágicos; cuerpo alto; Omnívoro con preferencia por el carnivorismo; mayor estabilización en la aleta dorsal
2	D12	D3, D4, D7	Gasteropelecidae	Pez pelágico; cuerpo alto (sin aletas pélvicas); Omnívoro con preferencia por el carnivorismo, con mayor estabilización en la aleta anal
3	D5, D8, D16, D17	D2, D3, D6, D12, D13, D15	Eleotridae, Gobiidae, Mugilidae, Poeciliidae	Peces bentopelágicos; cuerpo moderadamente alargado; herbívoros, omnívoros y carnívoros; muy importante la vista para su alimentación (ojos grandes)
4	D3, D7, D13	-	Sternopygidae	Peces bentopelágicos; cuerpo muy alargado; Omnívoro con preferencia por el carnivorismo; sin importante la vista para su alimentación (ojos muy pequeños)
5	D1, D2, D5	D3, D4, D7	Characidae, Bryconidae	Peces pelágicos; cuerpo alto a moderadamente alto; herbívoros, omnívoros y carnívoros; muy importante la vista para su alimentación (ojos grandes)
6	D3, D16, D17	D5, D6, D11	Pseudopimelodidae, Heptapteridae, Erythrinidae, Loricariidae, Erythrinidae	Peces bentónicos y bentopelágicos; cuerpo alargado; omnívoros con preferencia a la carnívora y carnívoros (excepto Chaetostoma marginatum)
7	D7, D10, D12, D13, D14, D15	D3, D5, NT	Strongyluridae	Pez pelágico superficial y de media agua; cuerpo muy alargado, carnivorismo.
8	D4, D9, D14, D16, NT	D1, D5, D6, D10, D11, D12	Loricariidae	Peces bentónicos; cuerpos alargados; omnívoros con preferencia por el material vegetal

Al realizar el ACP, que concentró el 63,0% de la varianza en el componente 1 y 28,1% en el componente 2 (Figura 33), muestra una muy clara diferenciación entre la zona de mezcla distante y el resto de las zonas para el componente 1, básicamente caracterizado por las variables D5 (cuerpo poco alto y alargado con pectorales poco útiles para la maniobrabilidad) y D3 (Ojos grandes muy útiles en la captura de presas), características de peces de la familia Eleotridae, Gobiidae, Mugilidae y Poeciliidae (grupo funcional 3) abundantes en las zonas cerca a los estuarios. Sin embargo, el componente 2 el que diferencia a las zonas mineras de las de control, y donde por ejemplo la variable D1 (abertura bucal inferior, propia de peces bentónicos) característico de los lorícados que fueron encontrados con mayor abundancia en las zonas de impacto; algo similar a lo que sucede con la variable D14 (peces con boca grande con capacidad de comer presas grandes), propio de Erythrinidae o Strongyluridae que estuvieron siempre ausentes en la zona de impacto (Tabla 7).

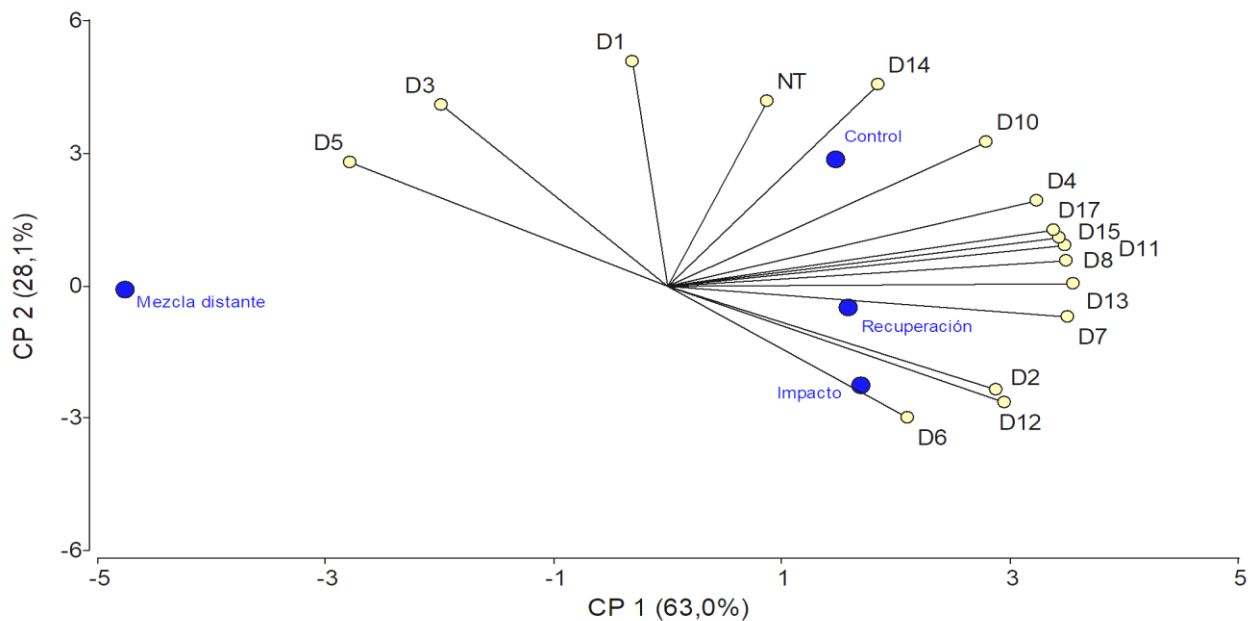


Figura 33. Análisis de componentes principales que relacionan las diferentes variables (Dx) y las zonas de estudio

Diversidad Funcional. _ Los diferentes análisis de la varianza, aplicados a los diferentes índices de diversidad funcional, no mostraron diferencias significativas entre zonas de análisis (Tabla 8); sin embargo, al hacer el análisis de comparación de medias por DGC, se logran identificar tendencias claras que permiten entender como las zonas de control se diferencian de las zonas de impacto afectadas por la minería (Tabla 9; Figuras 34, 35, 36, 37 y 38).

En cuanto a riqueza funcional (Figura 34), es la zona de control quien muestra una mejor situación, con respecto al resto. La equidad funcional (Figura 35), muestra similitud entre las diferentes zonas (impacto-control), pero con una menor equidad con respecto a las áreas de drenaje, similar a lo que sucede con la dispersión funcional (Figura 38). La divergencia funcional (Figura 36), se presenta mayor en las áreas de control y de drenaje, mientras que las de impacto y recuperación se mostraron similares. Finalmente, la especialización funcional (Figura 37), es mayor en las zonas que de manera directa o indirecta, presentan influencia de la actividad minera; mientras que en la de control, es menor.

