Pontificia Universidad Católica del Ecuador | SEDE ESMERALDAS

ESCUELA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA EN PECES DE LA COLECCIÓN *CEMZ-EGA-PUCESE* PROCEDENTES DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO SANTIAGO-CAYAPAS EN LOS AÑOS 2012-2017

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL

AUTORA

GLENDA CAROLINA BRAVO QUIÑÓNEZ

ASESOR

MGT. PEDRO JIMÉNEZ PRADO

Esmeraldas, 2018

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de grado de la PUCE-Esmeraldas previo a la obtención del título de Ingeniera en Gestión Ambiental.

Presidente Tribunal de Graduación

Mgt. Ruben Vinueza Chérrez

Lector 1

Mgt. Freddy Quiroz Ponce

Lector 2

PhD. Jorge Velazco Ibarra

Director de la Escuela de Gestión Ambiental

Mgt. Pedro Jiménez Prado

Director de Tesis

Esmeraldas – Mayo, 2018

AUTORÍA

Yo, Bravo Quiñónez Glenda Carolina, portadora de la cédula de identidad N° 080413393-2, declaro que la presente investigación enmarcada en el actual trabajo de tesis 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 Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas.

_____

Bravo Quiñónez Glenda Carolina

C.I. 080413393-2

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a mis padres, por todo el amor incondicional, esto es por y para ustedes dos:

Manuel y Ángela

AGRADECIMIENTO

Agradecer primero a Dios, el dador de la vida y absolutamente toda la fortaleza que poseo.

Agradezco grandemente a mi padre Manuel Bravo por haberme enseñado el valor del esfuerzo, el trabajo y la dedicación, a pesar de que físicamente no estemos juntos, esta meta lograda la celebraremos usted en el cielo y yo acá en la Tierra.

A mi madre Ángela Quiñónez por ser una mujer fuerte y luchadora, que ha estado conmigo en todo momento y nunca me dejo desfallecer, gracias por el amor y el apoyo incondicional.

A una persona especial Miguel Cedeño, por haberme sostenido en los momentos más difíciles de mi vida y por su compañía latente

A mi asesor de tesis y amigo el Magister Pedro Jiménez, por la paciencia, la estimulación y la ayuda brindada.

A mis dos lectores Rubén Vinueza y Fredy Quiroz por la guía constante.

A mis familiares cercanos por su apoyo y sabios concejos en el día a día.

A mis compañeros y amigos del alma máter.

Esto es gracias a todos ustedes.

ÍNDICE

AUTORÍA iii
DEDICATORIA iv
AGRADECIMIENTO v
LISTA DE TABLAS viii
LISTA DE FIGURAS ix
LISTA DE IMÁGENES xi
RESUMEN xii
ABSTRACT xiii
INTRODUCCIÓN 1
Planteamiento del problema 1
Justificación 2
Objetivos 4
Objetivos General 4
Objetivo Específicos 4
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO 5
1.1. Bases teórico-científicas 5
1.1.1. La morfometría geométrica 5
1.1.2. Los peces como bioindicadores 8
1.1.3. La actividad minera, metales pesados y sus efectos 10
1.1.4. Factor de Condición de Fulton (K) 12
1.2. Marco legal 12
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS 14
2.1 Área de estudio 14
2.2 Población de estudio 18
2.3. Análisis de laboratorio 18
2.4. Análisis de datos 19
CAPÍTULO III: RESULTADOS 22
3.1. Depuración de la base de datos y la colección de peces 22
3.2. Factor de Condición (K) 22
3.3. Resultados de los parámetros físico-químicos 24
3.3.1. Parámetros físicos 24
3.3.2. Parámetros químicos 27
3.3.3. Análisis del comportamiento de los parámetros físico-químicos en las tres zonas de estudio 32

3.4. Datos de la morfometría Geométrica 34
3.4.1. *Eretmobrycon ecuadorensis* 34
3.4.1.1. Análisis de Componentes Principales (PCA) 35
3.4.1.2. Análisis de Variación Canonical (CVA) 35
3.4.1.3. Análisis por zonas de estudio 36
3.4.1.4 Análisis de correspondencia con parámetros físico-químicos 38
3.4.2. *Mesoheros festae* 40
3.4.2.1. Análisis de los Componentes Principales (PCA) 41
3.4.2.2. Análisis de Variación Canonical (CVA) 41
3.4.2.3 Análisis por zonas de estudio 42
3.4.2.4 Análisis de correspondencia con parámetros físico-químicos 44
3.4.3. *Roeboides occidentalis* 46
3.4.3.1. Análisis de los Componentes Principales (PCA) 47
3.4.3.2. Análisis de Varianza Canonical (CVA) 47
3.4.3.3 Análisis por zonas de estudio 48
3.4.3.4 Análisis de correspondencia con parámetros físico-químicos 49
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN 52
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES 56
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES 57
REFERENCIAS 58
ANEXOS 63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número de individuos utilizados en el estudio

Tabla 2. Resultados de los parámetros físicos analizados en los cuerpos de agua.

Tabla 3. Valores de los Componentes principales analizados por el programa para *Eretmobrycon ecuadorensis.*

Tabla 4. Valores de los Componentes principales analizados por el programa para *Mesoheros festae.*

Tabla 5. Valores de los Componentes principales analizados por el programa para *Roeboides occidentalis*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de las localidades en donde se muestrearon en la Cuenca baja del Santiago-Cayapas durante los años 2012-2017.

Figura 2. Factor de condición analizado en las tres zonas de estudio.

Figura 3. Promedio de los parámetros Turbidez (NTU), Conductividad Eléctrica (um), Temperatura (ºC), Oxígeno disuelto (mg/l) y Potencial hidrógeno que fueron analizados en cada zona de estudio.

Figura 4. Nivel de metales hallados en las localidades de Los Ajos (LA), Zapallito-Cayapas (ZA-CAY), Zapallito-Juan Montalvo (ZA-JM), Wimbí (WI), Estero María-San Agustín (MA-SA), Urbina (UR), Cachaví-Los Ajos (CCH-LA), Cachaví-San José (CCH-SJ), Tululbí-Ricaurte (TU-RI) y Tululbí-Minas Viejas (TU-MV), representantes de la Zona de Actividad Minera. Los datos expresados aquí están calculados en la función de Logaritmo de base 10.

Figura 5. Nivel de metales en las localidades de Estero María Alto (MA), Wimbicito (WTO), Estero San Antonio (SA), San Francisco del Bogotá (SFB), Seferino (SE) y Valle de la Virgen (VV) representantes de la Zona de Recuperación. Los datos expresados aquí están calculados en la función de Logaritmo de base 10.

Figura 6. Nivel de metales en las localidades de Cayapas-San Miguel (CA-SM), Palalbí-Ricaurte (PA-RI), Estero Comba punto Limpio-Cachaví (EC-CCH) y San José-Durango (SJ-DU) representantes de la Zona de Control. Los datos expresados aquí están calculados en la función de Logaritmo de base 10.

Figura 7. Nivel de metales hallados en las tres Zonas de Estudio. Los datos expresados aquí están calculados en la función de Logaritmo de base 10.

Figura 8. Relación de los parámetros físico-químicos en las tres zonas de estudio.

Figura 9. Forma consenso de los individuos de la especie *Eretmobrycon ecuadorensis*.

Figura 10. Cambios en la forma del cuerpo de los individuos de la especie *Eretmobrycon ecuadorensis* según el CV1.

Figura 11. Cambios en la forma del cuerpo de los individuos de la especie *Eretmobrycon ecuadorensis* según el CV2.

Figura 12. CV1 vs. CV2, explicando las relaciones existentes entre los especímenes de las tres zonas de estudio de la especie *Eretmobrycon ecuadorensis.*

Figura 13. Análisis de correspondencia entre los parámetros físico-químicos con el centroide de *Eretmobrycon ecuadorensis.*

Figura 14. Forma consenso de los individuos de la especie *Mesoheros festae.*

Figura 15. Cambios en la forma del cuerpo de los individuos de la especie *Mesoheros festae* según el CV1.

Figura 16. Cambios en la forma del cuerpo de los individuos de la especie *Mesoheros festae* según el CV2.

Figura 17. CV1 vs. CV2, explicando las relaciones existentes entre los especímenes de las tres zonas de estudio de la especie *Mesoheros festae.*

Figura 18. Análisis de correspondencia entre los parámetros físico-químicos con el centroide de *Mesoheros festae.*

Figura 19. Forma consenso de los individuos de la especie *Roeboides occidentalis.*

Figura 20. Cambios en la forma del cuerpo de los individuos de la especie *Roeboides occidentalis* según el CV1.

Figura 21. Cambios en la forma del cuerpo de los individuos de la especie *Roeboides occidentalis* según el CV2.

Figura 22. CV1 vs. CV2, explicando las relaciones existentes entre los especímenes de las tres zonas de estudio de la especie *Roeboides occidentalis.*

Figura 23. Análisis de correspondencia entre los parámetros físico-químicos con el centroide de *Roeboides occidentalis.*

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Ejemplar representando los 10 hitos tomados en cuenta para el estudio.

Imagen 2. Individuo con los 10 hitos colocados mediante el paquete de programa de TPS en *Eretmobrycon ecuadorensis.*

Imagen 3. Individuo con los 10 hitos colocados mediante el paquete de programa de TPS de *Mesoheros festae.*

Imagen 4. Individuo con los 10 hitos colocados mediante el paquete de programa de TPS de *Roeboides occidentalis.*

RESUMEN

La contaminación ambiental de la zona norte de la provincia de Esmeraldas ha aumentado gracias a la minería, dicha contaminación está afectando entre tantas a la fauna íctica de la zona. Por lo cual se estudió cual es el impacto de la minería sobre estos individuos.

El estudio se llevó a cabo con la colección de peces CEMZ-EGA-PUCESE correspondientes a la cuenca baja del Santiago-Cayapas, específicamente con las especies de *Eretmobrycon ecuadorensis, Mesoheros festae y Roeboides occidentalis.* Los peces fueron asociados en tres grupos principales siendo de una Zona de Actividad Minera, una Zona de Recuperación y una Zona de Control. Se utilizó la técnica de la morfometría geométrica para determinar principalmente si existen diferencias morfológicas entre los individuos de cada especie según la zona a la que correspondían.

Con los resultados estadísticos y de la morfometría se demostró que *Eretmobrycon ecuadorensis* fue la única especie que presento diferencias en tamaño y morfología entre las tres zonas de estudio, *Mesoheros festae* presento diferencias únicamente en su morfología y *Roeboides occidentalis* no manifestó diferencias ni en su tamaño ni morfología. Además, con el análisis del factor de condición se demostró que entre las tres zonas de estudio (Zona de Actividad Minera, Zona de Recuperación y Zona de Control) las tres especies tenían una mejor condición en la Zona de Control y todo lo contrario se observó en la Zona de Actividad Minera.

Con lo cual se pudo concluir que el estado de conservación de las zonas en estudio sobre todo aquellas que presentaban contaminación minera directa o indirecta y su fauna íctica acompañante están presentando alteraciones.

Palabras claves: Contaminación minera, norte de Esmeraldas, peces, morfometría geométrica, estado de conservación, morfología y factor de condición.

ABSTRACT

The environmental pollution of the northern area of the province of Esmeraldas has increased thanks to mining, said pollution is affecting among many the fish fauna of the area. Therefore, the impact of mining on these individuals was studied.

The study was carried out with the collection of CEMZ-EGA-PUCESE fish corresponding to the lower basin of the Santiago-Cayapas, specifically with the species of *Eretmobrycon ecuadorensis*, *Mesoheros festae* and *Roeboides occidentalis*. The fish were associated in three main groups being a Mining Activity Zone, a Recovery Zone and a Control Zone. The geometrical morphometry technique was used to determine mainly if there are morphological differences between the individuals of each species according to the zone to which they corresponded.

With the results of the morphometry and statistics it was demonstrated that *Eretmobrycon ecuadorensis* was the only species that presented differences in size and morphology between the three zones of study, *Mesoheros festae* presented differences only in its morphology and *Roeboides occidentalis* did not show differences neither in its size nor morphology. In addition, with the analysis of the condition factor it was shown that among the three study zones (Mining Activity Zone, Recovery Zone and Control Zone) the three species had a better condition in the Control Zone and the opposite was observed in the Mining Activity Zone.

With which it can be concluded that the state of conservation of the study areas, especially those that presented direct or indirect mining pollution and their accompanying fish fauna, are presenting alterations.

Keywords: Mining contamination, north of Esmeraldas, fish, geometric morphometry, state of conservation, morphology and condition factor.

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

Los peces son vertebrados que pertenecen al reino animal, son de sangre fría, poseen branquias y aletas, dependen totalmente de los medios acuáticos para su subsistencia (Mancini, 2002). Los peces son un grupo muy diverso, los cuales tienen un lugar importante en la historia y la ecología moderna, son animales muy numerosos y tienen una gran capacidad de adaptación que les ha permitido radicarse en cada hábitat acuático existente, siendo las primeras formas de vida vertebradas conocidas en el eslabón evolutivo de todos los vertebrados que habitan en la tierra (Kagle, 2005). La International Union for Conservation of Nature (IUCN)[1] define a los peces de agua dulce como especies donde parte esencial de su vida pasan en aguas continentales o en aguas estuarinas salobres.

Hasta la actualidad, a nivel mundial se han descrito aproximadamente 1,8 millones de especies, aunque se ha calculado que deben de existir más de 10 millones (Biodiversidad mexicana, 2013), actualmente se reconoce unas 34.608 especies de peces (Eschmeyer et al., 2017). En el Ecuador, aún se conoce muy poco de este grupo, pero se calcula que existen aproximadamente 824 especies (Barriga, 1994, 2012).

Específicamente en la provincia de Esmeraldas, existen registradas aproximadamente unas 85 especies, distribuidas en tres grandes cuencas: San Juan-Mira-Mataje, Santiago-Cayapas y Esmeraldas (Jiménez-Prado et al., 2015). La cuenca del Santiago Cayapas se encontraba bien conservada hasta mediados del siglo pasado, pero en la actualidad está siendo afectada por tres actividades antrópicas principales, entre ellas tenemos a la minería, la cual a su vez afecta a los sistemas faunísticos y humanos presentes en la zona (Rebolledo-Monsalve y Jiménez-Prado, 2015).

Son los metales pesados, usados en el proceso de la minería, que tienen una alta movilidad de partículas en ambientes acuáticos naturales y por lo tanto presentan toxicidad en las formas de vida que lo habitan, siendo estos considerados como los contaminantes

[1] https://www.iucn.org/es/regiones/am%C3%A9rica-del-sur/nuestro-trabajo/pol%C3%ADticas-de-biodiversidad/lista-roja-de-uicn

inorgánicos más relevantes para los ríos (Betancourt et al., 2012). En una cadena trófica acuática, la fauna presente resulta la más vulnerable ante la acumulación de metales pesados, desde el inicio de la cadena hasta el final van acumulando dichos metales que impactan en su desarrollo (Almaguer, 2017).

Aunque los primeros trabajos que describen a los peces en nuestro país empezaron en 1821 tras la llegada de Alexander Von Humboldt, los estudios sistemáticos empezaron a mediados del siglo pasado (Jiménez-Prado et al., 2015). Sin embargo, todos estos estudios tratan sobre la morfología convencional de las especies, desarrollando líneas de investigación centrándose principalmente en el ancho, el largo o el alto de los mismos. Es alrededor de finales del año 1980, como una variante de la morfometría tradicional, que se empieza a trabajar en el campo de la morfometría geométrica, entendida como análisis de la "forma pura" (Zelditch, Swiderski y Sheets, 2012). Los estudios en el Ecuador aún son muy escasos, destacan los realizados por Aguirre y colaboradores (2016), que analizan la variación en la forma del characido *Rhoadsia altipinna*, o de tesis de pregrado como el de Granda y Montero (2015) que exploran el uso de la morfometría geométrica para comparar distintas poblaciones del guanchiche (*Hoplias spp.*).

Justificación

Posada y Arroyave (2006), sostienen que en los ambientes contaminados por metales pesados se altera la capacidad de supervivencia de los organismos, lo que afecta a la dinámica poblacional de los individuos que ahí habitan y por lo cual afecta también a la estructura y función de los ecosistemas.

Hay que destacar que los peces son conocidos como indicadores de la calidad ambiental, siendo en su mayoría altamente sensibles ante cambios de los factores abióticos provocados por causas naturales o antrópicas (Mosquera, 2014).

El problema de la minería en la zona norte de la provincia de Esmeraldas según Rebolledo-Monsalve y Jiménez-Prado (2015) ha causado grandes impactos no solo sobre la población que habita sus riberas sino también sobre la biodiversidad existente allí, entre ella los peces.

La comunidad de peces que habita en los cuerpos de agua que están contaminados por minería son propensos a la acumulación de los metales pesados como son el cobre, plomo, cadmio, mercurio, vanadio y algunos metaloides como el arsénico que se van transmitiendo a lo largo de la cadena alimenticia proceso al cual se conoce como bioacumulación (Lillo, 2011), lo que además de alteraciones ambientales también se reflejan en afectaciones sobre la salud humana.

En este estudio se ha empleado la morfometría geométrica como herramienta para entender los posibles impactos que tiene la actividad minera en la fauna ictiológica, específicamente en los peces capturados dentro de las zonas de actividad minera, en zonas de recuperación (inactividad minera temporal o permanente) y en zonas de control (exentas de actividad minera) dentro la cuenca baja del Santiago-Cayapas; lo que ha permitido evidenciar diferencias morfológicas entre individuos de la misma especie según habiten en una u otra zona. Finalmente, este estudio ha aportado con información aplicable en diagnósticos ambientales y/o de bioindicación con peces, como base para la realización de trabajos similares en otros puntos de nuestro país.

Objetivos

Objetivos General

Analizar la forma “pura” de los peces existentes en la colección de Museo Faunístico y Herbario de la Escuela de Gestión Ambiental (EGA) de la PUCESE procedentes de la cuenca del río Santiago-cayapas, entre los años 2012 a 2017, para inferir sobre la influencia de la actividad minera en este grupo de vertebrados.