Tabla 8. Análisis de la varianza para los índices de diversidad funcional

Índice de Diversidad Funcional	Resultado	Diferencia	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F valor	P valor
Riqueza funcional	Zona	3	0,430	0,140	0,850	0,479
	Año	2	2,600	1,300	7,640	0,003
	Residuales	24	4,080	0,170		
Equitatividad funcional	Zona	3	0,120	0,040	1,950	0,150
	Año	2	0,005	0,002	0,120	0,120
	Residuales	23	0,470	0,020		
Divergencia funcional	Zona	3	0,030	0,010	0,490	0,690
	Año	2	0,040	0,020	1,090	0,353
	Residuales	24	0,440	0,020		
Especialización funcional	Zona	3	0,050	0,020	0,130	0,940
	Año	2	0,830	0,420	3,070	3,070
	Residuales	24	3,250	0,140		
Dispersión funcional	Zona	3	0,160	0,050	0,500	0,685
	Año	2	0,020	0,010	0,080	0,924
	Residuales	24	2,540	0,110		

Tabla 9. Comparación de medias para índices de diversidad funcional

Índice de Diversidad Funcional	Zona	Promedio	D.E.	DGC (alfa = 0,05)	
Riqueza funcional	Control	0,470	0,19	A	
	Minería	0,270	0,12		B
	Recuperación	0,210	0,14		B
	Mezcla distante	0,270	0,30		B
Equitatividad funcional	Control	0,600	0,08		B
	Minería	0,600	0,04		B
	Recuperación	0,540	0,05		B
	Mezcla distante	0,810	0,10	A	
Divergencia funcional	Control	0,740	0,06	A	
	Minería	0,680	0,04		B
	Recuperación	0,660	0,05		B
	Mezcla distante	0,750	0,10	A	
Especialización funcional	Control	1,080	0,17		B
	Minería	1,170	0,10	A	
	Recuperación	1,210	0,13	A	
	Mezcla distante	1,180	0,27	A	
Dispersión funcional	Control	0,780	0,15		B
	Minería	0,700	0,09		B
	Recuperación	0,770	0,11		B
	Mezcla distante	1,010	0,24	A	

Medias con una letra diferente son significativamente diferentes ($p > 0,05$), para el DGC.
D.E = Desviación estándar.

La Riqueza Funcional (índice FRic)

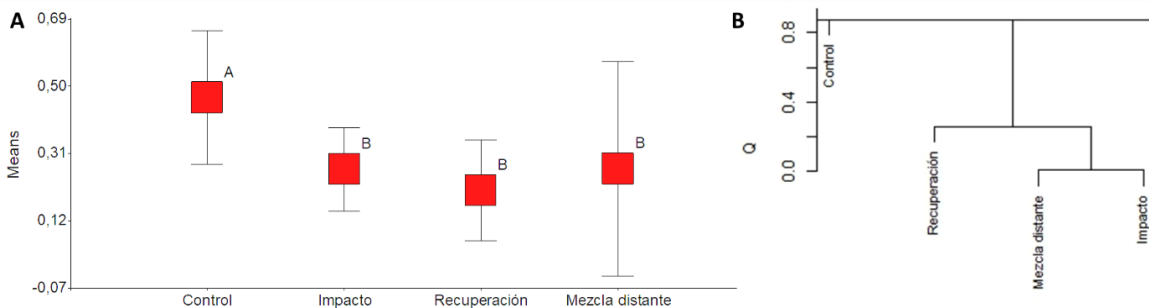


Figura 34. **A.** Gráfico de puntos de la riqueza funcional para las zonas de análisis. Medias con una letra diferente muestran una tendencia diferente. **B.** Dendrograma de la riqueza funcional para las zonas de análisis

La Equitatividad Funcional (índice FEve)

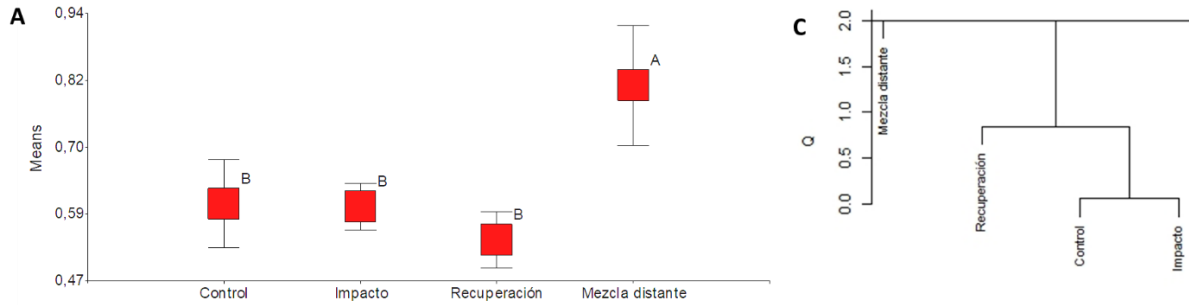


Figura 35. A._ Gráfico de puntos de la equidad funcional para las zonas de análisis. Medias con una letra diferente muestran una tendencia diferente. **C._** Dendrograma de la equidad funcional para las zonas de análisis

La Divergencia Funcional (índice FDiv)

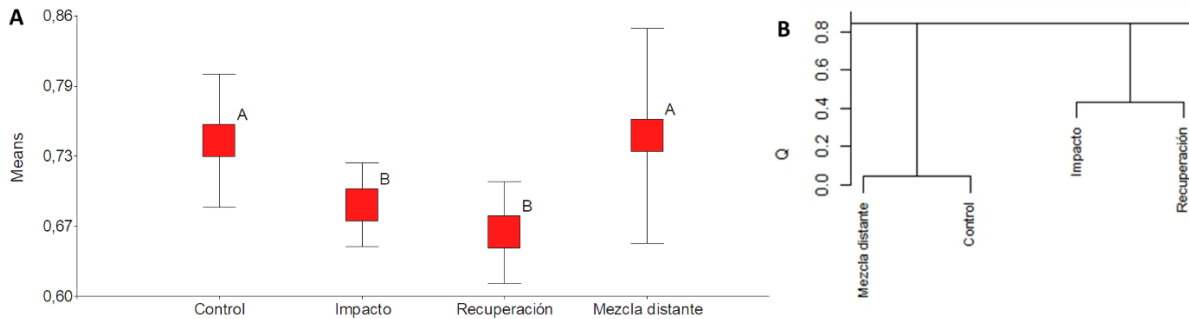


Figura 36. A._ Gráfico de puntos de la divergencia funcional para las zonas de análisis. Medias con una letra diferente muestran una tendencia diferente. **B._** Dendrograma de la divergencia funcional para las zonas de análisis

La Especialización Funcional (índice FSpe)

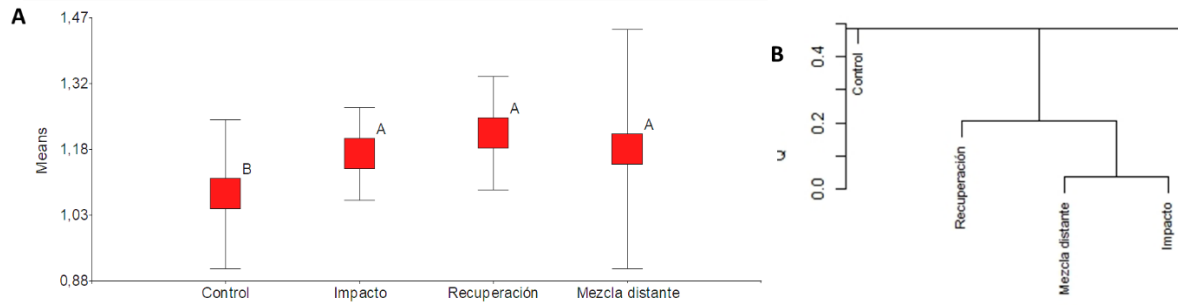


Figura 37. **A.**_ Gráfico de puntos de la especialización funcional para las zonas de análisis. Medias con una letra diferente muestran una tendencia diferente. **B.**_ Dendrograma de la especialización funcional para las zonas de análisis

La Dispersión Funcional (índice FDis)

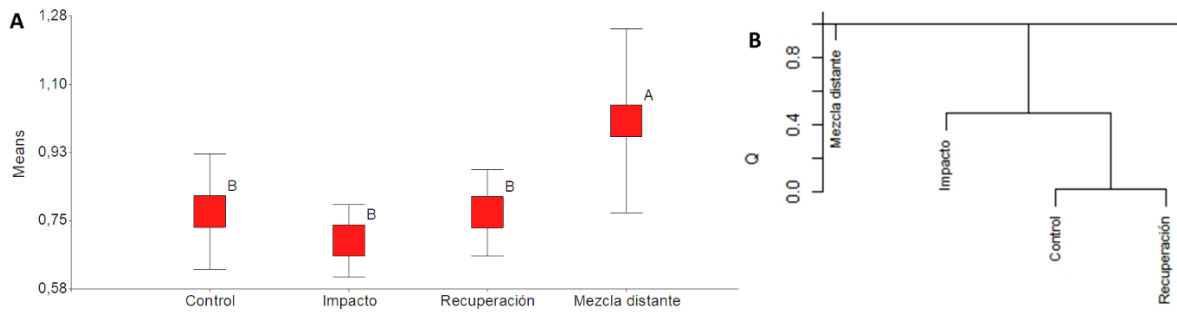


Figura 38. **A.**_ Gráfico de puntos de la dispersión funcional para las zonas de análisis. Medias con una letra diferente muestran una tendencia diferente. **B.**_ Dendrograma de la dispersión funcional para las zonas de análisis

5. DISCUSION

Con este estudio se ha logrado obtener patrones biológicos de la morfología y la diversidad funcional de los peces; a través de análisis morfogeométricos de la colección de peces del laboratorio de la Escuela de Gestión Ambiental de la PUCESE, recolectados en la cuenca del río Santiago Cayapas, durante los años 2016 a 2018, considerando zonas de control y de impacto minero directo. Aunque no puede evidenciarse una fuerte alteración sobre los recursos bioacuáticos, si se correlaciona con una alteración en forma pura del cuerpo y tendencias al cambio en la diversidad funcional dentro de las diferentes comunidades de peces.

La familia Characidae no mostró un grado de diversificación morfológica significativa, a nivel de en las cuatros zonas consideradas, por lo que demuestra ser una familia con cierto grado de resistencia ante alteraciones ambientales; según Ortí y Vari (71), esta familia posee características, incluyendo adaptaciones morfológicas, que les permite soportar bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua; por lo que, algunas especies de esta familia podrían ser consideradas como indicadores de tolerancia ecológica.

La morfometría de la familia de Bryconidae mostró variaciones en su tamaño y diferenciación morfológica, donde su mayor presencia en la zona de impacto, muestra una clara reducción en la altura de su cuerpo, así como una ligera elevación de su hocico. Esta familia, al ser una de las familias más abundantes de la costa ecuatoriana, ha podido ser identificado como un indicador de cambios ambientales, debido a sus adaptaciones y respuesta favorable a las alteraciones ambientales.(72)

En la familia Cichlidae, el análisis morfométrico, mostró una clara tendencia en el CV2, donde su cuerpo, en las zonas de impacto, muestra una reducción en la altura corporal; según Bravo (42) esto indica que especies de esta familia, entre las que está *Mesoheros festae*, muestran este cambio debido a la presión ambiental. Concordando también con Barreto, Rodiles y González (41), que mencionan que la deformación de especies de esta familia, con cambios en la región cefálica, referentes a la cabeza y ojo más largas, son también indicadores de cambios ambientales. Sumado a esto,

Clabaut y colaboradores (73), indican que las diferencias no solo en la longitud corporal, sino en el tamaño de cabeza de los cíclicos, puede ser no solo una adaptación a la preferencia alimenticia, sino también a los cambios físico-químicos del ambiente, como la temperatura y oxígeno, lo que influye directamente en el rendimiento y crecimiento de estos individuos.

La familia Heptapteridae, conocidos como bagres, presentaron diferencias morfológicas respecto a las zonas de impacto y de control; la zona de impacto mostró una variación en la aleta dorsal más hundida, así como en el pedúnculo caudal desplazado hacia abajo, y finalmente, un cuerpo más comprimido. Se sabe que los bagres presentan un grado menor a las tolerancias a los contaminantes, aunque abundan en aguas turbias donde desarrollan mejor sus mecanismos de caza (74); ante esto la divergencia morfológica es comúnmente asociada a su hábitat, por lo que pueden obviamente presentar cambios en el alto de su cuerpo (75), como en este caso.

La unificación de conglomerados jerárquicos identificó semejanzas entre grupos funcionales, lo que de acuerdo con Córdova y Mercado (11) es importante y puede emplearse para tener un mejor entendimiento de los ensamblajes comunitarios, muy útil para el estudio de la diversidad funcional, expresado luego en índices con determinados atributos; como por ejemplo, cuerpo alargado y ojos grandes útiles para la caza vinculados a la actividad de alimentación y tipo de hábitat en que forrajea las especies, por ejemplo las familias Eleotridae, Gobiidae, Mugilidae y Poeciliidae, que mostraron atributos que las agrupaban en un solo grupo funcional, y que además son grupos característicos de zonas estuarinas.

De igual manera, la familia Loricariidae se establecieron con mayor abundancia en zonas de impacto, por lo que (74) podrían relacionarse con el consumo excesivo de material en suspensión en sedimentos mineros (encontrados en piedras y madera); a diferencia de los Erythrinidae que nunca se presentaron en estos puntos, que además son depredadores, mostrando que la utilidad de clasificación en grupos ha permitido diferenciar sus funcionalidades, según sitios de estudios; así como también diferentes niveles de cambio por consecuencias de la actividad antropogénica.(76)

Aunque el estudio no mostró diferencias estadísticamente significativas, pero si una clara tendencia que separa las zonas de control y zona de impacto minero, lo que a mediano plazo podría estar provocando un cambio en composición taxonómica y funcional de esas zonas (77). En cuanto a la riqueza funcional, la zona de control se diferencia de las otras zonas, señalando que esa zona mantiene sus condiciones de forma natural y estable, lo que según Córdova-Tapia (70) indica ser que los recursos, en las zonas afectadas, están siendo aprovechados y podría causar una reducción en la productividad dentro del ecosistema, es decir al mismo tiempo, una menor resistencia a las perturbaciones.

En referencia a la equitatividad funcional, la zona de impacto minero mostró una tendencia hacia la baja, a diferencia de las zonas de control; según esto, Córdova y Zambrano (78), manifiestan que los efectos de la pérdida de especies relacionados a un ecosistema y su equivalencia entre ellas mostrarían una posible reducción de productividad y aumento de posibles invasores.