Objetivo Específicos

- Depurar la base de datos y la colección de peces existentes en el CEMZ-EGA-PUCESE y seleccionar especímenes en condiciones apropiadas para él estudio, cuyo origen sea las zonas con impacto directo de la minería, zonas de recuperación y zonas de control.

- Emplear la morfometría geométrica como herramienta de análisis para determinar las divergencias en la forma de los peces según su exposición a elementos contaminantes.

- Correlacionar la morfometría de los peces con los parámetros ambientales según su procedencia.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Bases teórico-científicas

1.1.1. La morfometría geométrica

En los últimos años el desarrollo de la morfometría se ha profundizado en áreas de la biología basada principalmente en estudios descriptivos de las formas, esta área del conocimiento ha generado nuevas herramientas de análisis sobre la misma, específicamente la morfometría geométrica ha logrado objetivar la evaluación cuantitativa de los cambios en la forma (Zelditch, Swiderski y Sheets, 2012). Esto es posible gracias a la aplicación de técnicas biométricas, instrumentos y programas computacionales que permiten la captura y análisis de datos en forma de matrices de morfocoordenadas que representan la geometría de un espécimen y no se limitan a la obtención de datos lineales de él, como medidas de alto o ancho, elementos que carecen de la precisión y la riqueza de los datos geométricos (Toro et al., 2010).

El estudio de la morfometría geométrica no solo se realiza en peces, sino también en otros individuos tales como el género del mosquito Anopheles. Realizado para poder determinar las diferentes especies de ese género puesto que allí se encuentran los primordiales vectores de la malaria (Calle et al., 2008). También la utilizan en el estudio de distintas especies de roedores, donde se pretendía conocer su posible relación con la selección sexual y post-cópula (Sánchez, 2014). En ovinos para establecer comparaciones en tres poblaciones diferentes mediante los datos obtenidos (Parés-Casanova, 2014) y también en diferentes especies botánicas como indicadores de estrés ambiental (Canché-Delgado et al., 2011).

A nivel mundial se han realizados estudios sobre la morfometría geométricas en distintas especies de peces, teniendo así que, en ríos de la cuenca del Usumacinta, Chiapas, México se realizó un estudio de morfometría tradicional y geométrica en individuos de la especie conocida vulgarmente como "*Vieja"* (Cichlidae); este análisis permitió diferenciar los seis taxones de la familia anteriormente identificada. Mediante medidas discriminantes

revelaron diferencias en las longitudes de aletas y la región cefálica, encontraron diferencias en la morfología trófica (Sorria-Barreto et al., 2011).

Se ha realizado también análisis de especiación simpátrica en especies *Anphilophus. astorquii, A. amarillo, A. xiloaensis y A. sagittae* (cichlidos) en los lagos de Xiloá y Apoyo de Nicaragua usando el método de morfometría geométrica, obteniendo que los individuos juveniles de las diferentes especies tienen una relación morfológica muy cercana con los individuos de la misma laguna (Pérez, 2016).

En el Ecuador también se han realizado estudios de morfometría geométrica en peces de la especie *Hoplias spp.* para describir, cuantificar, y examinar su variación respecto a la distribución geográfica, hábitat, dieta y sexo. Este método resulto muy útil para la cuantificación y división de la morfología de dicha especie (Granda y Montero , 2015).

También se realizó un estudio que identificaba la composición de capturas, descripción de tallas determinando la relación existente entre longitud-peso de las principales especie de peces nativos de interés comercial del Humedal Abras de Mantequilla (Ochoa et al., 2017).

Este método de análisis permite identificar los cambios en la forma "pura" del cuerpo de los ejemplares en varias direcciones separando las variantes de la posición y el tamaño entre individuos de una misma especie o especies diferentes, de tal manera que se pueda realizar la identificación de las variaciones mínimas de y entre los hitos anatómicos, utilizando además laminillas de deformación que permiten identificar las zonas de mayor y/o menor crecimiento (Rodríguez, 2016).

Para la obtención de los datos se utilizan hitos, los cuales son puntos que estructuran coordenadas bidimensionales en un plano, existiendo cuatros tipos de hitos que se utilizan según los cuerpos que se vayan a marcar (Toro M et al., 2010, 2010):

- **Hitos de tipo 1:** Son hitos de fácil localización y visualización como en intersección de líneas que se relacionan con estructuras anatómicas, deben de ser dominantes cuando se quiera definir la forma pura.
- **Hito de tipo 2:** Se marcan en puntos que representan curvaturas máximas.

- **Hito de tipo 3:** Son hitos que describen puntos alejados en el cuerpo estudiado, este tipo de hitos van relacionados más al tamaño que a la forma.

- **Semi-hito:** Se localizan en relación a otros hitos, sirven para analizar contornos cuando no hay puntos anatómicos precisos.

Para la marcación correcta de los hitos debe de tomarse en cuenta los siguientes criterios según (Toro M et al., 2010, 2010):

- **Homología:** Es muy importante la forma en cómo se definen los hitos, hablamos de estructuras homólogas cuando las semejanzas subyacentes resultan de una estructura ancestral común, por lo que las estructuras descritas serán comunes.

- **Consistencia en la posición relativa:** La posición de los hitos no debe de depender de las formas a ser estudiadas, estos hitos deben de ser permanentes; por lo que un hito no puede estar superpuesto o transpuesto a otro ya que podría provocarse problemas en el análisis.

- **Cobertura adecuada de la forma:** Debe de colocarse una cantidad de hitos suficientes que pueda recrear la forma del cuerpo en estudio, cantidades insuficientes o exageradas llevan a resultados poco confiables.

- **Repetitividad:** El hito debe de ser de fácil localización y estar definido de forma clara para evitar un efecto significativo del error del observador.

- **Coplanaridad:** Se debe de tener en cuenta cuando se trabaje con imágenes bidimensionales que tengan mucha profundidad, ya que no se podrá evaluar la información que contiene el plano posterior, en estos casos es recomendable trabajar con imágenes tridimensionales.

El conjunto de coordenadas que se obtienen son datos primarios, por lo cual realizar de la mejor manera este primer paso es crucial, para en lo posterior tener la confiablidad de que los resultados obtenidos sean los correctos. La segunda etapa del desarrollo de la morfometría se basa en la obtención de información de la forma pura, la cual se obtiene mediante procedimientos geométricos y estadísticos basada en los datos obtenidos en una primera etapa.

Los espacios morfométricos, que son espacios matemáticos multidimensionales, permiten generar el centroide, es decir la descripción de la posición central entre los diferentes hitos. A partir de este punto se lo suele escalar, es decir eliminar la variable del tamaño, la posición y la rotación, con el objetivo de que todas las configuraciones lleguen a un "tamaño común", con lo cual se llega al espacio de la pre-forma (Toro M et al., 2010); luego se consigue una forma promedio, conocido también como la "forma consenso" (Toro et al., 2010). Se emplean otros programas computacionales que permitan analizar el comportamiento de los resultados obtenidos y correlacionarlos, por ejemplo, con parámetros ambientales.

1.1.2. Los peces como bioindicadores

Los peces tienen valor como indicadores en periodos de tiempo mediano a largo, estaciones, años o más; pero lo tienen también como indicadores por su relación con determinados hábitats fluviales o de ribera. Estos animales resultan ser buenos bioindicadores de contaminación acuática ya que están en contacto permanente con este ambiente, se encuentran presentes en todos los niveles tróficos de consumidores, debido a sus diversas adaptaciones alimenticias, por lo que también sirven como base nutritiva para muchas comunidades humanas (Pouilly et al., 2008).

1.1.2.1. *Eretmobrycon ecuadorensis*

Es una especie endémica del Ecuador, que se conoce como sardina, tacuana, chala orillera o cachuela. Se caracteriza por ser abundante y andar en cardúmenes, tiene una alimentación variada ya que se los conoce principalmente como omnívoros con propensión a la entomofagia, suele habitar los remansos de los ríos de fondos con sustratos mixtos de arena, roca y fango acompañada de vegetación sumergida. No es una especie con suma importancia en el sector pesquero comercial, tampoco existe información sobre su estado de conservación actual (Román-Valencia et al., 2015).

Presenta un cuerpo robusto y ligeramente comprimido, hocico corto en comparación a la cabeza larga que posee, tiene boca terminal con labios blandos, la aleta dorsal presenta bordes redondeados con el primer radio simple y los dos siguientes radios son largos y

ramificados pero no alcanzan la aleta adiposa, bordes convexos en las aletas pectorales las cuales sus extremos sobrepasan el origen de las aletas pélvicas, tiene una aleta caudal bifurcada con lóbulos largos y terminación en punta; en peces vivos el área dorsal es verde amarillenta y su parte ventral es blanco grisáceo, aletas verdes amarillentas con varia manchas obscuras pequeña, se los conoce por ser tolerantes a las malas condiciones ambientales, pero se han reportado especímenes con malformaciones y tumoraciones que tenían como hábitat ríos con contaminación minera y de pesticidas (Román-Valencia et al., 2015).

1.1.2.2. *Mesoheros festae*

Es una especie nativa del Ecuador, es conocida como vieja roja, vieja colorada, vieja de montaña o mojarra, conocida antiguamente como (*Cichlasoma festae*). Tiene una alimentación principalmente omnívora, ya que se alimenta de peces pequeños, caracoles, crustáceos y plantas acuáticas. En sus etapas iniciales habitan en troncos y palizadas cercanos en la confluencia de ríos medianos y pequeños. Es una especie con valor comercial en lugares específicos del Ecuador, además de tolerar muy bien las condiciones de cautiverio, presentado un buen potencial de cultivo (Jiménez-Prado et al., 2015).

Presenta un cuerpo comprimido lateralmente, con una altura de 2,5 veces mayor en relación a la longitud total del cuerpo, tiene cabeza grande. Posee escamas grandes en la región anterior de la cabeza, boca terminal con pequeños dientes caninos; tiene el pedúnculo caudal más alto que largo y con una mancha obscura y redondeada, línea lateral discontinua y posee tres fuertes espinas en las aletas dorsal y anal (Glodek, 1978).

1.1.2.3. *Roeboides* occidentalis

Es una especie nativa del Ecuador, conocida como vieja jorobada, anchoveta, piraña o espalda de vieja. Es conocida principalmente como omnívora, se los halla con mayor abundancia en la unión de pequeños esteros con cuerpos de agua mayores asociados a palizadas y basura flotante. Es una especie con poco interés comercial, aunque en el Norte de Esmeraldas se lo consume de forma irregular (Jiménez-Prado et al., 2015).

Presenta un cuerpo alargado y comprimido, con una especie de joroba entre la región supraoccipital y el inicio de la aleta dorsal, y totalmente recto desde el final del origen de la aleta dorsal hasta el origen de la aleta adiposa, aleta caudal bifurcada con terminación en puntas; en especímenes vivos el cuerpo es de color plateado y con una mancha humeral negra, ovalada y notable, en organismos conservados se mantiene la mancha humeral, el cuerpo es color amarillo con el dorso más obscuro (Glodek, 1978).

1.1.3. La actividad minera, metales pesados y sus efectos

La minería es un conjunto de actividades concernientes al descubrimiento y la extracción de los minerales que se hallan bajo la tierra, los impactos que produce la minería están más ligados a la eliminación de los residuos mineros, con la transportación y el procesamiento de los minerales, que normalmente involucra o se realiza a través de materiales peligrosos para las personas y el ambiente (Movimiento mundial por los Bosques Tropicales, 2004).

Según la tabla periódica, los metales pesados son elementos químicos con densidades mayores a 4 g/cm^3, masa y peso atómico por encima de 20 y que son tóxicos en concentraciones bajas. Los metales pesados se encuentran naturalmente en el ambiente en concentraciones que no perjudican a los seres vivos, estos elementos no pueden ser degradados, se disuelven con agentes físicos y químicos y se lixivian. Los que se utilizan en la actividad minera son cobre, plomo, cadmio, arsénico, mercurio y vanadio (Galán y Romero, 2008).

Los químicos encontrados en los procesos mineros pueden tener grandes efectos tóxicos en los organismos acuáticos, en especial en la ictiofauna por encontrarse en cambios físicos y fisiológicos altamente necesarios para su correcto desarrollo y maduración, lo cual se ve impactado por el proceso de bioacumulación que es el incremento de la concentración del contaminante en sus tejidos a lo largo de su ciclo vital (Olsvik et al., 2015).

Está evidenciado también que estos elementos afectan directa e indirectamente a la salud humana, considerando que los seres humanos necesitan pequeñas cantidades de metales como (cobre, zinc, hierro, etc.) para algunas funciones biológicos, pero la excesiva

concentración de estos alteran procesos fisiológicos en el organismo, considerando que estas altas concentraciones también conllevan enfermedades (Londoño-Franco, 2016), por ejemplo:

El arsénico (As) está distribuido ampliamente en la naturaleza, tiene 17 nucleídos radioactivos, en su forma metálica es conductor térmico, en el ambiente lo hallamos como mineral de cobalto, aunque generalmente está en la superficie de las rocas combinado con azufre u otros metales como el manganeso. En las personas la toxicidad del arsénico causa lesiones en la piel, afectaciones en órganos como el hígado, riñones y bazo, está vinculada además a la bronquitis y al cáncer de piel, pulmón y vejiga (Castro, 2006).

El plomo (Pb) es de color azul, forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos. La absorción de plomo es muy grave para la salud, ya que afecta al desarrollo del sistema nervioso y del cerebro en los niños, en los adultos causa hipertensión y enfermedades renales, en mujeres embarazadas puede provocar el aborto espontaneo, muerte fetal, malformaciones en los fetos y parto prematuro (Cantos y López, 1999).

El cobre (Cu) es muy abundante y posee muchas propiedades químicas, eléctricas, físicas y mecánicas. Su ingesta en altas concentraciones puede provocar alteraciones en el sistema nervioso, las personas expuestas a este presentan una gran tasa de cáncer de pulmón además de la neumoconiosis y la silicosis (Cabrera-Marutz et al., 2014).

El mercurio (Hg) es un líquido blanco plateado a temperatura ambiente, es el principal elemento usado en el proceso minero para la formación de amalgamas y así extraer de forma fácil lo que se desee, la inhalación de altas concentraciones de mercurio puede provocar afectaciones en el aparato respiratorio, insuficiencia renal, enfermedades cardiovasculares, gastrointestinales, dermatológicas y neurológicas (Gaioli, Amoedo, & González, 2012).

El cadmio (Cd) es muy raro en la naturaleza y es muy asociado con el zinc, es de color blanco ligeramente azulado, tiene ocho isótopos estables y once radioisótopos inestables, casi todo se obtiene como subproducto en el proceso de refinación del zinc. Para la mayor parte de los seres vivos la mayor fuente de exposición al cadmio son los alimentos y el agua, donde pequeñas partículas son inhaladas por el aparato respiratorio. La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que la complejidad de los signos en el

organismo varía según las cantidades, el tiempo de exposición y con la vía de entrada del metal, así que en exposición crónica este suele causar anemia, problemas renales, osteoporosis, trastornos nerviosos y cáncer de próstata y pulmón, en exposición aguda hay neumonitis, gastroenteritis, náuseas, dolor abdominal y diarrea (Londoño-Franco, 2016).

1.1.4. Factor de Condición de Fulton (K)

El factor de condición de Fulton (K), sirve para realizar una comparación de la condición de una población de peces, permitiendo entender su estado de crecimiento, nutrición y analizar de qué forma las condiciones ambientales de los ecosistemas acuáticos afectan a estas poblaciones, además ayuda a determinar el grado de bienestar o robustez de las especies ícticas, por lo cual la suposición básica al uso de este factor es que los individuos de mejor condición son los más robustos y por lo cual pesan más a una longitud determinada. Este factor se estima mediante la fórmula $K=(100*W)/(L^b)$, donde W es el peso corporal húmedo en gramos, L la longitud en milímetro y *b* es el valor del crecimiento isométrico (b=3) (Panda y Datta, 2017), cuando los individuos han incrementado su peso en mayor proporción que su longitud se lo conoce como crecimiento alométrico positivo y para este caso b>3, en cambio, cuando los especímenes incrementan su longitud antes que su peso presentan crecimiento alométrico negativo y para este caso b<3(Cifuentes et al., 2012)..

1.2. Marco legal

En la Constitución del Ecuador del 2008 encontramos un sinnúmero de artículos que protegen y garantizan los derechos de la naturaleza, resaltando entre ellos los de la biodiversidad.

Siendo así en el artículo 317 menciona que los recursos naturales no renovables (entre ellos los metales), son inalienables e imprescriptibles. El estado deberá de velar por la

conservación de la naturaleza minimizando los impactos negativos en carácter ambiental, social y económico (Constitución del Ecuador, 2008).

Además el artículo 395 reconoce el principio de un modelo sustentable de desarrollo que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas(Constitución del Ecuador, 2008).

El artículo 57 de la Ley Minera nos dice que la explotación minera ilegal será sancionada con el decomiso de todos los instrumentos de trabajo más una sanción monetaria y se consideran agravantes las afectaciones al medio ambiente y su biodiversidad (Ley Minera del Ecuador, 2017).

En la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, en su artículo 79 nos menciona los objetivos de prevención y conservación del agua, destacando en su literal e) que se debe de prohibir, prevenir, controlar y sancionar la contaminación de aguas que alteren la calidad del agua y afecten a la flora y fauna del lugar (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2017).

El artículo 110 nos habla sobre la autorización del aprovechamiento, mencionándonos principalmente que las actividades mineras deberán de contar con la autorización del aprovechamiento de las aguas que utilicen (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2017).