Las zonas de control, recuperación e impacto, siguen mostrando variabilidad en cuanto a competitividad, mostrando que existe variabilidad en sus nichos, por lo que la competencia sería menor, coincidiendo con un estudio desarrollado por Villéger y colaboradores (79), que mencionan que la baja divergencia funcional estaría dada por una proporción de biomasa cercana a la zona de gravedad, es decir donde el espacio funcional es pequeño, por lo tanto ante sitios de intervención antropogénica y donde existen cambios en el estado del ecosistemas; aún no evidenciado en este estudio, al menos en cuanto a divergencia funcional.

De manera general la zona de control mostró clara tendencia a diferenciarse con el resto de las zonas, principalmente la zona minera; en este sentido, se podría esperar que la zona de impacto, en poco tiempo estaría afectando a su diversidad funcional; pero es muy importante destacar que, como lo mencionan Dénes, János y Tibor (80), no necesariamente su riqueza en especies se verá afectada, pero definitivamente si existirá una diferenciación de sus aportes funcionales, lo que podría influir de manera relevante a diversos servicios ecosistémicos, donde se presenta una baja productividad primaria, como es el caso de la zona minera donde la altísima turbidez disminuye la productividad ecosistémica.

La determinación del análisis morfo-funcional encontró datos relevantes sobre la afectación que se está presentado en la cuenca de río Santiago-Cayapas producto de la actividad minera. Por el escenario ambiental que presenta la región, se genera la preocupación respecto al desarrollo y mantenimiento de los peces que la habitan; así como las alteraciones que puedan existir en su función dentro el ciclo de nutrientes y flujo de materia dentro de la cadena trófica. El seguimiento de estos grupo biológicos es necesario para entender la presión ambiental existente y el factor de reducción de calidad y tamaño de los mismo.(81)

6. CONCLUSION

- La MG como herramienta para analizar los cambios en la forma pura de los individuos, es una herramienta sensible que permite encontrar un patrón en la forma de los peces, los peces que se encontraban bajo influencia directa por la minería (zona impactada) mostraban un cuerpo reducido (menos profundo), mientras que los peces que se encontraban en la zona de control, mostraban más altura en su cuerpo (más profundo).
- La familia más abundante que se encontró fue la familia Characidae, sin embargo, las especies que corresponden a esta familia no presentaron cambio a nivel morfológico entre zonas de estudio; indicando que se trata de una familia con especies que presentan cierta tolerancia a cambios en el ambiente, por lo a algunas de sus especies se las puede considerar buenos bioindicadores del impacto.
- Para los años de estudio, no existen diferencias estadísticamente significativas en cuanto a índices de diversidad funcional, aunque si se evidencian tendencias que separan las zonas de control de las de impacto.
- La riqueza funcional, en la zona de impacto, tiene una clara tendencia a ser menos funcional que las demás zonas, es decir que empieza a evidenciarse un cambio en el nicho de sus especies como un efecto de las perturbaciones antropogénicas.
- Alteración manifiesta también con el índice de Equitatividad funcional, donde en la zona de impacto, que tuvo una clara tendencia a la disminución con respecto a las demás zonas, existe también una baja productividad en el ecosistema.

7. RECOMENDACIÓN

- A lo largo del estudio original, durante la recolección de peces y a lo largo de los tres diferentes años, en la zona norte de la provincia de Esmeraldas, se encontraron peces con tumores, casi siempre en zonas de actividad directa, tanto minera como palmicultora; lugares donde además sus moradores hacen uso diario del agua o de la pesca como apoyo a su alimentación o economía. Es por esto que se hace un llamado a las entidades competente, como lo es el MAATE, para que regule ese tipo de actividades que se llevan a cabo en los cantones Eloy Alfaro y San Lorenzo, con el propósito de salvaguardar la vida de pobladores y de los recursos bioacuáticos del lugar.
- Se debería crear un marco regulatorio nacional, específicamente para peces y crustáceos de consumo, con sus respectivos LMP, que ayuden a proteger la salud de las personas; para que no se consuman individuos que hayan estado bajo la influencia de una gran cantidad de metales o que ya tengan una bioacumulación de estos metales en sus tejidos.
- Respecto a los materiales, se recomienda contar siempre con una buena cámara fotográfica, con bastante almacenamiento según la cantidad de individuos que se vayan a analizar, y un buen calibrador digital para la toma de las medidas, necesarias en los análisis de diversidad funcional, para cada individuo.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Betancourt O, Barriga R. Ecohealth Research in Practice. Charron DF, editor. Ecohealth Research in Practice. 2012. 306 p.
2. Ramón C. ELABORACIÓN DE UN VIDEO DOCUMENTAL PARTICIPATIVO SOBRE LA MINERÍA RESPONSABLE EN EL ECUADOR, ESTUDIO DE CASO: PROYECTO FRUTA DEL NORTE, PARROQUIA LOS ENCIENTROS, CANTON YANTZAZA, UBICADO EN LA PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE [Internet]. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DE QUITO; 2010. Available from: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2649/6/UPS-QT02559.pdf>
3. ENAMI EP. Ecuador Minero. Empres Nac Minera del Ecuador [Internet]. 2012;1. Available from: <https://www.enamiep.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/07/Ecuador-Minero.pdf>
4. Jiménez-Prado P, Escanta-Molina R. CONTAMINACIÓN MINERA, NORTE DE ESMERALDAS, PECES, MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA, ESTADO DE CONSERVACIÓN, MORFOLOGÍA Y FACTOR DE CONDICIÓN. Probl Set 2 [Internet]. 2019;23(3):15. Available from: <https://revistas.pucese.edu.ec/hallazgos21/article/view/332/230>
5. MEDIAVILLA KLC, BRAVO DVS. ESTRATEGIA DE REGULACIÓN DE ACTIVIDADES MINERAS EN LOS CANTONES SAN LORENZO Y ELOY ALFARO, COMO ALTERNATIVA A MEJORAR LAS CONDICIONES DE VIDA, SALUD Y AMBIENTE DE LAS POBLACIONES DE INFLUENCIA DIRECTA. Math Educ J [Internet]. 2018;1(1):132. Available from: http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8415/1/03_RNR_280_TRABAJO_DE_GRADO.pdf
6. EsAgua, Cetaqua. Uso Sostenible del Agua en la Minería. 2019;2–18. Available from: http://www.esagua.es/wp-content/uploads/2019/12/Usosostenible-del-agua-en-la-minería_Informe-red-EsAgua.pdf

7. Armendáriz Villegas EJ. Áreas naturales protegidas y minería en México: perspectivas y recomendaciones. 2016;179. Available from: <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/497>
8. Prado PJ, Laaz E, Navarrete R, Windsor Aguirre, Monsalve ER, Hugo EZ, et al. Guiapescesdeloccidente [Internet]. Vásquez OE, editor. Quito-Ecuador; 2015. 420 p. Available from: https://www.researchgate.net/publication/278027849_Guia_de_peces_para_aguas_continentalas_en_la_vertiente_occidental_del_Ecuador
9. Ibacache MVT, Soto GM, Galdames IS. Morfometría geométrica y el estudio de las formas biológicas: De la morfología descriptiva a la morfología cuantitativa. Int J Morphol [Internet]. 2010;28(4):977–90. Available from: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v28n4/art01.pdf>
10. Jaramillo N. Morfometría geométrica : principios teóricos y métodos de empleo . 2014;(May):24. Available from: <file:///C:/Users/user/Downloads/morfometriacapituloread-only.pdf>
11. Córdova Tapia F, Mercado Silva N. Diversidad funcional de peces en ambientes antropizados. Antropización Prim Análisis Integr [Internet]. 2019;16. Available from: <http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/Antropi-6.pdf>
12. Tognelli MF, Lasso CA, Bota-sierra CA, Jiménez-segura LF, Cox NA. Estado de conservación y distribución de la biodiversidad de agua dulce en los Andes tropicales [Internet]. Estado de conservación y distribución de la biodiversidad de agua dulce en los Andes tropicales. 2016. 214 p. Available from: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/RL-2016-003.pdf>
13. PRAS-CID PUCESE; MAE. Aurífera En Los Cantones San Lorenzo Y Eloy Alfaro De La Provincia De Esmeraldas Cantones Eloy Alfaro Y San Lorenzo ,. 2014;233.
14. ATSDR. Resumen de Salud Pública. Cromo. Agencia para Sust Toxicas y el Regist Enfermedades [Internet]. 2012;8. Available from: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.pdf

15. Moreno Parra M. Racismo ambiental: muerte lenta y despojo de territorio ancestral afroecuatoriano en Esmeraldas. *Íconos - Rev Ciencias Soc* [Internet]. 2019;(64):89–109. Available from:
<http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/iconosfl/n64/1390-8065-iconosfl-64-89.pdf>
16. Almeida MD. Estudio de caso sobre la gobernanza del sector minero en el Ecuador. *Actual Juridica Ambient* [Internet]. 2019;1(3):117. Available from:
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44876/1/S1900582_es.pdf
17. Estrada Paneque A, Gallo González M, Nuñez Arroyo E. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL. 2016;80–6. Available from: <http://rus.ucf.edu.cu/>
18. Albert L. Contaminación química ambiental, orígenes, clases, fuentes y efectos. In: *Revista Internacional de Andrología* [Internet]. 2007. p. 38–52. Available from: <http://dsp.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2016/01/Contaminacion-ambiental-origen-clases-fuentes-y-efectos.pdf>
19. Lillo J. Impactos de la minería en el medio natural. *Grup Estud en Min y medioambiente* [Internet]. 2014;35. Available from:
[https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Impactos de la minería - Javier Lillo.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Impactos%20de%20la%20miner%C3%ADa%20-%20Javier%20Lillo.pdf)
20. Ecuador BC del. Sector minero. *Boletín Científico la Esc Super Atotonilco Tula* [Internet]. 2015;4. Available from:
<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla00.pdf>
21. MINSALUD. ABECÉ de la Minería. 2014;2. Available from:
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/abc-mineria.pdf>
22. Austrade. *Minería subterránea*. 2013;1–302. Available from:
<https://www.um.es/documents/378246/2964900/Normas+APA+Sexta+Edición.pdf/27f8511d-95b6-4096-8d3e-f8492f61c6dc>
23. Bellotti L. *Minería a cielo abierto*. 2015;1–29. Available from:

<https://core.ac.uk/download/33553708.pdf>

24. MINAM. Manual de buenas prácticas en minería aurífera aluvial para facilitar una adecuada recuperación de áreas. Minist del Ambient [Internet]. 2017;1–28. Available from:
<https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/110/BIV01769.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
25. INCyTU. Minería en mares profundos. 2018;52(55):1–6. Available from:
www.foroconsultivo.org.mx
26. Moreano Sandoval F, Gómez Albán J, Aguirre Carvajal M, Arturo Chamorro C, Vinuesa Pasmíño D. Capítulo 7-Minería , Minerales y Desarrollo Sustentable en Ecuador Introducción. In 2017. p. 96. Available from:
<https://pubs.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/G00583.pdf?#:~:text=El desarrollo actual de la,minerales metálicos y no-metálicos.>
27. Ramírez-Moreno G, Ledezma-Rentería E. ACTIVIDADES SOCIO-ECONÓMICAS (MINERÍA Y EXPLOTACIÓN MADERERA) SOBRE LOS BOSQUES DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ. 2007;8. Available from:
<https://revistas.utch.edu.co/ojs5/index.php/revinvestigacion/article/view/467/479>
28. Anda J, Shear H, Maniak U, Valle PFZ. Solids Distribution in Lake Chapala, Mexico. J Am Water Resour Assoc [Internet]. 2004;40(1):97–109. Available from: <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2004.tb01013.x>
29. Pouilly M, Pérez T, Ovando A, Guzmán F, Paco P, Duprey J, et al. Diagnostico de la contaminacion por el mercurio en la Cuenca Iténez. 2008;92. Available from: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers10-04/010047556.pdf
30. Collados B. Structural and functional responses of Mediterranean riparian communities to environmental filters. All rights Reserv IJES [Internet]. 2016;281(4):1–30. Available from:
<http://nadir.uc3m.es/alejandro/phd/thesisFinal.pdf%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Universidad+de+murcia#0>

31. Torres-Bugarín O, Zavala-Aguirre JL, Gómez-Rubio P, Buelna-Osben HR, Zúñiga-González G, Gómez MGU. Potential fish species as genotoxicity biomarkers at lake “La Alberca”, Michoacan, Mexico. *Hidrobiologica* [Internet]. 2007;17(1):75–81. Available from: <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v17n1/v17n1a9.pdf>
32. Parra D. Aplicación de técnicas de morfometría geométrica en la diferenciación del tamaño y la forma de conchas de caracoles marinos *Plicopurpura pansa* (Gould 1853) Y *Plicopurpura patula* (Linneo 1758). 2013;(Gould 1853).
33. Benítez HA, Püschel TA. Modelando la varianza de la forma: Morfometría geométrica aplicaciones en biología evolutiva. *Int J Morphol* [Internet]. 2014;32(3):998–1008. Available from: http://www.intjmorphol.com/wp-content/uploads/2015/06/art_41_323.pdf
34. Zambrano L, Córdova-Tapia F. La diversidad funcional en la ecología de comunidades. *Pharm Manuf Pack Sourcer* [Internet]. 2015;24(SUMMER):100–6. Available from: <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1077>
35. HOOPER DU, CHAPIN FS, EWEL JJ, HECTOR A, INCHAUSTI P, LAVOREL S, et al. EFFECTS OF BIODIVERSITY ON ECOSYSTEM FUNCTIONING: A CONSENSUS OF CURRENT KNOWLEDGE [Internet]. Vol. 75, *Ecological Society of America*. 2005. 3–35 p. Available from: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1890/04-0922>
36. Fonseca CR, Ganade G. Species functional redundancy, random extinctions and the stability of ecosystems. *J Ecol* [Internet]. 2001;89(1):118–25. Available from: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2001.00528.x>
37. Robinzon AM. CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LÍMITES PERMISIBLES DE MERCURIO EN PECES DE AGUA DULCE DEL NORTE DE LA PROVINCIA DE ESMERALDAS. 2014;93. Available from: [https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/208/1/MOSQUERA ROBINZON ANGEL.pdf](https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/208/1/MOSQUERA%20ROBINZON%20ANGEL.pdf)
38. Robles ML, Rebolledo E, Terrack PJ, Almeida MC, Sosa ET, Herrera M, et al.