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) es un texto que detalla los reglamentos muy amplios de la normativa ecuatoriana que está en vigencia, tratándose de una herramienta legal que desarrolla de forma detallada el tema ambiental en general. Presenta IX Libros, donde el que se cita para este caso es el Libro VI: de la Calidad Ambiental, actualmente los anexos de este libro se hallan por separado en el Acuerdo Ministerial (AM) 097a, específicamente se cita al Anexo 1 de la Calidad del Agua Tabla 1 y 2 que tiene los criterios de la calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico y los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarinas respectivamente.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

La zona norte de la provincia de Esmeraldas está formada por los cantones Eloy Alfaro y San Lorenzo, lo cuales contemplan el 46% del territorio total de la provincia, conteniendo un 15% de la población total. Ambos cantones constituyen la diversidad cultural y étnica de la provincia ya que en este territorio confluyen las nacionalidades chachi, awá, épera y los afrodescendientes, existiendo además una gran presencia de la población colombiana (Minda, 2002).

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC, 2017)[2] el cantón Eloy Alfaro tiene una población de 39,739 habitantes distribuidos en una parroquia urbana y catorce parroquias rurales. El cantón San Lorenzo cuenta con 42,486 habitantes distribuidos en una parroquia urbana y doce parroquias rurales.

Ambos cantones son bañados por tres grandes cuencas: el río Santiago, el río Cayapas y el río Ónzole. Este estudio se llevó a cabo en la confluencia de la cuenca baja del Santiago-Cayapas; la cuenca del Santiago-Cayapas drena un área de 6321 km^2 del norte de la provincia de Esmeraldas desembocando en el océano Pacífico en el extremo sur de la Reserva de Manglares Cayapas Mataje. Es la tercera cuenca hidrográfica del país con mayor caudal y de acuerdo a los datos de las estaciones limnimétricas del INAMHI ubicadas en la parte baja de sus principales sub cuencas, sus caudales son mayores en los primeros 4 meses del año con repuntes en noviembre y diciembre (Rebolledo-Monsalve y Jiménez-Prado, 2015).

El INEC menciona que en siete de las parroquias del cantón Eloy Alfaro y en diez del cantón San Lorenzo, la actividad económica de la población esta dictada en primer lugar por la agricultura (basada principalmente en el monocultivo de la palma), en segundo lugar, por el aprovechamiento minero y en tercer lugar por la silvicultura y pesca.

De forma directa, casi el 21% de la población de ambos cantones está vinculada con la minería, esta vinculación se da con el personal que maneja las maquinas, excavadoras,

[2] http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/esmeraldas.pdf

los clasificadores, los que dan servicios de cocina, lavandería y hasta los que realizan la extracción de forma artesanal. De forma indirecta, el 75% de la población de ambos cantones se ve afectada por la minería; la población que no participa ni es afectada por esta actividad vive de la pesca y la agricultura, actividades para las cuales también se utilizan los ríos encontrados en el territorio (Ortiz et al., 2014).

El aprovechamiento minero en la zona es el aurífero, el cual durante muchos años sirvió para la activación económica del lugar. En sus inicios se lo realizaba de forma artesanal, lavando manualmente una porción de arena del río en búsqueda de pequeñas partículas de oro, pero desde hace más de una década la forma de extracción cambio cuando se descubrieron nuevos métodos de obtener el metal con ayuda de maquinaria industrial (Farah, 2014).

El impacto ambiental de mayor afectación recae sobre el recurso agua y específicamente las cuencas de los ríos Santiago, Cayapas y Ónzole. La actividad minera se centra primordialmente en la cuenca Santiago-Cayapas, que debido a los procedimientos mineros es posible observar el impacto en los ríos, debido al cambio de color del agua a gris-blancuzco, a la turbiedad y al olor, además de palpar las afectaciones en la piel de las personas y en la mortandad o mutaciones de las especies bioacuáticas como peces y camarones de río (GADPE, 2015).

La actividad minera que se genera en este territorio ayudaba al aporte económico de las familias que trabajaban en dichas actividades, pero es evidente que el medio ambiente se ha visto en detrimento debido al impacto negativo que generan estas actividades que son altamente contaminantes, impactos que se focalizan en los cuerpos de agua y la fauna que habita en estos, entre ellos los peces (CID-PUCESE-PRASS, 2011).

Rebolledo-Monsalve y Jiménez-Prado (2015), en su estudio dividieron la cuenca estudiada en cinco zonas principales: Zona de Actividad Minera Directa (estaciones con alta actividad minera), Zona de Actividad Minera Indirecta (sin presencia directa de mineras pero con el flujo del río también se veían afectadas), Zona de Control que son estaciones donde nunca se practicó la actividad minera, Zona de Recuperación que son estaciones en las cuales se dejó de practicar esta actividad y por último una Zona de Sumidero.

Pero para la realización de este estudio se simplificaron estas estaciones trabajando así solo con tres zonas una Zona de Actividad Minera (directa e indirecta), una Zona de Control y por último una Zona de Recuperación. Además, cada una de estas zonas está representada por diversas localidades, las cuáles se las puede observar en la Figura 1. En el estudio antes mencionado recolectaron muestras de aguas para enviarlas a un laboratorio acreditado conociendo así la calidad de agua de los sitios de muestreo. Estos estudios detallan la cantidad de metales pesados encontrados en las muestras de agua tomadas y sedimentos, además de la medición de potencial hidrógeno (pH) turbidez, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura del agua.

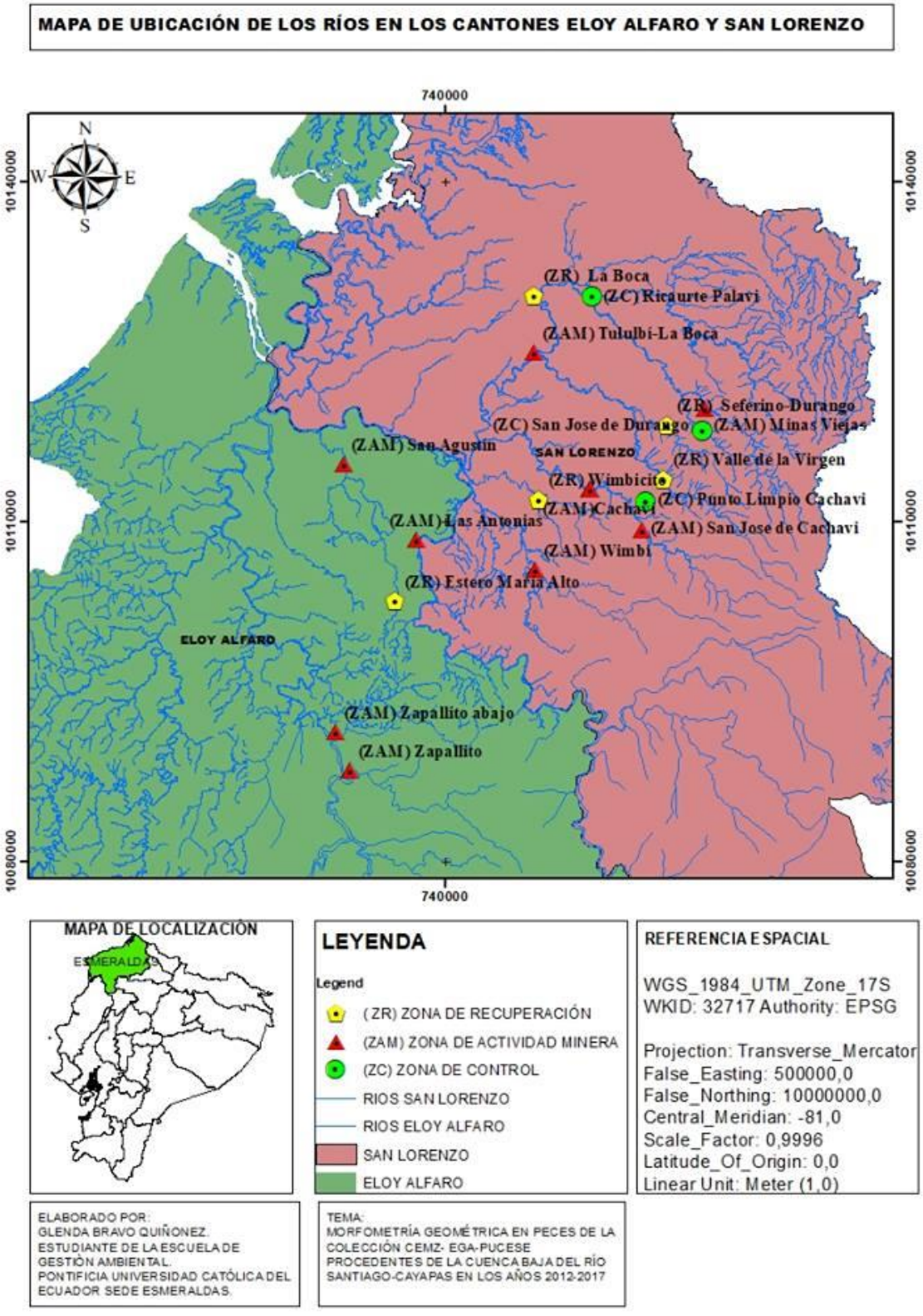


Figura 1. Mapa de las localidades en donde se muestrearon en la Cuenca baja del Santiago-Cayapas durante los años 2012-2017.

2.2 Población de estudio

Los individuos de la colección de peces del Laboratorio de Gestión Ambiental de la PUCESE fueron colectados en varias partes de la provincia Esmeraldas, pero para la realización de este estudio se tomó en cuenta exclusivamente a los individuos capturados en la cuenca del Santiago-Cayapas, a los cuales se separó posteriormente según las zonas de procedencias sean estas de Actividad Minera, Recuperación y Control.

Cabe destacar que mediante la revisión de dicha colección se descartaron 400 individuos que se encontraban en malas condiciones y que no servirían para realizar el análisis de morfometría geométrica por haber sido mal conservados.

2.3. Análisis de laboratorio

Hasta septiembre del 2017, la base de datos de la colección de peces del Laboratorio de Gestión Ambiental de la PUCESE contaba con 1537 individuos que pertenecen a 62 especies, los cuales fueron capturados en toda la provincia de Esmeraldas en aproximadamente 100 cursos de agua, pertenecientes a las tres cuencas principales de la provincia, entre ellas la cuenca del Santiago-Cayapas.

La colección de la cuenca Santiago-Cayapas contaba en un principio con 485 individuos, con las capturas realizadas en el mes de noviembre del 2016, que fueron 450 especímenes, la colección de esta zona de estudio creció a 935 individuos, realizándose un total de 71 capturas.

Realizando la revisión y selección minuciosa de todos estos especímenes, se descartó la mayoría ya que se encontraban mal conservados (no aptos para la morfometría geométrica), encontrando individuos con el cuerpo totalmente curvo y rígido, sin aletas, con el cuerpo fragmentado e inclusive algunos estaban fuera de la colección (en préstamo).

De la muestra seleccionada, a los especímenes que estaban mal fijados pero que podían ser utilizados se los sometió a un método de fijación, este método consiste en colocar a

los individuos con su cuerpo y aletas extendidas (colocándoles alfileres) dentro de un recipiente amplio, y con algodón humedecido en formol al 10%, luego se los recubrió con una capa delgada de algodón, se les volvió a colocar formol al 10% y se los cubrió con otro recipiente de igual tamaño para que no haya la volatilización del formol. Se les revisó periódicamente para ver el avance de la fijación y aproximadamente dos semanas después los individuos estaban fijados. Después de haber aplicado el método se descartaron más especímenes que no se lograron rectificar para el estudio.

A los individuos restantes se les realizo la toma del peso y de la talla para el registro de los datos, posteriormente se hizo el etiquetado de todos los especímenes listos para el estudio, la etiquetación se realizó por especie e individuo para poder reconocer a cada uno de estos. Posterior a esto se obtuvo una matriz del número de individuos que sirvieron para el estudio según la zona a que correspondían y la especie a la que pertenecen.

Todo esto para obtener una matriz principal con las especies que tenían un número de individuos considerable en cada una de las zonas de estudio, estas especies fueron *Eretmobrycon ecuadorensis*, *Mesoheros festae* y *Roeboides occidentalis*. De forma posterior se tomó los registros fotográficos de todos los especímenes a ser analizados.

2.4. Análisis de datos

Para la descripción morfométrica se utilizaron programas de libre acceso, que contienen un amplio paquete de herramientas que permitieron realizar los análisis exploratorios, entre ellos el TPSregr y el TPSrelw; sin embargo, para este estudio se trabajó con los programas TPSUtil, TPSDig, para el archivado y la digitalización de los hitos, luego con MorphoJ para el análisis propiamente dicho de la Morfometría Geométrica y finalmente el Excell, PAST e InfoStat para los análisis de datos numéricos.

El programa TPSUtil utiliza la base de datos fotográficos para crear una matriz de morfocoordenas, procesados en extensión (*.tps*) el cual es leído por TPSDig.

Este segundo programa (TPSDig) se utilizó para transformar las fotos digitalizadas en coordenadas polares, aquí se seleccionan los hitos, los cuales están en zonas específicas de los individuos (sin importar su tamaño y especie siempre serán los mismos), por lo

cual se seleccionaron hitos en el hocico (1), región supraoccipital (2), origen de la aleta dorsal (3), final de la aleta dorsal (4), pedúnculo caudal (5), inicio de la aleta anal (6), final de la aleta anal (7), origen de la aleta pélvica (8), origen de la aleta pectoral (9) y el istmo (10), en total se seleccionaron 10 hitos por cada foto (organismos) es importante señalar que se calibro el programa con la escala requerida, todo este proceso se realizó con todas las fotos, el ejemplo logramos observarlo en la Imagen 1.

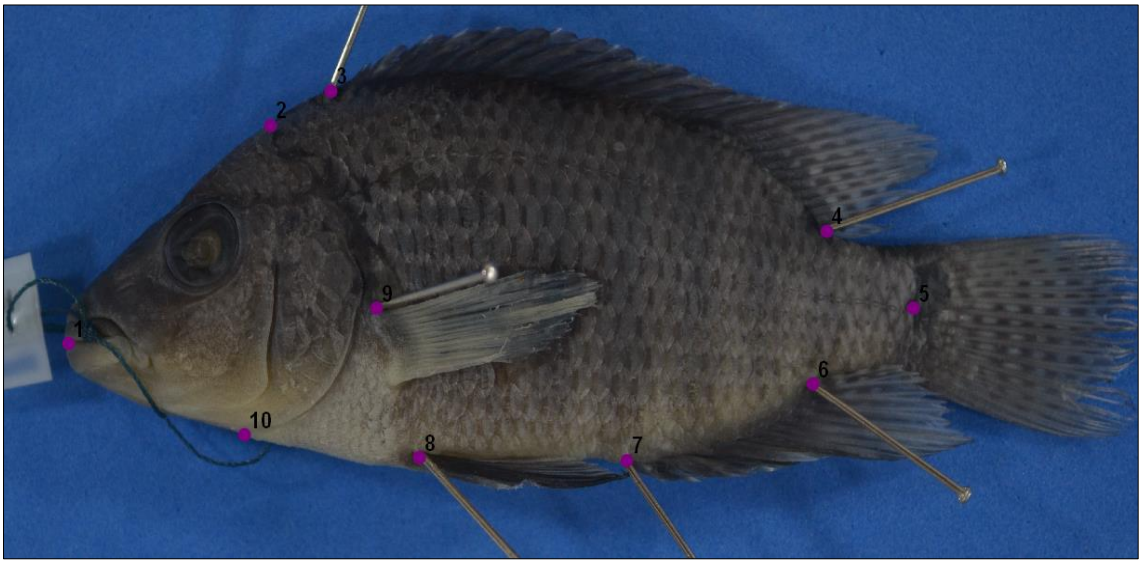


Imagen 1. Ejemplar representando los 10 hitos tomados en cuenta para el estudio.

Posteriormente se manejó MorphoJ el cual es un paquete de programas utilizado para el análisis de la morfometría geométrica de datos reales bidimensionales (Klingerber, 2017). Aquí se cargó el archivo obtenido de los dos anteriores programas para ser alineado con un archivo de excell con la extensión (*.delimitado por tabulación*) el cual contenía la identificación de cada imagen (ID) y la muestra a la que pertenecen (Group), con este paquete de programas se realizó primero una alineación de los hitos además de los siguientes análisis:

- Regresiones las cuales predicen variaciones con una variable dependiente (VD) y una variable independiente (VI) para este caso la VI es la forma del cuerpo y la VD es el tamaño de los individuos, con lo cual se creó modelos. Además, se corrigió la alometría entre las muestras.

- El cálculo de los Residuales es la diferencia que existe entre el valor real de cada variable y el valor calculado por el programa.

- Análisis de Componentes Principales (PCA) utiliza exclusivamente la variable de la forma del cuerpo y visualiza las diferencias que hay entre muestras.

- El análisis de Variaciones Canonical (CVA) distingue las diferencias entre grupos según la alometría que estos presenten, destaca diferencias entre grupos y reduce la distancia entre los individuos del mismo grupo.

Una vez finalizado el uso de los programas, se procedió a realizar un análisis, con el cual se identificarán los cambios en la forma del cuerpo de los ejemplares en varias direcciones separando las variantes de la forma y el tamaño entre individuos de una misma especie, de tal manera que se pudo realizar la identificación de las variaciones en los hitos anatómicos con las laminillas de deformación identificando las zonas de mayor y menor crecimiento.

Con los programas PAST e InfoStat se ejecutaron análisis estadísticos. Primero, se realizó un Análisis de Componentes principales (PCA) para establecer la relación de los diferentes parámetros con las zonas de estudio; con los mismos datos, se realizó un MANOVA para establecer estadísticamente sus diferencias o semejanzas. Para determinar la diferencia entre el tamaño del animal, representado en este caso por el centroide, será analizado mediante un ANOVA de una vía; para la forma, representado por todas y cada una de las variables (ejes X y Y de cada hito), serán analizados mediante un ANOVA multivariado con prueba de Pillai.

También se realizó un análisis de correspondencias entre los parámetros físico-químicos y el tamaño centroide de cada espécimen, los cuales fueron agrupados por zona de captura, para determinar las relaciones existentes entre estos; con el segundo se introdujo una matriz que representaba el factor de condición de cada individuo estudiado relacionado con la zona a donde correspondían, para hallar si estadísticamente tenían similitudes o diferencias entre ellas.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Depuración de la base de datos y la colección de peces en la CEMZ-EGA-PUCESE

Luego de una ardua depuración de la *CEMZ-EGA-PUCESE*, la técnica de la morfometría geométrica se logró aplicar en 183 individuos de la especie *E. ecuadorensis*, 54 individuos de la especie *M. festae* y 80 individuos de la especie de *R. occidentalis*, dando un total de 317 individuos que fueron estudiados (Tabla 1):

Tabla 1

Número de individuos utilizados en el estudio

		ZONAS			
	Especies	**Directa**	**Recuperación**	**Control**	**Nº Ind.**
1	*Mesoheros festae*	22	24	8	54
2	*Eretmobrycon ecuadorensis*	118	51	14	183
3	*Roeboides occidentalis*	55	23	2	80
		195	**98**	**24**	**317**

3.2. Factor de Condición (K)

El Factor de Condición de Fulton (K) se determinó mediante una relación de peso y talla para cada uno de los especímenes de las tres especies estudiadas diferenciadas según las zonas de captura. *Eretmobrycon ecuadorensis* no presenta diferencias significativas ($F=1.64$; $gl=2$; $p>0.05$), al igual que *Mesoheros festae* que tampoco tiene diferencias significativas ($F=2.13$; $gl=2$; $p>0.05$); es decir que es indiferente su condición del grado de impacto minero. Para la especie de *Roeboides occidentalis* si se hallaron diferencias

significativas (F=5.35; gl=2; p<0.05); con el test de Tukey (alfa=0.05) se evidenció que la Zona de Control tiene diferencias significativas de Zona de Recuperación y Minera, es decir al tener una media de 0.13 muestra mejor estado de condición.

A nivel de las tres zonas estudiadas K reveló que la zona con mejor estado para las tres especies fue Zona de Control y la de menor estado fue la Zona de Actividad Minera, expresado por el factor de crecimiento/desarrollo en los individuos según su zona de captura (Figura 2).

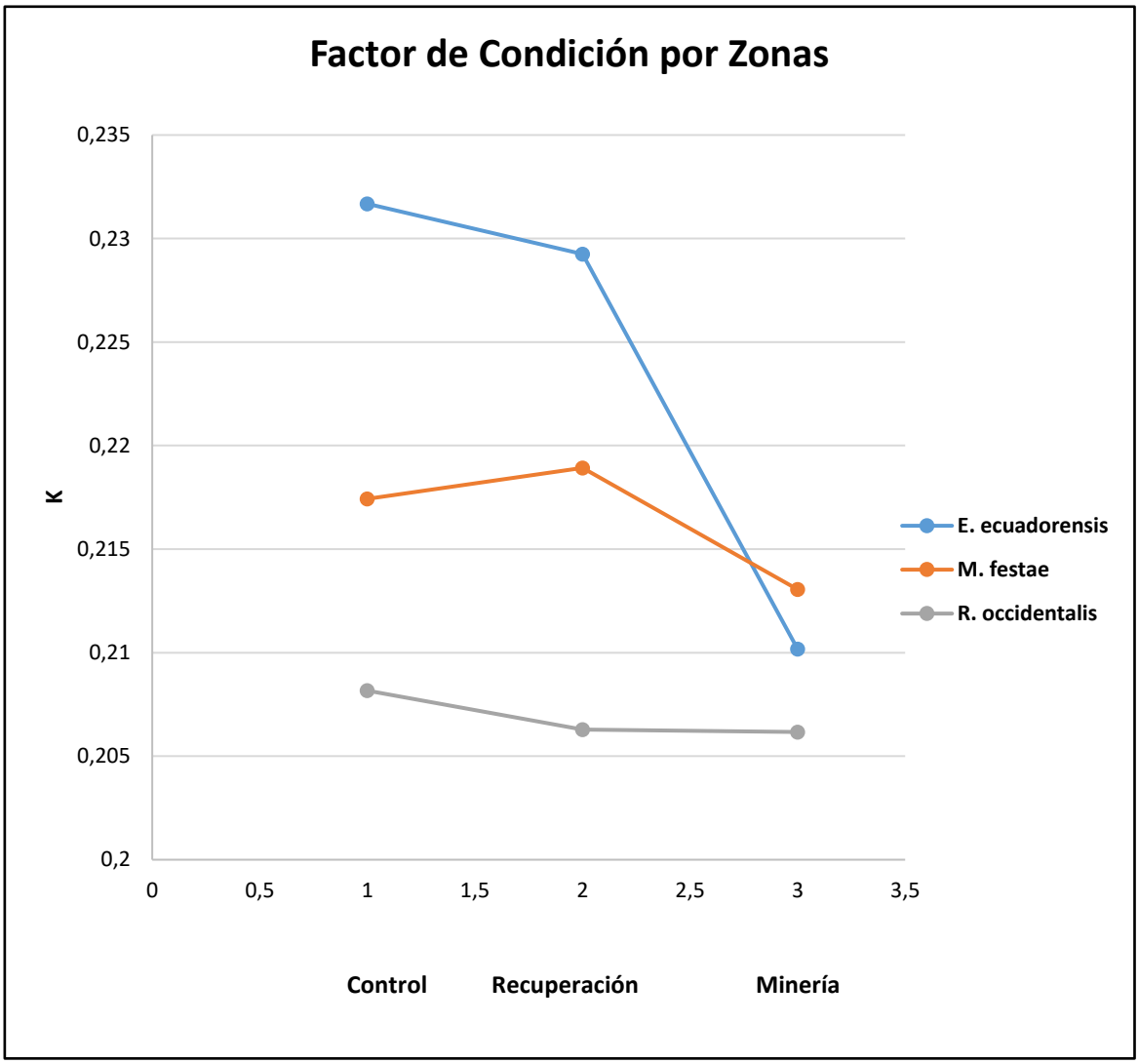


Figura 2. Factor de condición analizado en las tres zonas de estudio.

3.3. Resultados de los parámetros físico-químicos

3.3.1. Parámetros físicos

El análisis general de los parámetros del agua: pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y turbidez se realizaron *in sittu*, en cada una de las diferentes estaciones de captura. Se realizaron 194 medidas de temperatura, 163 de oxígeno disuelto, 140 de conductividad eléctrica, 166 de potencial Hidrógeno y 168 de turbidez, se tomaron 64 muestras de agua para su posterior análisis en un laboratorio acreditado.

Los cinco parámetros medidos arrojaron diversos resultados, estos se midieron en relación a la *Tabla 1: Criterios de la calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico* y de la *Tabla 2: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarinas* del Acuerdo Ministerial 097a, Anexo #1 de la Calidad del agua.

En la Tabla 2 de este estudio, se muestran los promedios de cada parámetro analizado junto a la desviación estándar y los valores mínimos y máximos registrados durante todo el proceso; los niveles de pH en las tres zonas se mantienen en promedio dentro de lo establecido en el TULSMA, pero si se registraron valores por debajo del límite permisible en las tres zonas, la temperatura del agua no es muy variante, el oxígeno disuelto se encuentra en cantidades admisibles según la norma para la Zona de Recuperación (ZR) y Zona de Control (ZC) sin embargo en la Zona de Actividad Minera (ZAM) se registraron valores lejanos al límite aceptable. Algo semejante se registró con la turbidez pues en las zonas ZAM, ZR y ZC en donde los valores en términos generales se mantienen dentro de lo admisible, sin embargo, es importante señalar que ciertos puntos específicos dentro de la ZAM (Estero Zapallito sector Juan Montalvo), superan de manera importante el límite permitido.

Tabla 2

Resultados de los parámetros físicos analizados en los cuerpos de agua.

PARÁMETROS	LMP	Z_ACTIV-M	Z_RECUPERACIÓN	Z_CONTROL
pH	6,5 a 9	6,678±0,4762 (**5,9**-7,93)	7,085±0,6555 (**5,51**-8,31)	7,250±0,571 (**5,9**-7,63)
OD	≥6 mg/l	7,879±0,9297 (**3,18**-9)	8,160±0,2715 (7,54-8,6)	8,580±0,313 (7,43-8,44)
T del agua	ºC	26,747±1,356 (23,4-29,7)	26,635±1,36 (24,7-29,9)	26,100±1,34 (24-28,4)
Conductividad	uS	36,842±20,877 (13,8-85,2)	31,348±11,771 (0,28-54,8)	27,930±17,543 (10,7-59)
Turbidez	100 NTU	68,956±115,85 (1,22-**690**)	16,838±10,398 (1,2-43,3)	8,800±9,886 (0,91-33,7)

En la Figura 3 observamos el promedio de los resultados de los parámetros físicos de la tabla anterior según se registraron en las tres zonas de análisis.

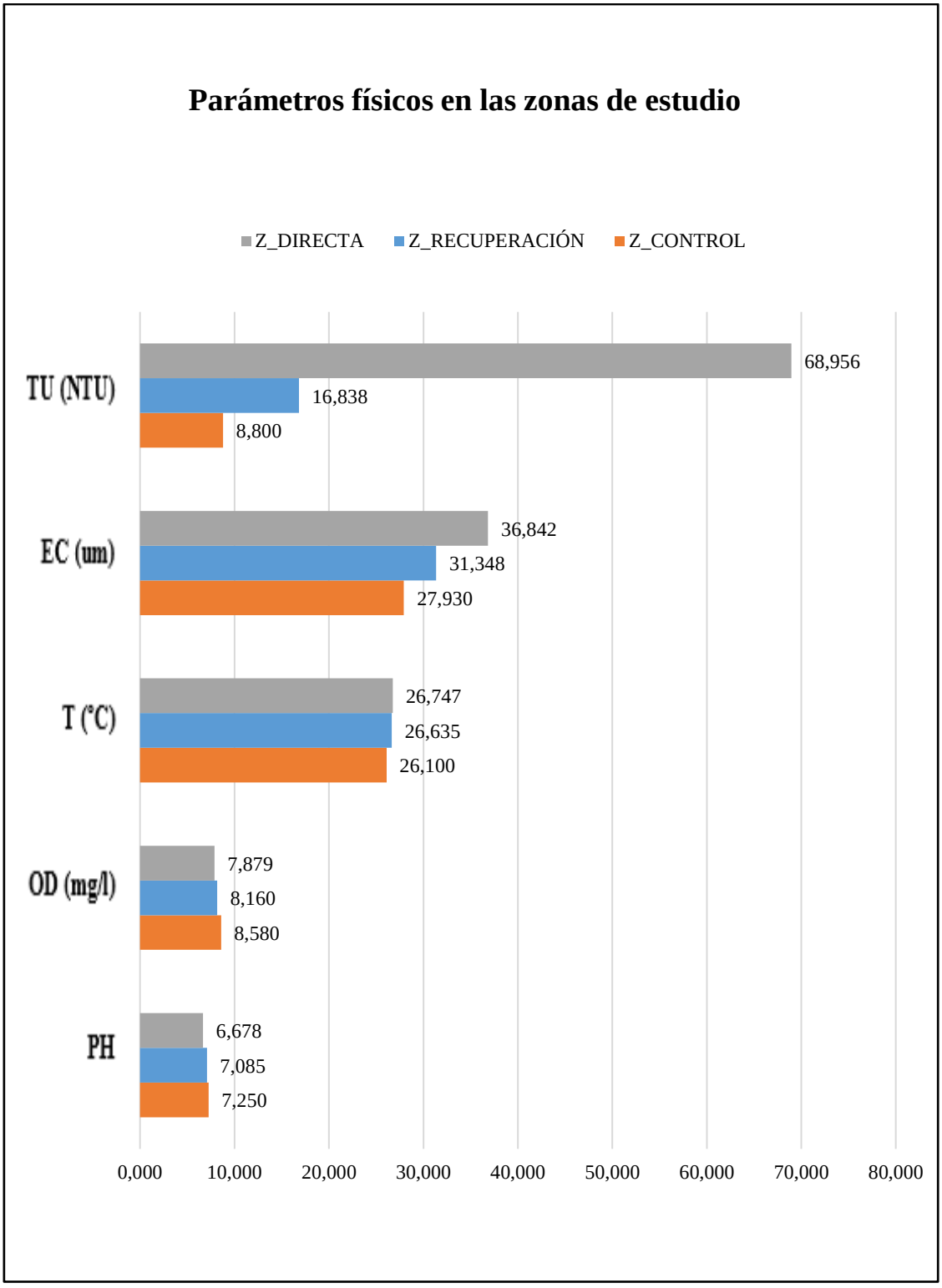


Figura 3. Promedio de los parámetros Turbidez (NTU), Conductividad Eléctrica (um), Temperatura (ºC), Oxígeno disuelto (mg/l) y Potencial hidrógeno que fueron analizados en cada zona de estudio.

3.3.2. Parámetros químicos

Las muestras de agua de cada uno de los cuerpos muestreados fueron enviadas hasta el laboratorio acreditado GRUENTEC LTDA, en donde se les realizó el análisis de los componentes químicos, se analizaron la existencia de diversos metales como lo son aluminio, arsénico, bario, cadmio, cobalto, cobre, cromo, estroncio, hierro y magnesio.

En la Figura 4, se observa la concentración de los metales analizados en los diferentes sectores de la Zona de Actividad Minera, evidenciando así que el aluminio es el metal que se evidencia en 8 de 10 estaciones con concentraciones por encima de los niveles límites permitido según la ley que es de 0,1000 mg/l, pero las zonas más afectadas por la contaminación de dicha sustancia son Cachaví San José y Zapallito Juan Montalvo con niveles de 0,4000 y 0,5000 mg/l respectivamente.

Las concentraciones de hierro no deben de sobrepasar los límites permisibles según la ley que debería de ser máximamente de 0,3000 mg/l, pero que en localidades como Cachaví San José, Estero María San Agustín y Zapallito Juan Montalvo presentan concentraciones de 0,5000 0,9000 y 0,8000 mg/ l de forma respectiva.

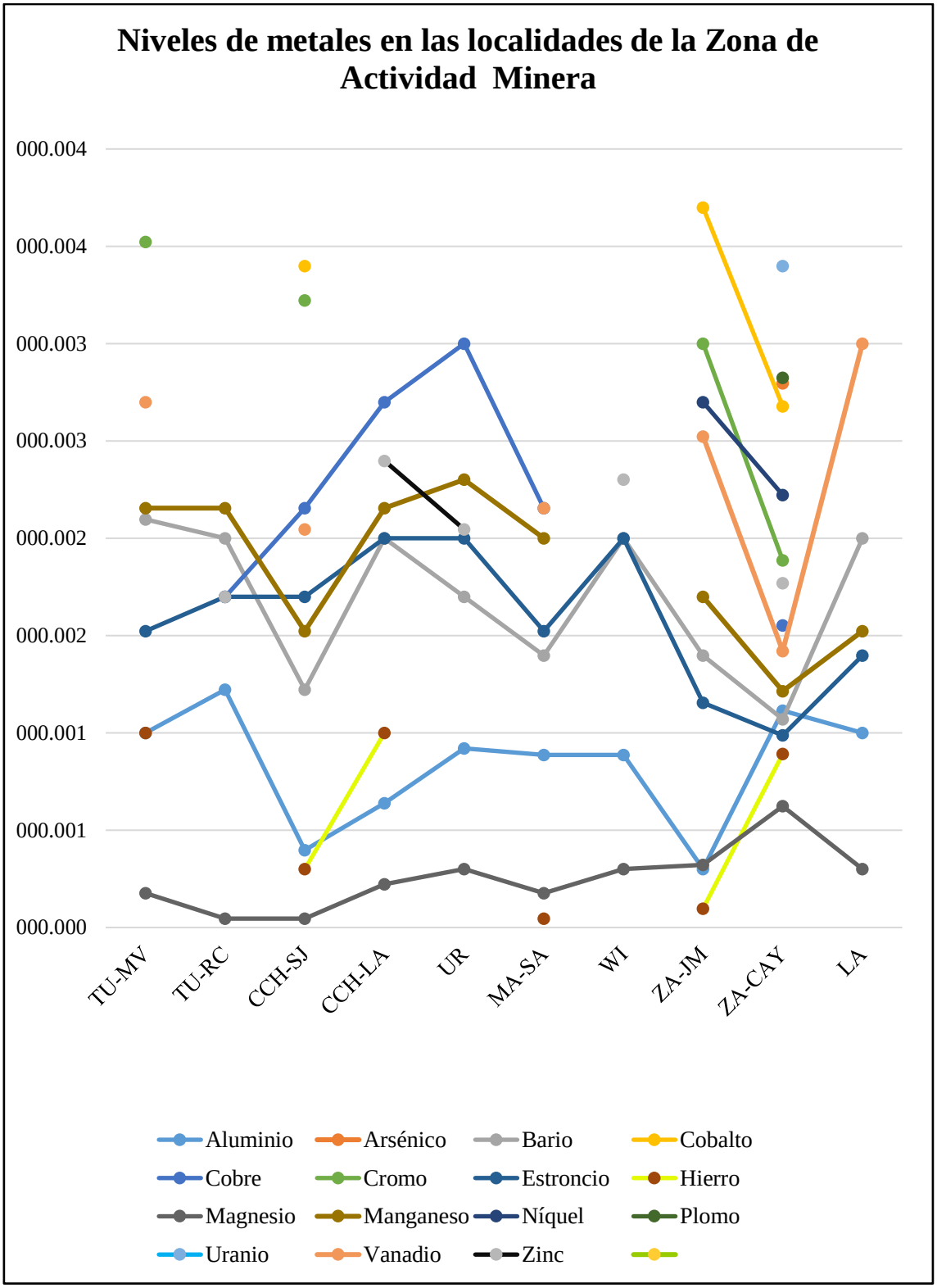


Figura 4. Nivel de metales hallados en las localidades de Los Ajos (LA), Zapallito-Cayapas (ZA-CAY), Zapallito-Juan Montalvo (ZA-JM), Wimbí (WI), Estero María-San Agustín (MA-SA), Urbina (UR), Cachaví-Los Ajos (CCH-LA), Cachaví-San José (CCH-SJ), Tululbí-Ricaurte (TU-RI) y Tululbí-Minas Viejas (TU-MV), representantes de la Zona de Actividad Minera. Los datos expresados aquí están calculados en la función de Logaritmo de base 10.