- Anuario de Investigacion y Desarrollo. 2011;104.
39. Fundacion Veedora, PUCESE, Lorenzo J de AP de los cantones EA y S, CECOMET. Contaminación del agua. Ingenius [Internet]. 2014;(1):124. Available from: <http://www.camaren.org/documents/archivo4.pdf>
 40. Aguirre W, Jiménez Prado P. Guía práctica de Morfometría Geométrica. Aplicaciones en la ictiología [Internet]. Quito-Ecuador; 2018. 106 p. Available from: https://www.researchgate.net/publication/327248793_Morfometria_Geometrica_WA-PJJP/link/5b8494914585151fd13700b7/download
 41. Sona-Barreto M, Rodiles-Hernandez R, Gonzalez-Diaz AA. Morphometry of Vieja species (Cichlidae) in rivers of Usumacintas basin, Chiapas, Mexico | Morfometr?a de las especies de Vieja (Cichlidae) en r?os de la cuenca del Usumacinta, Chiapas, M?xico. Rev Mex Biodivers [Internet]. 2011;82(2):569–79. Available from: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v82n2/v82n2a16.pdf>
 42. Bravo G. Morfometría geométrica en peces de la colección CEMZ-EGA-PUCESE procedentes de la cuenca baja del río Santiago-Cayapas en los años 2012-2017. 2018;85. Available from: <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/1607?mode=full>
 43. Granda J, Montero C. Aplicación de morfometría geométrica para la comparación de distintas poblaciones de Guanchiche (Hoplias spp.) en ecosistemas lénticos y lóticos del Ecuador. 2015;123. Available from: <http://www.dspace.espol.edu.ec/>
 44. Ramirez G. Evaluación de la redundancia y resiliencia ecológica en arrecifes coralinos del Pacífico Oriental Tropical a través del análisis de la diversidad funcional de peces y macroinvertebrados. Angew Chemie Int Ed 6(11), 951–952 [Internet]. 2013;112. Available from: <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/685/1/234191.pdf>
 45. Ellingsen KE, Clarke KR, Somerfield PJ, Warwick RM. Taxonomic distinctness as a measure of diversity applied over a large scale: The benthos of the Norwegian continental shelf. J Anim Ecol [Internet]. 2005;74(6):1069–79.

Available from:

https://www.researchgate.net/publication/229712225_Taxonomic_distinctness_as_a_measure_of_diversity_applied_over_a_large_scale_The_benthos_of_the_Norwegian_continental_shelf

46. Mason NWH, De Bello F, Mouillot D, Pavoine S, Dray S. A guide for using functional diversity indices to reveal changes in assembly processes along ecological gradients. *J Veg Sci* [Internet]. 2013;24(5):794–806. Available from: https://www.researchgate.net/publication/249994537_A_guide_for_using_functional_diversity_indices_to_reveal_changes_in_assembly_processes_along_ecological_gradients/link/5f02a3f692851c52d619dc72/download
47. Villéger S, Mason NWH, Mouillot D. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology* [Internet]. 2008;89(8):12. Available from: <https://sci-hub.se/10.1890/07-1206.1>
48. Nacional A. Constitución del Ecuador. 2018;218. Available from: https://www.oas.org/juridico/mla/sp/ecu/sp_ecu-int-text-const.pdf
49. Hugo, Barrezueta P. Código orgánico del ambiente. 2018;1–93. Available from: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Codigo-Organico-del-Ambiente.pdf>
50. Lozano SM. Análisis de la sentencia n.º 001-10-SIN-CC. Casos n.º 0008-09-IN y 0011-09-IN sobre acción de inconstitucionalidad en contra de la Ley de Minería y efectos posteriores. 2014;129–46. Available from: <http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/4581/1/09-Jurisprudencia.pdf>
51. Asamblea Nacional Ecuador. Ley de minería Ecuador. 2018;60. Available from: <http://www.controlminero.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/Ley-de-Minería-21-mayo-2018.pdf>
52. Senagua. Informe técnico de la calidad del agua en los cantones San Lorenzo, Eloy Alfaro, Provincia de Esmeraldas. 2011;37. Available from: <http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/CalidadAguaEsmeraldas.pdf>

53. INEC. Fascículo Provincial Esmeraldas. 2010;8. Available from: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/esmeraldas.pdf>
54. Rojas M. Tipos de Investigación científica: Una simplificación de la complicada incoherente nomenclatura y clasificación. Rev Electron Vet [Internet]. 2015;16(1):1–14. Available from: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet2015Volumen16Nº01->
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n010115.html>
55. Klingenberg CP. MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. Mol Ecol Resour [Internet]. 2011;11(2):353–7. Available from: <https://sci-hub.se/10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x>
56. Casanoves F, Di Rienzo JA, Pla L. FDiversity User manual. Analysis [Internet]. 2010;58. Available from: https://www.researchgate.net/publication/319875346_FDiversity_User_Manual
57. Soares BE, Ruffeil TOB, Montag LF de A. Ecomorphological patterns of the fishes inhabiting the tide pools of the Amazonian coastal zone, Brazil. Neotrop Ichthyol [Internet]. 2013;11(4):845–58. Available from: https://www.researchgate.net/publication/259620704_Ecomorphological_patterns_of_the_fishes_inhabiting_the_tide_pools_of_the_Amazonian_Coastal_Zone_Brazil
58. Hodgson JG, Wilson PJ, Hunt R, Grime JP, Thompson K. Allocating C-S-R Plant Functional Types: A Soft Approach to a Hard Problem. Oikos [Internet]. 1999;85(2):14. Available from: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.2307/3546494>
59. Violle C, Navas M-L, Vile D, Kazakou E, Fortunel C, Hummel I, et al. Let the concept of trait be functional! Oikos [Internet]. 2007;116(5):882–92. Available from: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>
60. Ricklefs R, Travis J. A morphological approach to the study of avian community organization. In 1974. p. 808–9. Available from: <https://sci-hub.se/>

61. Mouillot D, Dumay O, Tomasini JA. Limiting similarity, niche filtering and functional diversity in coastal lagoon fish communities. *Estuar Coast Shelf Sci* [Internet]. 2007;71(3–4):443–56. Available from: <https://sci-hub.se/10.1016/j.ecss.2006.08.022>
62. Córdova-Tapia F, Zambrano L. La diversidad funcional en la ecología de comunidades | Córdova-Tapia | Revista Ecosistemas. *Ecosistemas Rev científica y técnica Ecol y medio Ambient* [Internet]. 2015;24(3):78–87. Available from: <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1077>
63. Laliberté E, Wells JA, Declerck F, Metcalfe DJ, Catterall CP, Queiroz C, et al. Land-use intensification reduces functional redundancy and response diversity in plant communities. *Ecol Lett* [Internet]. 2010;13(1):76–86. Available from: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01403.x>
64. Dumay O, Tari PS, Tomasini JA, Mouillot D. Functional groups of lagoon fish species in Languedoc Roussillon, southern France. *J Fish Biol* [Internet]. 2004;64(4):970–83. Available from: <http://web.mnstate.edu/wisenden/AqBiol/Example JFB ecomorphology.pdf>
65. Díaz S, Cabido M. Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends Ecol Evol* [Internet]. 2001;16(11):646–55. Available from: [https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02283-2](https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02283-2)
66. Casanoves F, Pla L, Di Rienzo JA. Diversidad funcional Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos [Internet]. 2011. 105 p. Available from: https://www.researchgate.net/publication/283466039_Valoracion_y_analisis_de_la_diversidad_funcional_y_su_relacion_con_los_servicios_ecosistemicos
67. Rosenberger A. Cluster Analysis for Researchers. 1984;191:457–8. Available from: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1002/ajpa.1330660415>
68. Petchey OL, Gaston KJ. Extinction and the loss of functional diversity. *Proc R Soc B Biol Sci* [Internet]. 2002;269(1501):1721–7. Available from: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2571>

hub.se/10.1098/rspb.2002.2073

69. Di Rienzo JA, Guzmán AW, Casanoves F. A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. *J Agric Biol Environ Stat* [Internet]. 2002;7(2):129–42. Available from: https://www.researchgate.net/publication/284654004_A_multiple_comparison_method_based_on_the_distribution_of_the_root_node_distance_of_a_binary_tree
70. Córdova-Tapia F. Diversidad funcional y ensamblaje de las comunidades de peces en humedales tropicales. 2016;(October):66. Available from: https://www.researchgate.net/publication/308875085_Diversidad_funcional_y_ensamblaje_de_las_comunidades_de_peces_en_humedales_tropicales
71. Ortí G, Vari RP. Characiformes [Internet]. [cited 2021 Dec 8]. Available from: <http://tolweb.org/Characiformes>
72. Ferraz JD, Casimiro ACR, Garcia DAZ, Pereira AD, Jarduli LR, de Almeida FS, et al. Taxonomic loss and functional reduction over time in the ichthyofauna of the taquaruçu reservoir, lower paranapanema river, southern brazil. *Neotrop Ichthyol* [Internet]. 2021;19(3):1–20. Available from: <https://www.scielo.br/j/ni/a/LRtLrjGN3Mh7ppgKxVr7yBh/?format=pdf&lang=en>
73. Bunje PME, Salzburger W, Meyer A, Clabaut C. GEOMETRIC MORPHOMETRIC ANALYSES PROVIDE EVIDENCE FOR THE ADAPTIVE CHARACTER OF THE TANGANYIKAN CICHLID FISH RADIATIONS. 2007;19.
74. PUCESE-PRAS- C I D. INFORME FINAL DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DE RIOS DE LA CUENCA DEL SANTIAGO AFECTADOS POR LA ACTIVIDAD MINERA AURIFERA ENTRE EL PERIODO NOVIEMBRE DEL 2011 A NOVIEMBRE DEL 2012. 2012;299. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Eduardo_Rodolfo_Rebolledo_Monsalve/publication/281442151_Monitoreo_calidad_ambiental_rios_norte_Esmeraldas_periodo_2011-2012/links/55e72cbd08ae65b6389951cc/Monitoreo-calidad-ambiental-rios-norte-Esmeraldas-periodo-2011

75. Cocha A. Análisis de la variación morfológica de *Hoplias malabaricus* (Bloch 1794), asociada al tipo de hábitat utilizando morfometría geométrica . 2018;(Bloch 1794):68.
76. Perronne R, Munoz F, Borgy B, Reboud X, Gaba S. How to design trait-based analyses of community assembly mechanisms: Insights and guidelines from a literature review. *Perspect Plant Ecol Evol Syst* [Internet]. 2017;25:29–44. Available from: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.ppees.2017.01.004>
77. Villéger S, Miranda JR, Hernández DF, Mouillot D. Contrasting changes in taxonomie vs. functional diversity of tropical fish communities after habitat degradation. *Ecol Appl* [Internet]. 2010;20(6):1512–22. Available from: <https://sci-hub.se/10.1890/09-1310.1>
78. Córdova-Tapia F, Zambrano L. Fish functional groups in a tropical wetland of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Neotrop Ichthyol* [Internet]. 2016;14(2). Available from: https://www.researchgate.net/publication/304105698_Fish_functional_groups_in_a_tropical_wetland_of_the_Yucatan_Peninsula_Mexico/link/577d338f08aed39f598f6cd6/download
79. Mason NWH, Mouillot D, Lee WG, Wilson JB. Functional richness, functional evenness and functional divergence: The primary components of functional diversity. *Oikos* [Internet]. 2005;111(1):112–8. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Norman-Mason/publication/227723313_Functional_richness_functional_evenness_and_functional_divergence_The_primary_components_of_functional_diversity/links/5d55cf82299bf151bad6e55d/Functional-richness-functional-evenness
80. Schmera D, Podani J, Eros T. Measuring the contribution of community members to functional diversity. *Oikos* [Internet]. 2009;118(7):961–71. Available from: <https://conservation.unibas.ch/team/schmera/pdf/schmera2009oikos.pdf>
81. Bruton MN. The effects of suspensoids on fish. 1985;21.

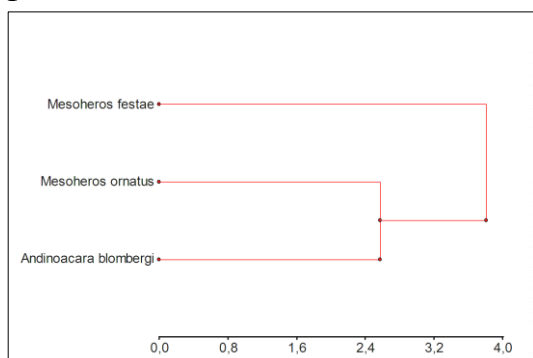
9. ANEXOS

Anexo 1. Correlaciones de Pearson para las 17 variables (D_x)

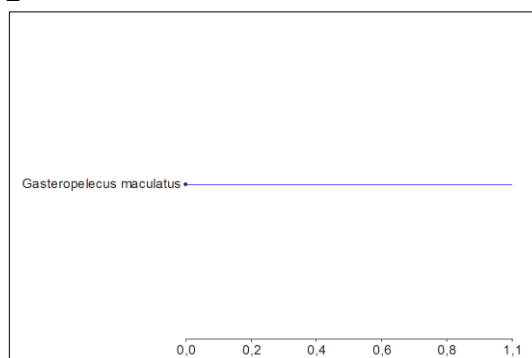
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	NT
D1	1																	
D2	0,38	1																
D3	0,27	-0,3	1															
D4	-0,61	-0,51	0,04	1														
D5	0,39	0,29	0,02	-0,53	1													
D6	0,11	0,15	0,17	-0,2	0,18	1												
D7	-0,18	0,14	0,11	0,5	-0,41	0,06	1											
D8	-0,14	0,03	-0,12	0,24	0,17	-0,04	0,01	1										
D9	-0,26	0,04	-0,12	0,41	-0,4	-0,03	0,47	-0,14	1									
D10	0,29	-0,01	0,19	-0,28	0,57	0,11	-0,34	0,18	-0,83	1								
D11	0,14	0,35	-0,15	-0,21	0,28	-0,03	0,08	0,18	-0,36	0,45	1							
D12	0,11	0,62	-0,28	-0,42	0,06	0,06	0,16	-0,18	0,18	-0,18	0,29	1						
D13	-0,23	0,01	0,02	0,46	-0,52	0,03	0,62	-0,14	0,68	-0,55	-0,09	0,3	1					
D14	0,04	-0,26	0,12	0,54	-0,45	-0,1	0,43	-0,12	0,49	-0,37	-0,17	-0,04	0,69	1				
D15	-0,25	-0,45	0,13	0,38	-0,21	-0,14	0,1	0,18	-0,33	0,28	0,49	-0,28	0,05	0,21	1			
D16	-0,59	-0,74	0,38	0,77	-0,38	-0,12	0,2	0,11	0,15	-0,08	-0,22	-0,4	0,21	0,4	0,49	1		
D17	-0,18	-0,36	0,21	0,32	-0,09	-0,28	-0,07	0,16	-0,32	0,36	0,15	-0,35	-0,17	-0,04	0,45	0,42	1	
NT	-0,06	-0,24	0,08	0,22	-0,31	-0,06	-0,02	-0,29	0,32	-0,3	-0,27	-0,3	0,25	0,22	0,02	0,06	0,07	1

Anexo 2. Detalle de los dendrogramas por grupos funcionales.