En la Figura 5 se evidencia la concentración de los metales en los diferentes sectores de la Zona de Recuperación de la actividad minera, teniendo así que en el sector de Seferino se tienen concentración de dos tipos de metales que exceden sus límites permisibles teniendo para el aluminio 0,6700 mg/l y 0,4200 mg/t de hierro, en el sector Valle de la Virgen solo presentan concentración de niveles excesivos de aluminio con concentración de 0,3600 mg/l y en el sector Wimbicito se encontraban metales como el hierro con niveles de 0,7200 mg/l.

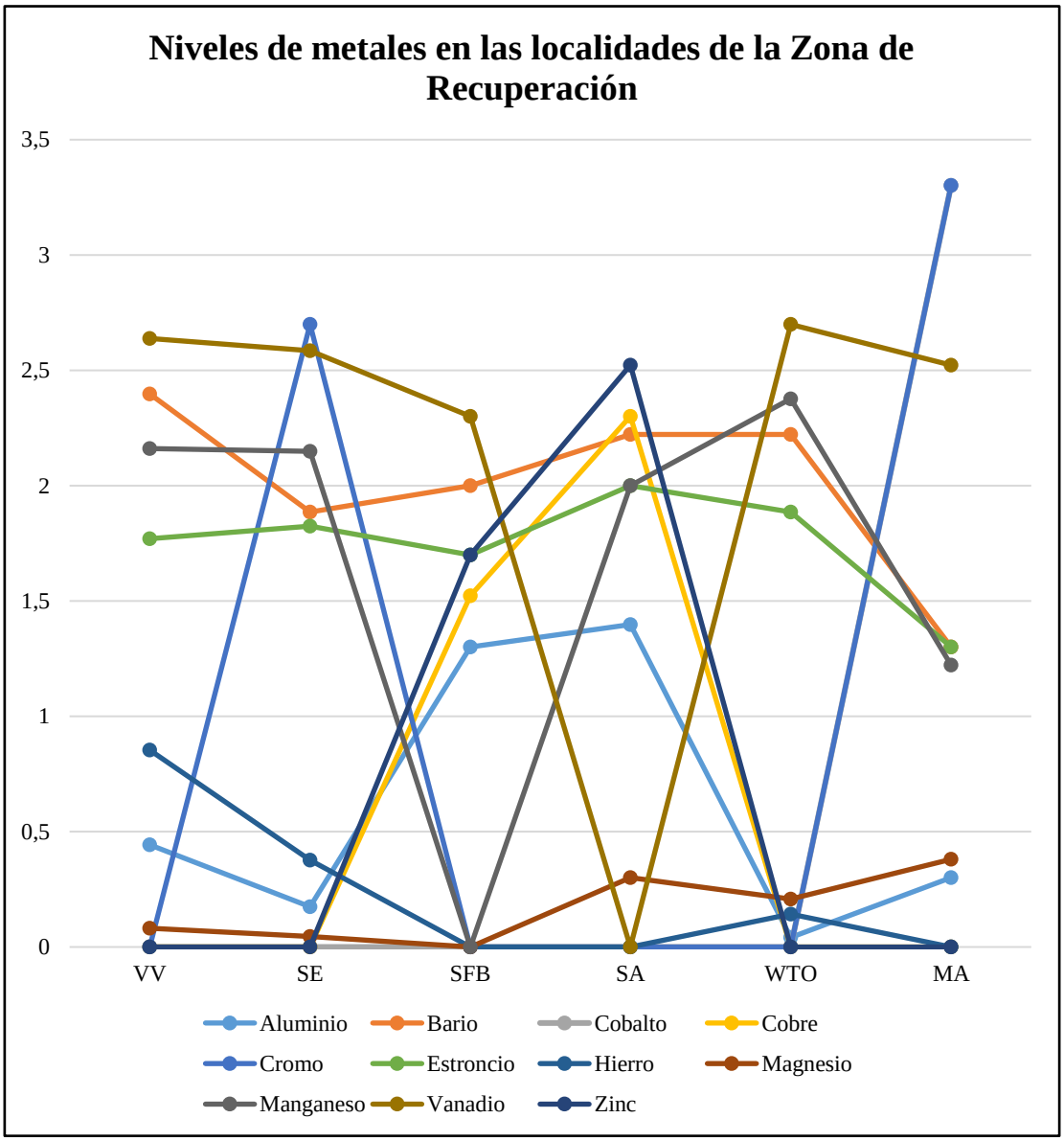


Figura 5. Nivel de metales en las localidades de Estero María Alto (MA), Wimbicito (WTO), Estero San Antonio (SA), San Francisco del Bogotá (SFB), Seferino (SE) y Valle de la Virgen (VV) representantes de la Zona de Recuperación. Los datos expresados aquí están calculados en la función de Logaritmo de base 10.

En la Figura 6 evidenciamos las concentraciones de los metales pesados en los diversos sectores de la Zona de Control, hallando así que el aluminio sigue apareciendo en concentraciones mayores a los establecido a los límites permisibles en 3 de los 4 sectores pertenecientes a esta zona como son San José Durango con 1,7 mg/l, Estero Comba con 0,89 mg/l y en Cayapa San Miguel con 3,3 mg/l. Igual pasa con el hierro ya que en estas mismas estaciones aparece con 1,1 mg/l, 0,54 mg/l y 2,5 mg/l de forma respectiva; pero además se observa que el cobre ha excedido los límites permisibles de concentración en la localidad de Palalbí Ricaurte con 0,025 mg/l.

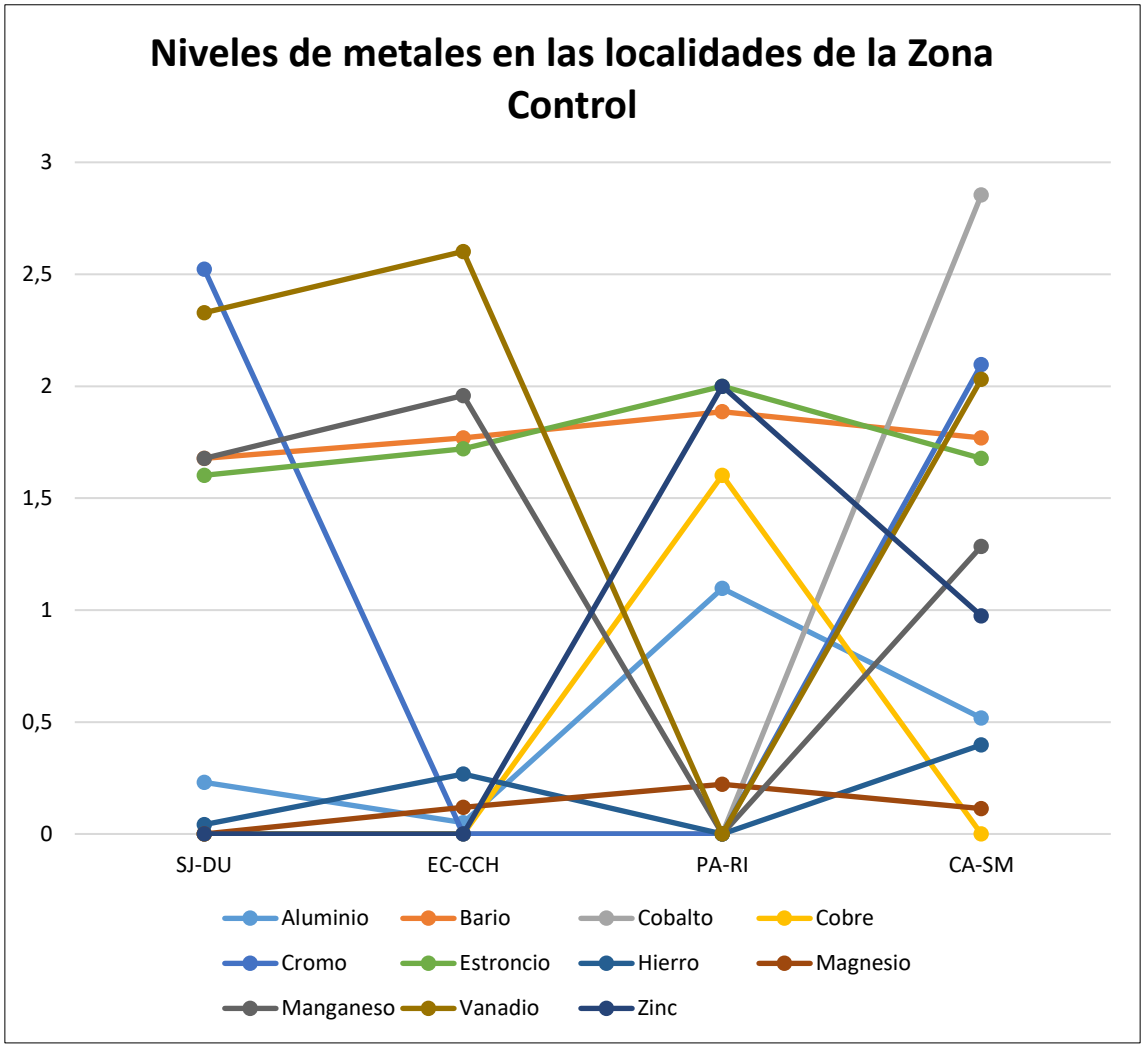


Figura 6. Nivel de metales en las localidades de Cayapas-San Miguel (CA-SM), Palalbí-Ricaurte (PA-RI), Estero Comba punto Limpio-Cachaví (EC-CCH) y San José-Durango (SJ-DU) representantes de la Zona de Control. Los datos expresados aquí están calculados en la función de Logaritmo de base 10.

En la Figura 7 se observan los niveles de metales en relación a las tres zonas de estudio, evidenciando que las tres zonas tienen concentración de dos metales principales que son aluminio (Al) y hierro (Fe), pero a su vez los niveles de estos varia de la zona a otra, así vemos que en la Zona de actividad minera Directa existen los mayores niveles de estos dos metales que han sido los principales hallados en la composición de los cuerpos de agua estudiados, la segunda zona que tiene mayor concentración de estos es la Zona de Recuperación minera seguida de la Zona de Control.

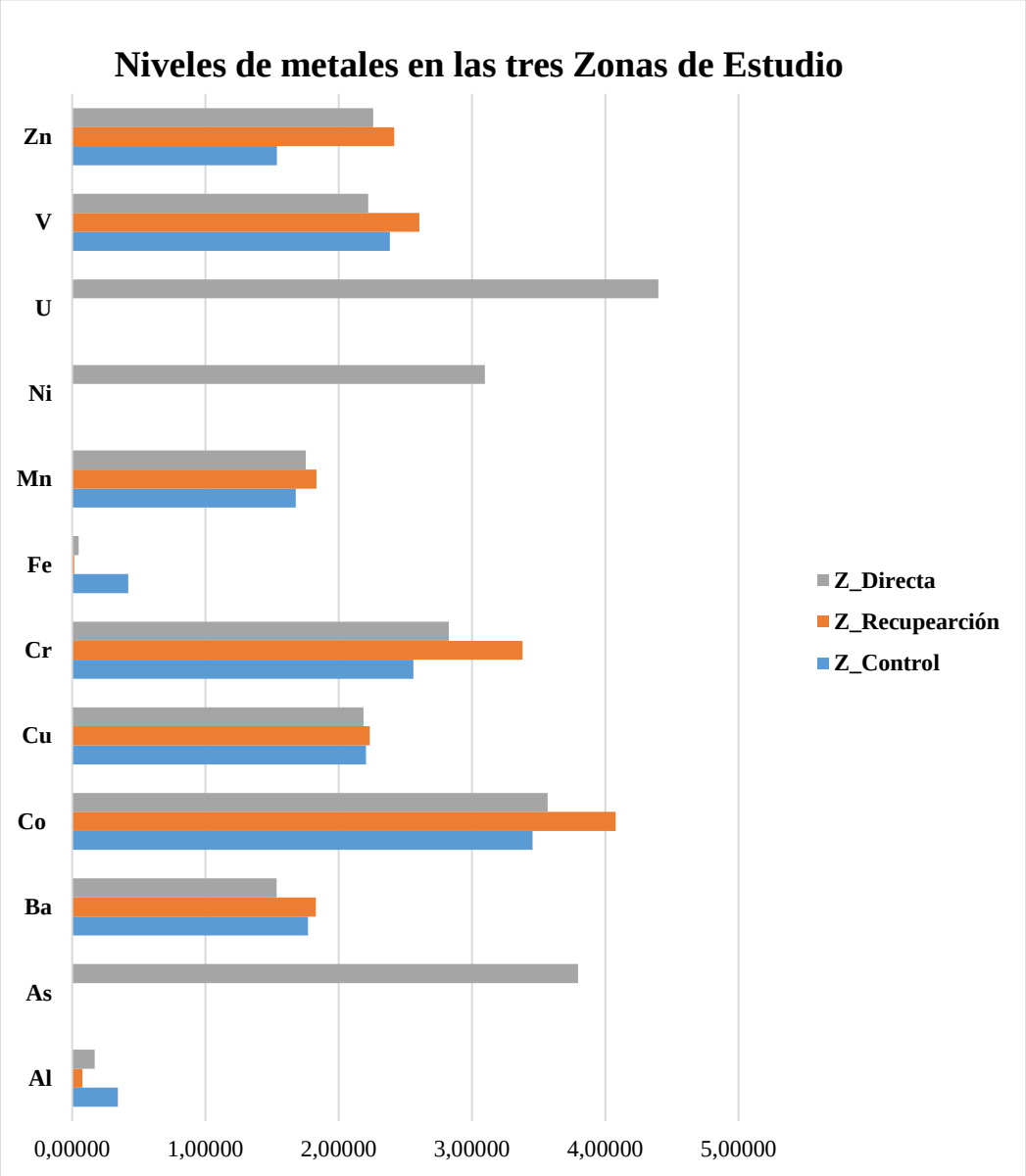


Figura 7. Nivel de metales hallados en las tres Zonas de Estudio. Los datos expresados aquí están calculados en la función de Logaritmo de base 10.

3.3.3. Análisis del comportamiento de los parámetros físico-químicos en las tres zonas de estudio

En la Figura 8 se evidencia la relación de los parámetros físico químicos hallados en las tres zonas estudiadas, teniendo así que, parámetros como el aluminio, vanadio, uranio, hierro, cromo, cobre, níquel, estroncio, turbidez y conductividad son los que están principalmente relacionados con la Zona de Actividad Minera debido a que estos fueron los parámetros que presentaron altos niveles de concentración en las localidades que pertenecen a esta zona, al lado contrario observamos al talio, plata, selenio, mercurio y oxígeno disuelto los cuales caracterizan a la Zona de Control y a pesar de que estos parámetros están representando esta zona están aún por debajo de los límites establecidos, además se debe de tomar en cuenta que estos metales también están en el medio en forma natural, por lo que no pueden relacionarse de manera directa con la actividad minera.

El análisis de la varianza multivariado permite comprobar que las tres zonas de estudio presentan diferencias significativas en cuanto a sus parámetros físico-químicos (Wilks=0,31; F=3,16; $p<0,001$), ver Anexo 4.

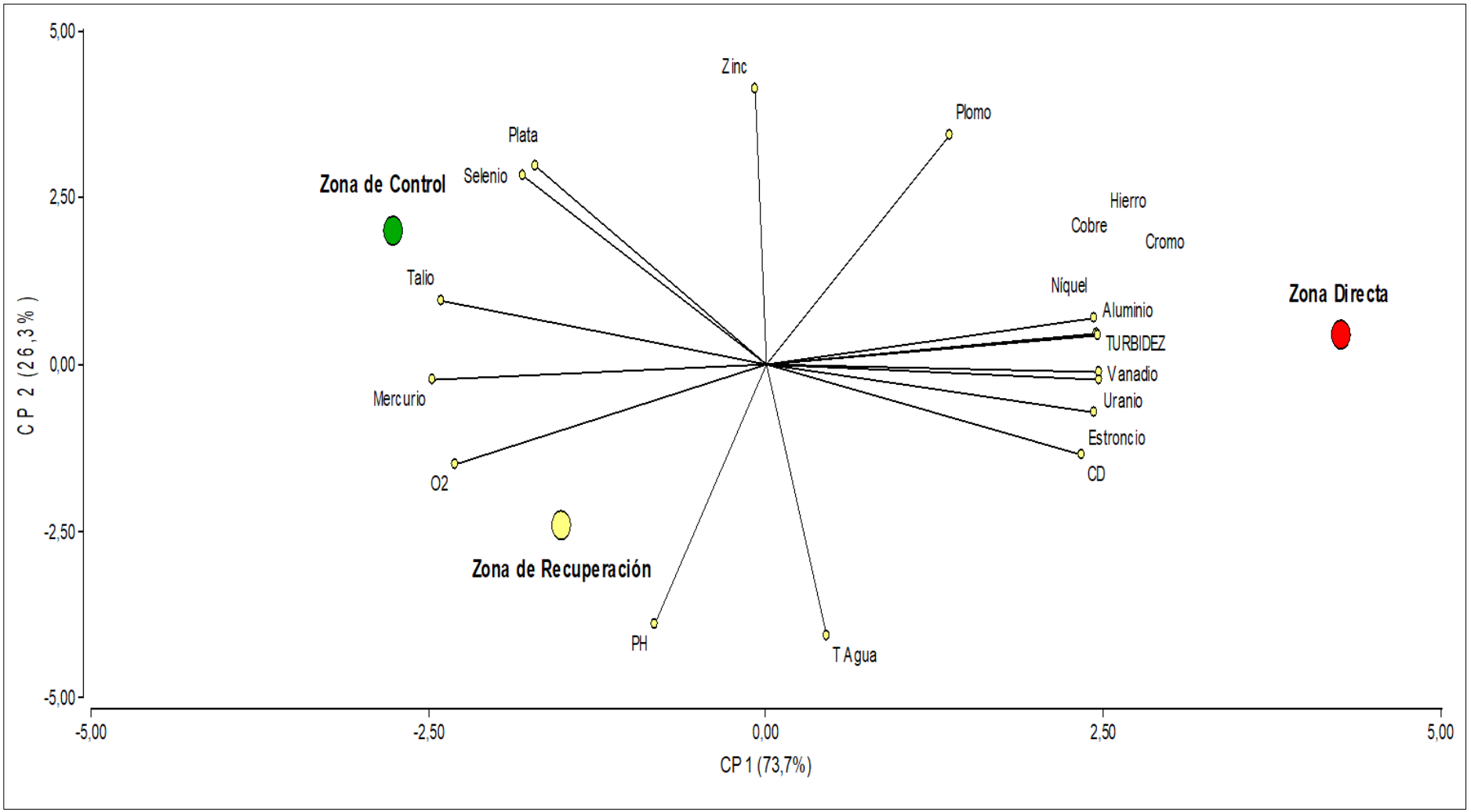


Figura 8. Relación de los parámetros físico-químicos en las tres zonas de estudio.