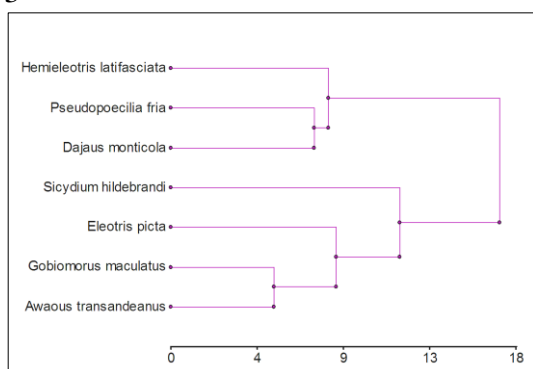
1



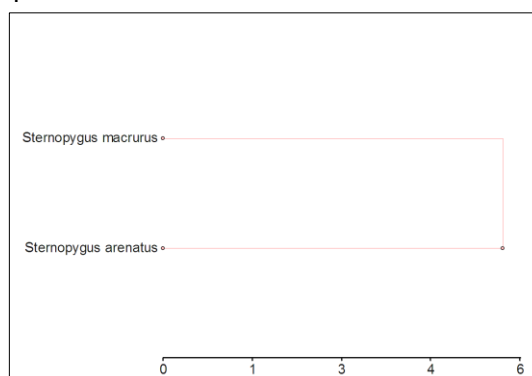
2



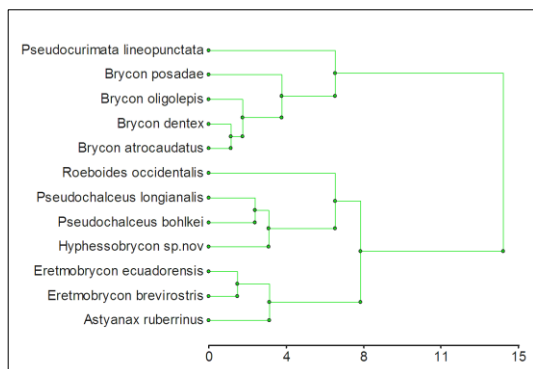
3



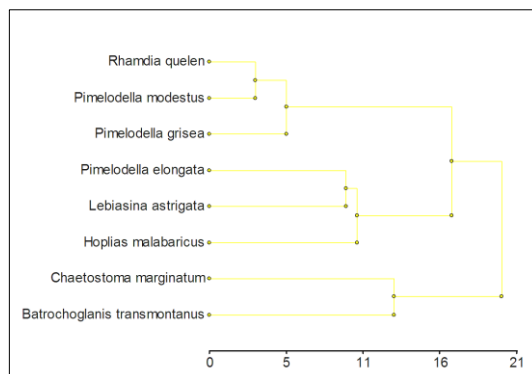
4



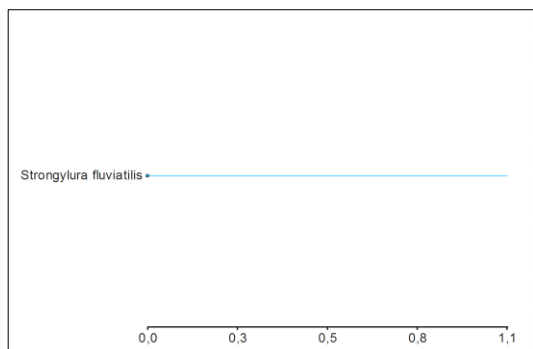
5



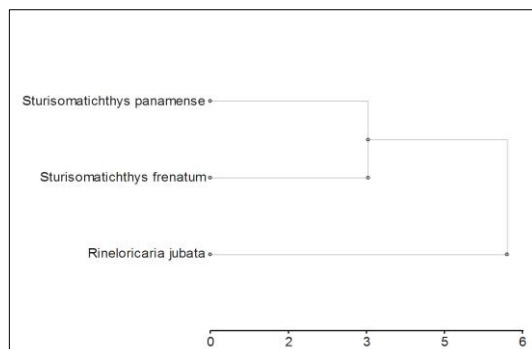
6



7



8



Anexo 3. Análisis multivariado de la varianza (MANOVA) para los grupos funcionales

Cuadro de Análisis de la Varianza (Wilks)

F.V.	Estadístico	F	gl(num)	gl(den)	p
GrupFunc	1,30E-05	61,53	112	1471	<0,0001

Cuadro de Análisis de la Varianza (Pillai)

F.V.	Estadístico	F	gl(num)	gl(den)	p
GrupFunc	4,81	31,91	112	1624	<0,0001

Cuadro de Análisis de la Varianza (Lawley-Hotelling)

F.V.	Estadístico	F	gl(num)	gl(den)	p
GrupFunc	52,91	105,95	112	1570	<0,0001

Cuadro de Análisis de la Varianza (Roy)

F.V.	Estadístico	F	gl(num)	gl(den)	p
GrupFunc	28,26	409,75	16	232	<0,0001

Grupos Funcionales	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D17	Nivel trófico	Separación en grupos
5	1,68	0,47	0,36	0,11	1,07	0,93	0,17	0,46	0,57	0,6	0,63	0,19	0,13	0,95	1,04	2,4	A
6	0,88	0,4	0,14	0,11	0,48	0,06	0,06	0,4	0,23	0,19	0,57	0,14	0,09	0,57	0	3,2	B
7	1,1	0,24	0,54	0,16	1,64	0,76	0,07	0,29	0,03	0,21	0,24	0,1	0,06	0,08	1,02	4,2	C
8	1,11	0,48	0,33	0,22	0,91	0,97	0,22	0,48	0,42	0,53	0,61	0,28	0,16	1,08	0,62	3,06	D
1	0,7	0,35	0,31	0,41	0,23	0,61	0,27	0,39	0,13	0,3	0,6	0,37	0,25	0,87	0,46	3,5	E
2	1,08	0,42	0,49	0,52	0	1	0,47	0,6	0,25	0,37	0,35	0,27	0,17	1,47	1,78	3,3	F
3	0,78	0,24	0,37	0,37	0,43	0,59	0,21	0,5	0,38	0,42	0,49	0,28	0,21	1,68	1,52	2,96	G
4	1,3	0,36	0,41	0,2	0,29	0,92	0,22	0,33	0,25	0,35	0,58	0,31	0,2	1,13	0,5	3,11	H

Medias con una letra diferente son significativamente diferentes ($p > 0,05$)