3.4. Datos de la morfometría Geométrica

3.4.1. *Eretmobrycon ecuadorensis*

Con el uso del paquete de TPS, se insertaron los hitos correspondientes en cada una de las fotos, en la Imagen 2 tenemos el espécimen CEMZ-P-543-03.

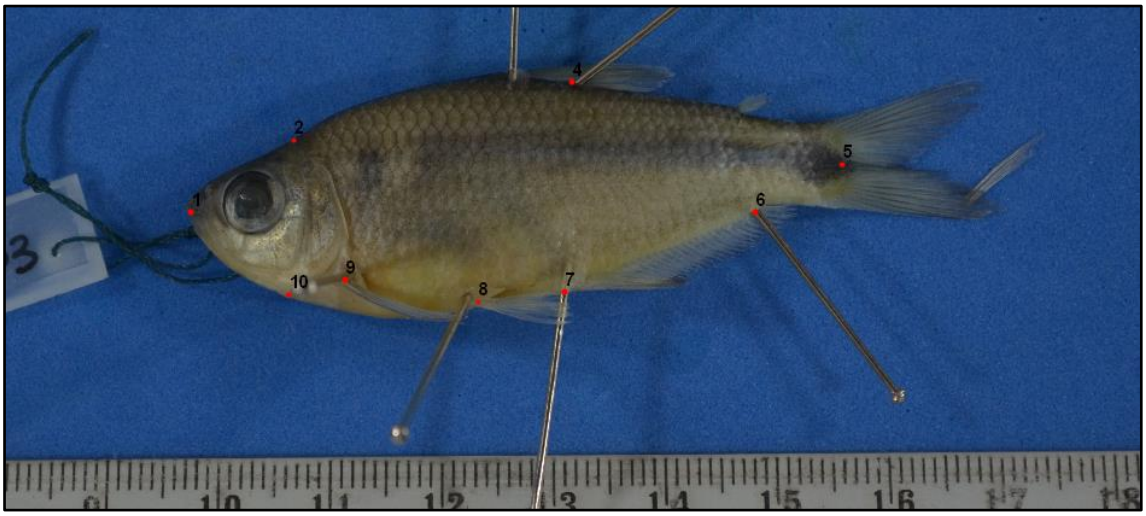


Imagen 2. Individuo con los 10 hitos colocados mediante el paquete de programa de TPS en *Eretmobrycon ecuadorensis.*

Lo primero que se obtuvo es la forma promedia de la especie estudiada (consenso), que es el promedio calculado de cada uno de los hitos, para lograr una forma intermedia entre los especímenes, lo que se puede observar en la Figura 9.

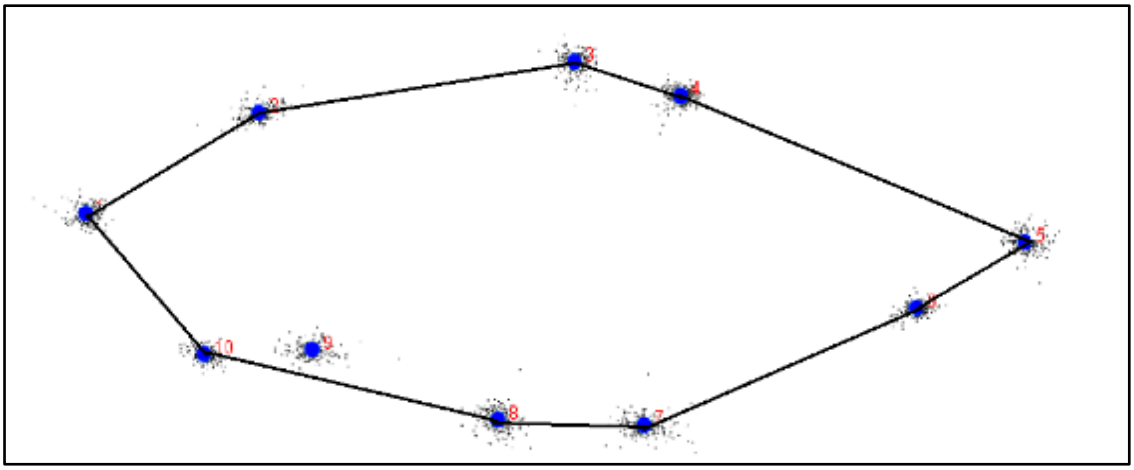


Figura 9. Forma consenso de los individuos de la especie *Eretmobrycon ecuadorensis*.

3.4.1.1. Análisis de Componentes Principales (PCA)

El análisis de los Componentes principales (PCA) se muestra que el mayor porcentaje en la variación de la forma del cuerpo en los individuos tiene un PC1= 22,321% y un PC2 = 19,515%, representado juntos un porcentaje acumulado de 41,836% de la varianza (Tabla 3).

Tabla 3

Valores de los Componentes principales analizados por el programa para Eretmobrycon ecuadorensis.

PC	Valores	%	Acumulado %
1.	0,00045983	22,321	22,321
2.	0,00040202	19,515	41,836

3.4.1.2. Análisis de Variación Canonical (CVA)

Según el CV1 (Color azul) vs Forma Consenso (Color celeste) la variación en la forma del cuerpo de los ejemplares estudiados está dada principalmente por un alargamiento en el hocico y de la región supra occipital de los especímenes, el pedúnculo caudal se recoge, las aletas pectorales se desplazan hacia atrás hallándose más cerca de la aleta anal (Figura 10).

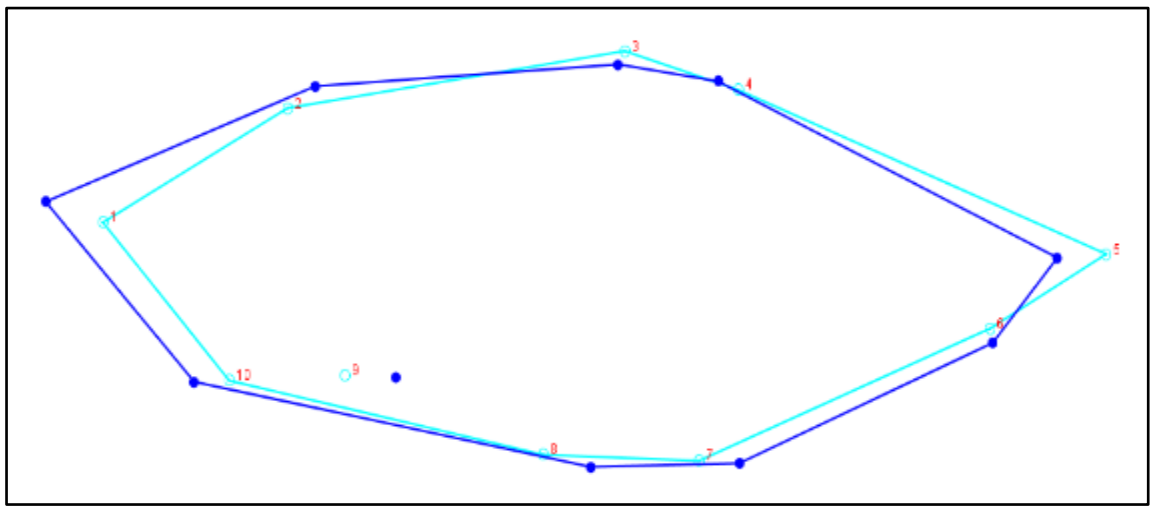


Figura 10. Cambios en la forma del cuerpo de los individuos de la especie *Eretmobrycon ecuadorensis* según el CV1.

En la Figura 11 se observa cómo se manifiestan los cambios en la forma del cuerpo según el CV2 (Color azul) vs Forma Consenso (Color celeste), lográndose evidenciar que el inicio de la aleta dorsal sube lo que provoca que el pez sea más alto, la cabeza y los hitos que la conforman se recogen y la región postero-ventral de los especímenes este más alta.

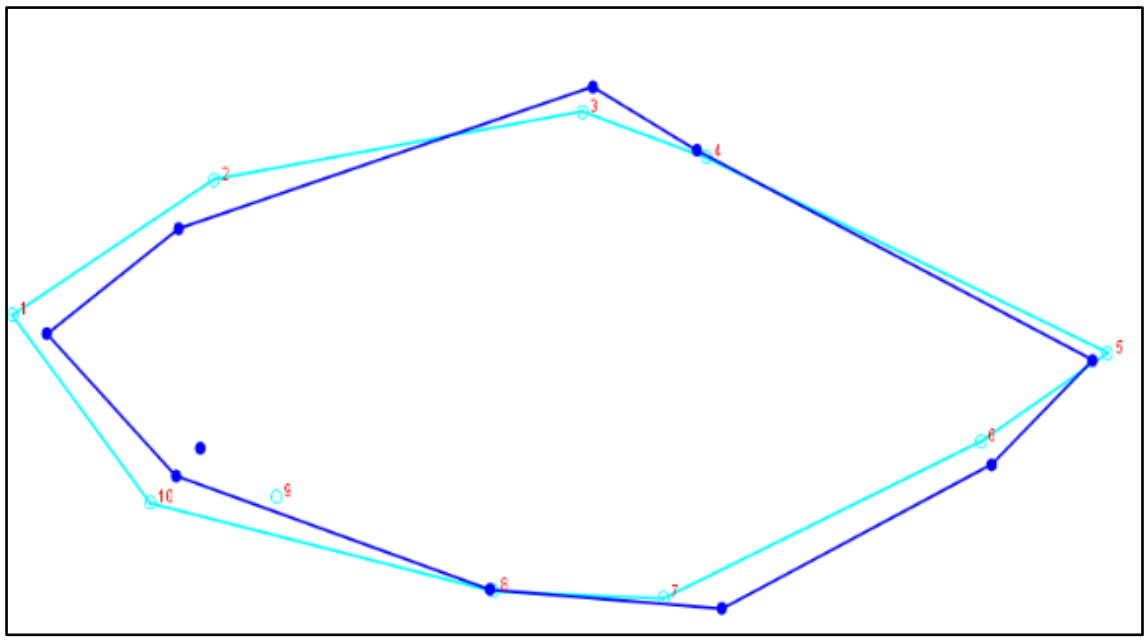


Figura 11. Cambios en la forma del cuerpo de los individuos de la especie *Eretmobrycon ecuadorensis* según el CV2.

3.4.1.3. Análisis por zonas de estudio

En la Figura 12 se observa la relación del CV1 vs. CV2 en las tres zonas de estudios, donde se logra ver que no existe una diferenciación significativa en el cambio de la forma del cuerpo entre las tres zonas de estudio: Actividad Minera (ZAM), de Recuperación (ZR), y de Control (ZC); sin embargo se puede evidenciar una clara tendencia entre ellas, ya que los ejemplares que se encuentran en los extremos, “estiran” la tendencia hacia un cuerpo más corto (ZAM y ZR), mientras los que están más alejados del eje horizontal (ZC) son los especímenes que presentan un alargamiento en su cuerpo. Las diferencias en el eje vertical tienen muy poca tendencia.

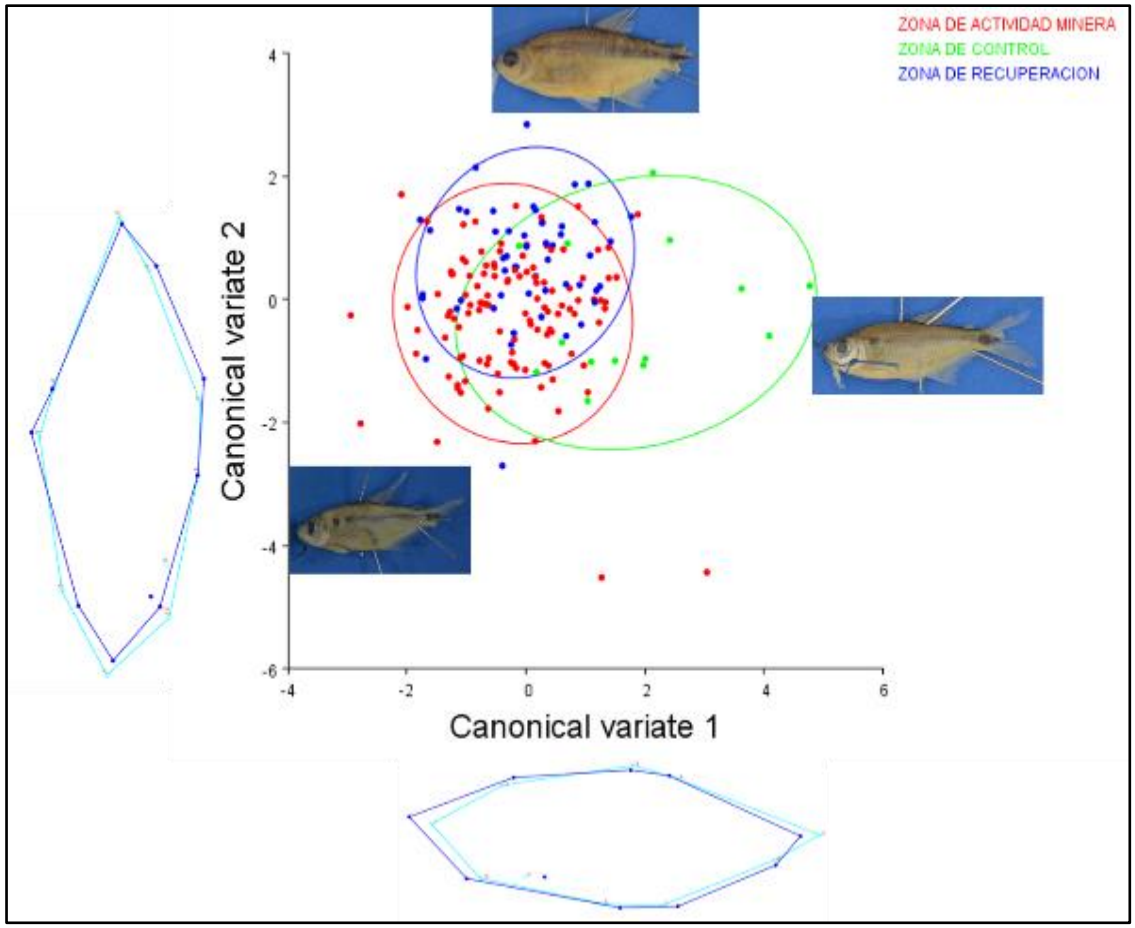


Figura 12. CV1 vs. CV2, explicando las relaciones existentes entre los especímenes de las tres zonas de estudio de la especie *Eretmobrycon ecuadorensis*.

El ANOVA del centroide muestra que las diferencias entre zonas no son significativas (F=11,68:2(180); p>0,05), es decir que el tamaño promedio de la forma de esta especie es diferente en las tres zonas. En cuanto a la comparación de la forma con relación a las zonas, el MANOVA refleja que si hay diferencias entre ellas (Pillai: 0,35; F=2,67; P<0,001), por lo que se puede decir que la forma de los especímenes capturados en zona minera si reflejan cambios en la forma comparado principalmente con aquellos de la zona control. Ver en Anexo 5.

3.4.1.4 Análisis de correspondencia con parámetros físico-químicos

Con los datos morfométricos obtenidos, específicamente con el tamaño centroide de los individuos de esta especie, y con los datos de los análisis físicos y químicos disponibles para estas zonas se realizó la correlación de estos parámetros, observando así que los parámetros que presentan los valores que excedían los límites permisibles se relacionan directamente con los individuos de la Zona de Actividad Minera (Color rojo), relacionada a esta se están los individuos de la Zona de Recuperación (Color azul) y más distante la Zona de Control (Color verde), ver Figura 13.

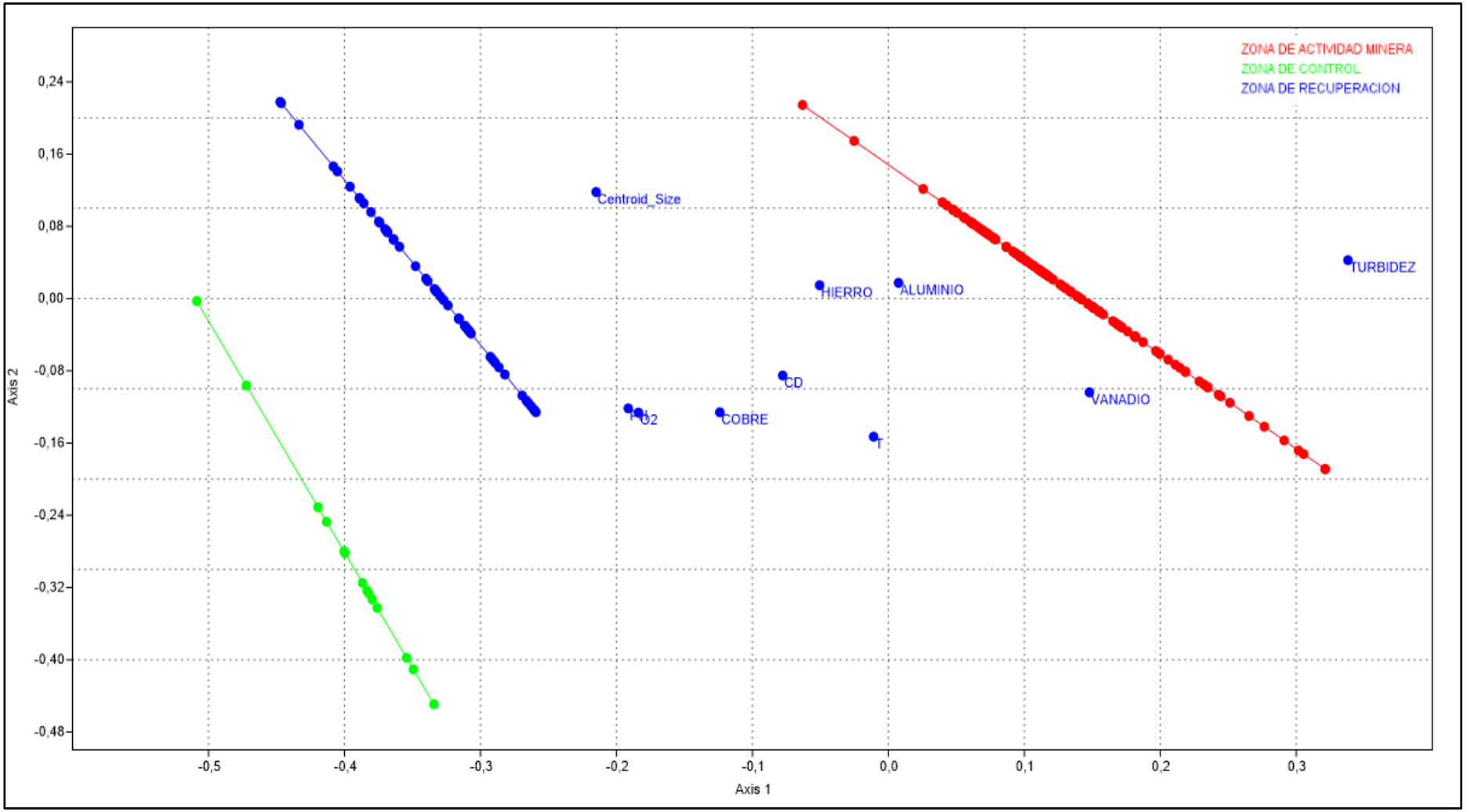


Figura 13. Análisis de correspondencia entre los parámetros físico-químicos con el centroide de *Eretmobrycon ecuadorensis.*

3.4.2. *Mesoheros festae*

Con el uso del paquete de TPS, se insertaron los hitos correspondientes en cada una de las fotos, en la Imagen 3 tenemos el espécimen CEMZ-P-550.



Imagen 3. Individuo con los 10 hitos colocados mediante el paquete de programa de TPS de *Mesoheros festae*.

En la Figura 14 se observa la forma consenso que el programa calculó para los especímenes de la especie *M. festae*, por cada hito se haya un punto promedio de color azul, que evidencia en donde se agrupan todos los puntos tomados para cada uno de los hitos.

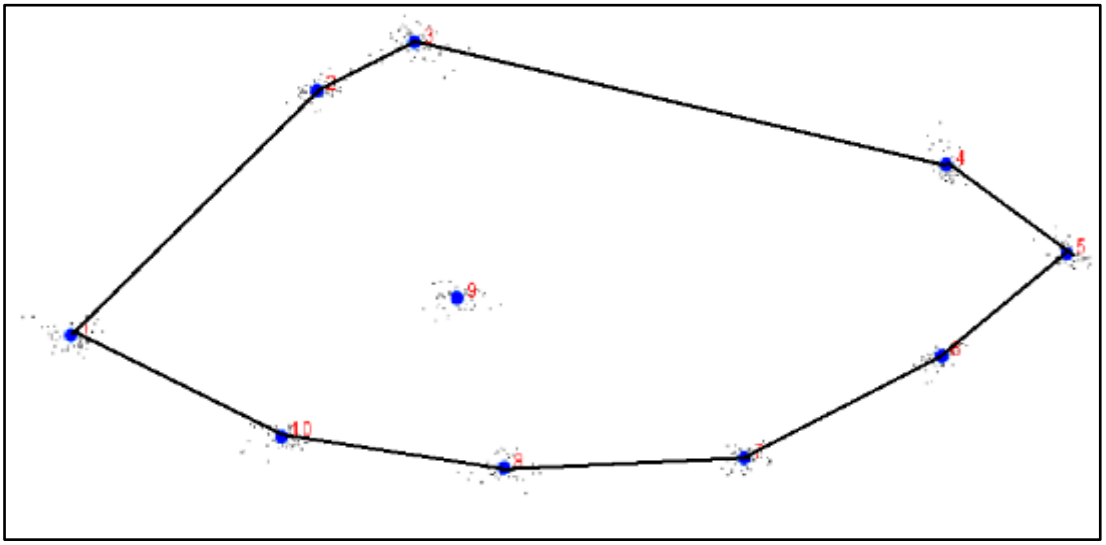


Figura 14. Forma consenso de los individuos de la especie *Mesoheros festae*.

3.4.2.1. Análisis de los Componentes Principales (PCA)

La Tabla 4 detalla el análisis de los Componentes principales (ACP) se muestra que el mayor porcentaje en la variación de la forma del cuerpo en los individuos tiene un PC1= 29,599% y un PC2 = 19,169%, representado juntos un porcentaje acumulado de 48,769% de la varianza.

Tabla 4

Valores de los Componentes principales analizados por el programa para Mesoheros festae.

PC	Valores	%	Acumulado %
1.	0,00074583	29,599	29,599
2.	0,00048302	19,169	48,769

3.4.2.2. Análisis de Variación Canonical (CVA)

En la Figura 15 se evidencia la variación de la forma del cuerpo según el CV1 (Color azul) vs Forma Consenso (Color celeste), lográndose observar que la cabeza de los especiemos tiende a elevarse y el inicio de la aleta dorsal baja, mientras el final de la misma tiende a elevarse.

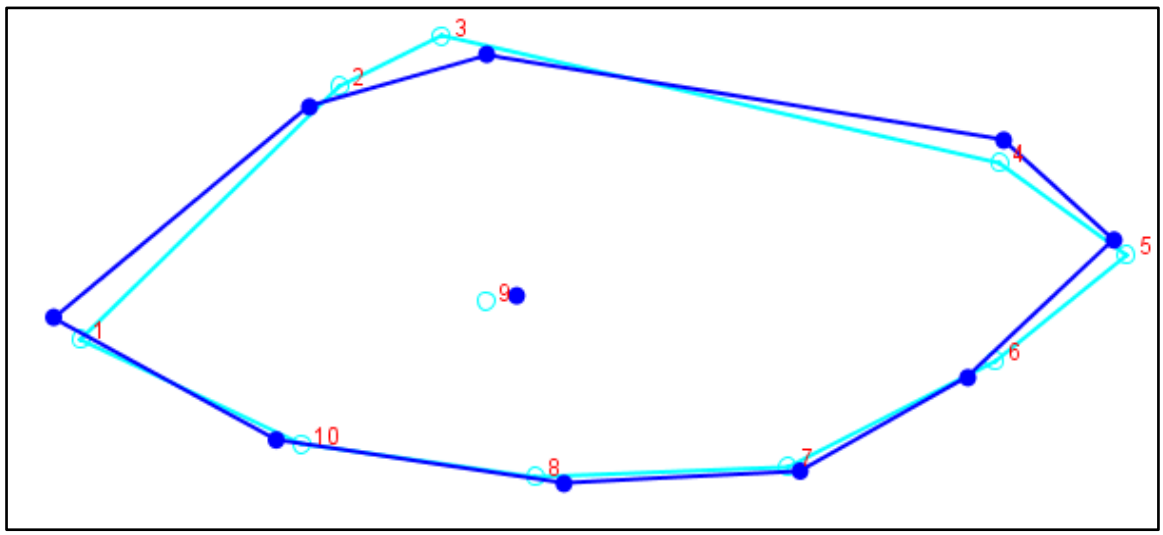


Figura 15. Cambios en la forma del cuerpo de los individuos de la especie *Mesoheros festae* según el CV1.

En la Figura 16 se observa la variación morfométrica de los especímenes según el CV2 (Color azul) vs Forma Consenso (Color celeste), viendose que el hocico se recoge, al igual que la región caudal, aunque se alarga el pedúnculo; la región antero-ventral tiende a extenderse.

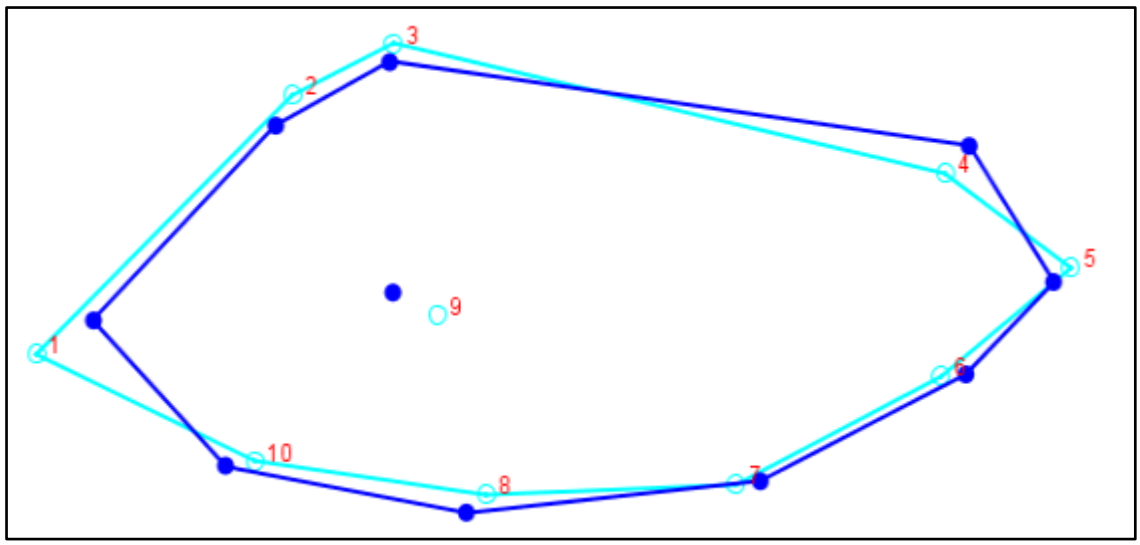


Figura 16. Cambios en la forma del cuerpo de los individuos de la especie *Mesoheros festae* según el CV2.

3.4.2.3 Análisis por zonas de estudio

En la Figura 17 se observa la relación entre CV1 vs. CV2, evidenciándose que, si existe diferenciación entre los especímenes de las tres zonas de estudio, pero entre los individuos de la ZAM y ZR se ve una mayor similitud ya que se encuentran más cercanos que con los individuos de la ZC. Es claro que según el CV1 los especímenes estudiados que están a la izquierda del eje horizontal presentan cuerpos más bajos dorso-ventralmente, en esta zona están ZAM y ZR; a la derecha del eje horizontal está representado por los especímenes que dorso-ventralmente son más altos, es decir los peces de la ZC.

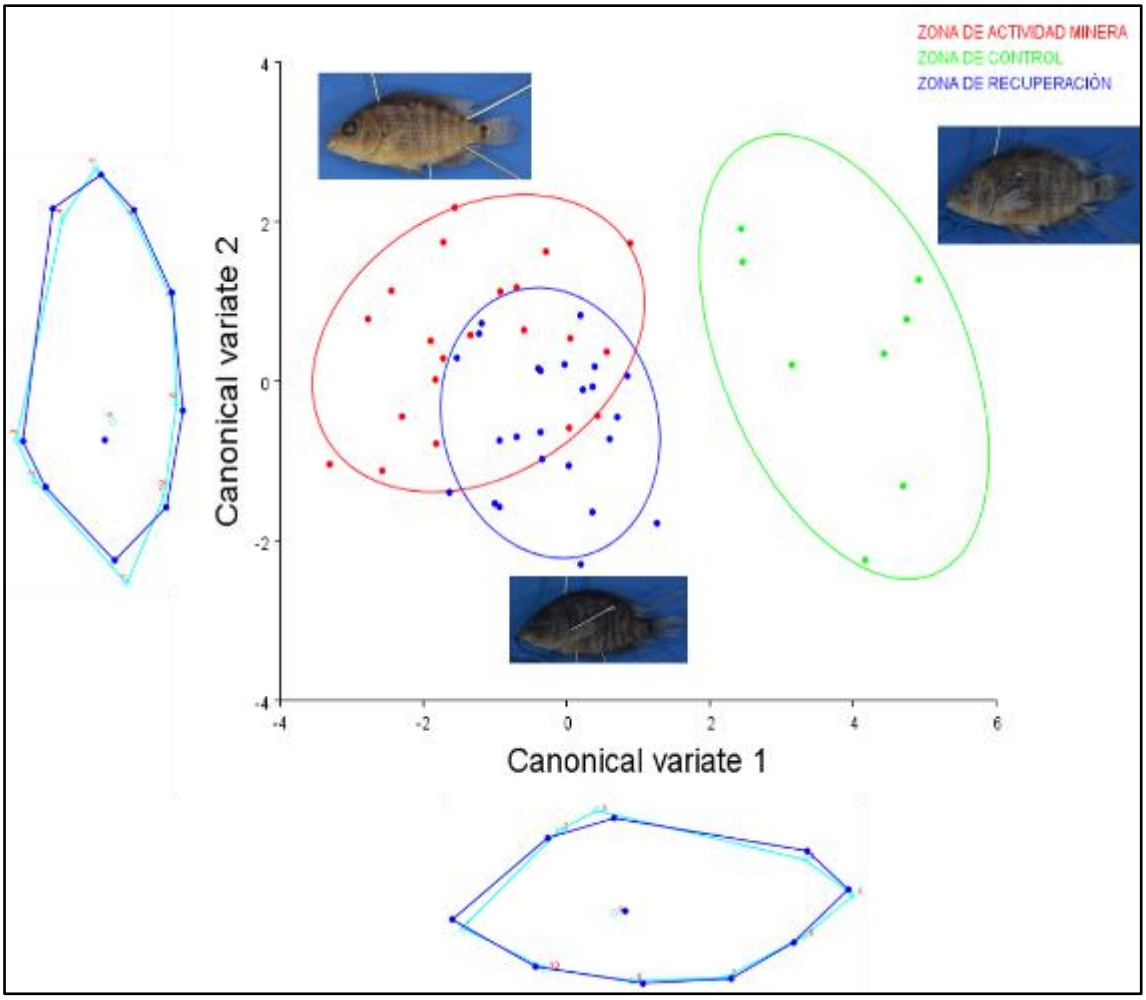


Figura 17. CV1 vs. CV2, explicando las relaciones existentes entre los especímenes de las tres zonas de estudio de la especie *Mesoheros festae.*

El ANOVA del centroide muestra que las diferencias entre zonas no son significativas (F=2,69:2(50); p>0,05), es decir que el tamaño promedio de la forma de esta especie es similar en las tres zonas. En cuanto a la comparación de la forma con relación a las zonas, el MANOVA refleja que si hay diferencias entre ellas (Pillai: 0,95; F=2,58; P<0,001), por lo que se puede decir que la forma de los especímenes capturados en zona minera si reflejan cambios en la forma comparado principalmente con aquellos de la zona control. Ver en Anexo 6.

3.4.2.4 Análisis de correspondencia con parámetros físico-químicos

Con los datos morfométricos obtenidos, específicamente con el tamaño centroide de los individuos de esta especie; y con los datos de los análisis físicos y químicos disponibles para estas zonas se realizó la correlación de estos parámetros, observando así que los parámetros que presentan los valores que excedían los límites permisibles se encuentran entre los individuos de la Zona de Actividad Minera (Color rojo) y la Zona de Recuperación (Color azul) observando que la turbidez es la más relacionada a la ZAM la cual presento gran intensidad respecto a este parámetro; la Zona de Control (Color verde) se encuentra distante al resto de parámetros, ver Figura 18.

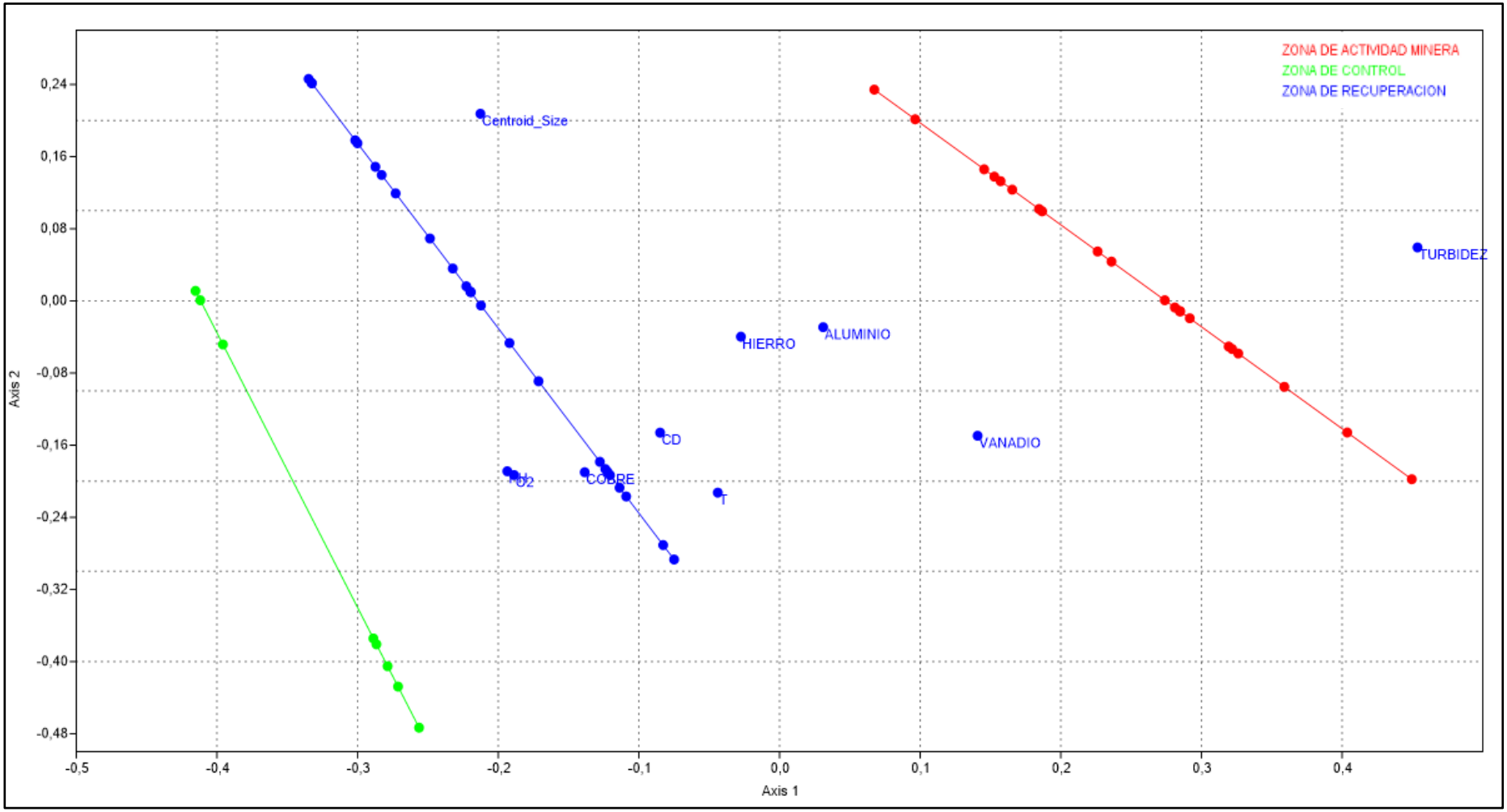


Figura 18. Análisis de correspondencia entre los parámetros físico-químicos con el centroide de *Mesoheros festae*.

3.4.3. *Roeboides occidentalis*

Con el uso del paquete de TPS, se insertaron los hitos correspondientes en cada una de las fotos, en la Imagen 2 tenemos el espécimen CEMZ-P-255-02.

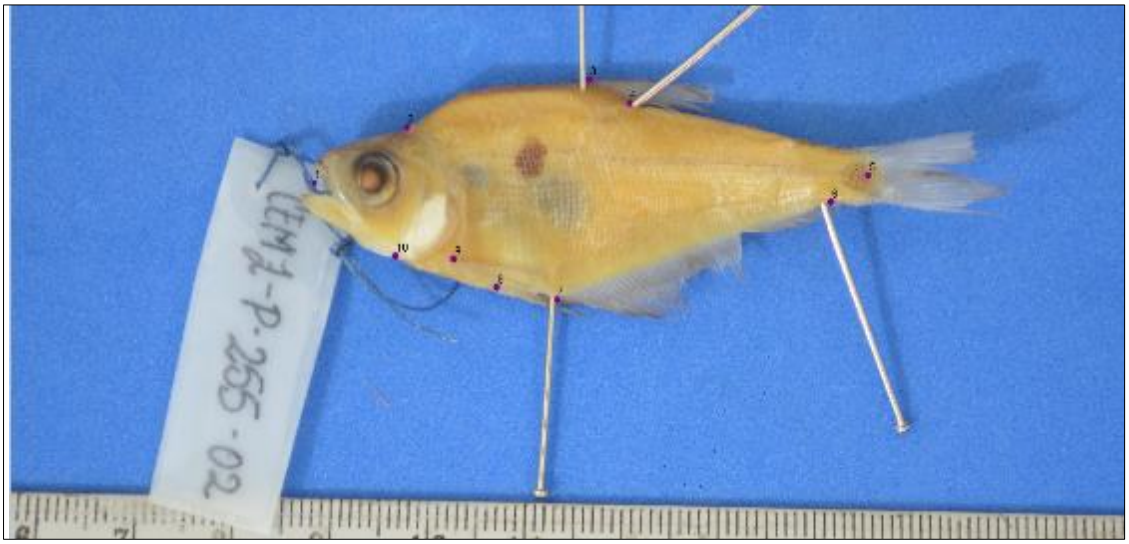


Imagen 4. Individuo con los 10 hitos colocados mediante el paquete de programa de TPS de *Roeboides occidentalis.*

En la Figura 19 se evidencia la forma promedio de la especie *Roeboides occidentalis*, en cada uno de los 10 hitos identificados se observa que hay un punto azul el cual obtiene la media en esos hitos y marca el punto, este conjunto de hitos promedios hacen la forma consenso de la especie en estudio.

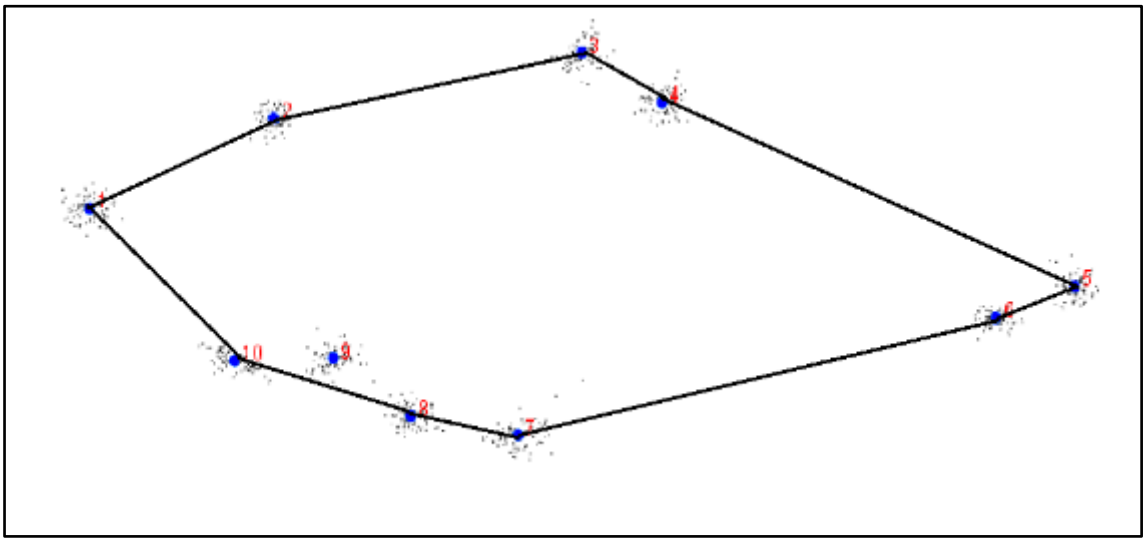


Figura 19. Forma consenso de los individuos de la especie *Roeboides occidentalis.*

3.4.3.1. Análisis de los Componentes Principales (PCA)

El análisis de los Componentes principales (ACP) muestra que el mayor porcentaje en la variación de la forma del cuerpo en los individuos tiene un PC1= 27,601% y en el PC2 = 23,261%, representado juntos un porcentaje acumulado de 50,862% de la varianza (Tabla 5).

Tabla 5

Valores de los Componentes principales analizados por el programa para Roeboides occidentalis.

PC	Valores	%	Acumulado %
1.	0,00063962	27,601	27,601
2.	0,00053907	23,261	50,862

3.4.3.2. Análisis de Varianza Canonical (CVA)

En la Figura 20 se evidencia la variación de la forma del cuerpo según el CV1 (Color azul) vs Forma Consenso (Color celeste), lográndose observar que el hocico y la región antero-ventral cefálica se extiende, el origen de la aleta pectoral asciende, el extremo posterior del pedúnculo caudal tiende a recogerse, los hitos de la región supra occipital y el inicio de la aleta dorsal tienden a bajar lo que provoca una menor altura en los individuos.

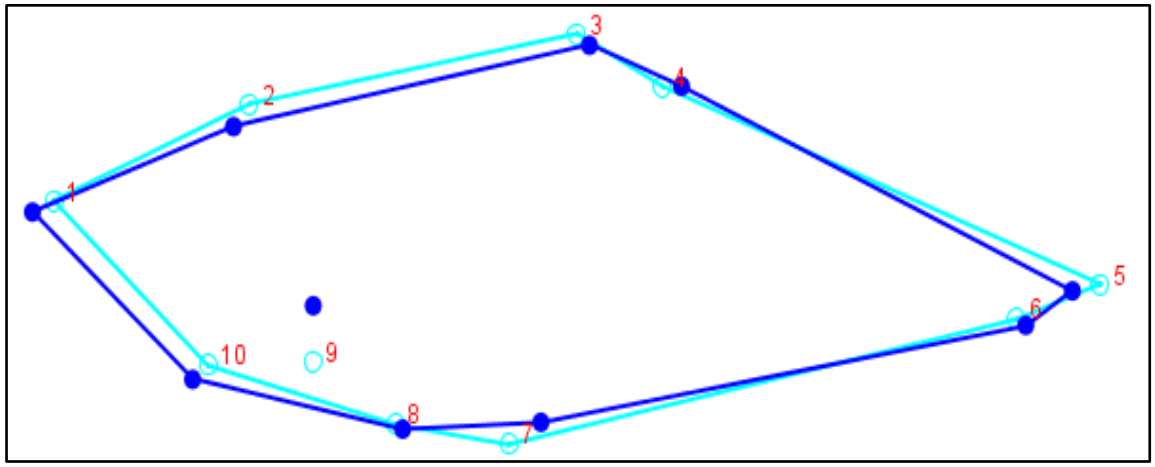


Figura 20. Cambios en la forma del cuerpo de los individuos de la especie *Roeboides occidentalis* según el CV1.

En la Figura 21 se revela la variación de la forma del cuerpo según el CV2 (Color azul) vs Forma Consenso (Color celeste), observándose que la posición del hocico del pez se retrae, el origen de la pectoral se adelanta hacia el itsmo, hay una elevación muy considerable a nivel del origen de la aleta dorsal al igual que una ligera extensión de inicio de la aleta anal, lo que genera especímenes más altos.

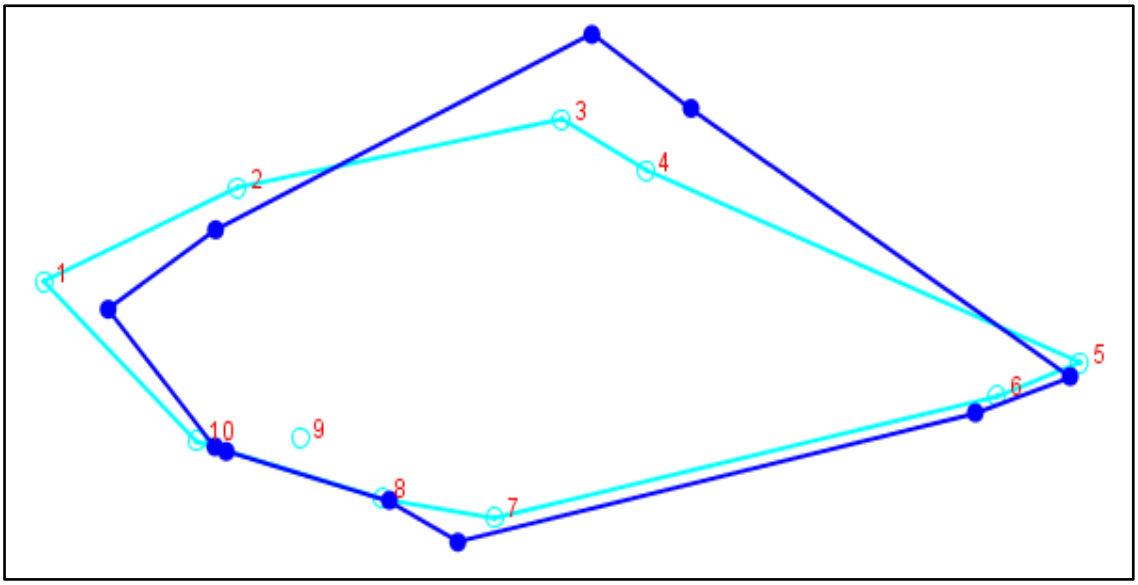


Figura 21. Cambios en la forma del cuerpo de los individuos de la especie *Roeboides occidentalis* según el CV2.

3.4.3.3 Análisis por zonas de estudio

En la Figura 22 se muestra las relación entre CV1 vs. CV2, revelando que hay diferenciación entre las tres zonas de estudio, se observa también que entre la Zona de actividad minera (ZAM) y la Zona de Recuperación (ZR) hay distanciamineto con los especímenes de la Zona de Control (ZC). En el CV2 existe una ligera tendencia a cuerpos mas altos (ZR y ZC), con relación a cuerpos más reducidos (ZAM); la clara separación en el CV1 es menos notoria, pero significativa.

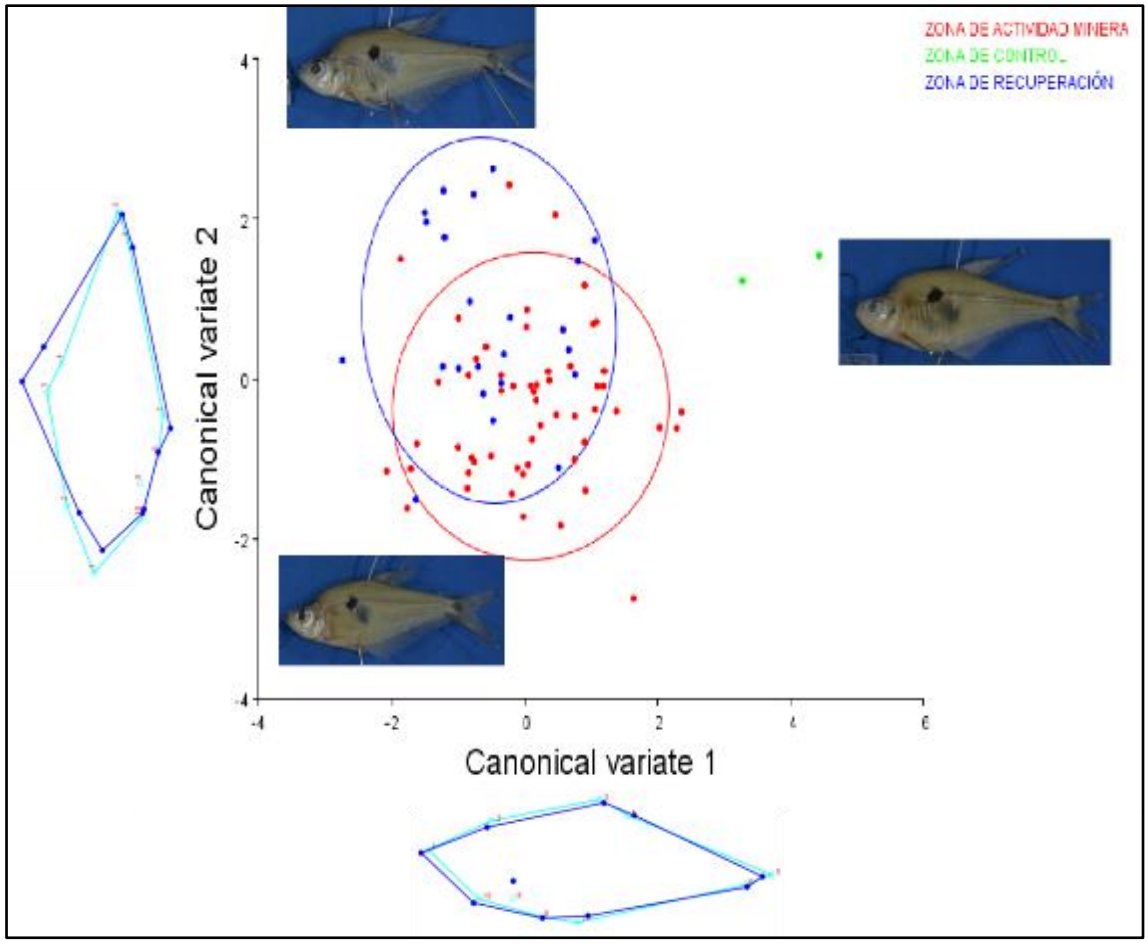


Figura 22. CV1 vs. CV2, explicando las relaciones existentes entre los especímenes de las tres zonas de estudio de la especie *Roeboides occidentalis.*

El ANOVA del centroide muestra que las diferencias entre zonas no son significativas (F=3,05:2(77); p>0,05), es decir que el tamaño promedio de la forma de esta especie es similar en las tres zonas. En cuanto a la comparación de la forma con relación a las zonas, el MANOVA refleja que no hay diferencias entre ellas (Pillai: 0,55; F=1,61; P>0,05), por lo que se puede decir que la forma de los especímenes capturados es parecida en las tres zonas de estudio. Ver en Anexo 7.

3.4.3.4 Análisis de correspondencia con parámetros físico-químicos

Con los datos morfométricos obtenidos, específicamente con el tamaño centroide de los individuos de esta especie; y con los datos de los análisis físicos y químicos disponibles

para estas zonas se realizó la correlación de estos parámetros, observando así que los parámetros que presentan los valores que excedían los límites permisibles se encuentran entre los individuos de la Zona de Actividad Minera (Color rojo) y la Zona de Recuperación (Color azul) observando que la turbidez y el vanadio son las más relacionadas a la ZAM las cuales presentaron valores altos en esta zona; la Zona de Control (Color verde) se encuentra distante de las otras zonas, pero cabe destacar que en este conjunto no se realizó la agrupación de los individuos (la línea) debido al poco número de especímenes para la zona, ver Figura 23.

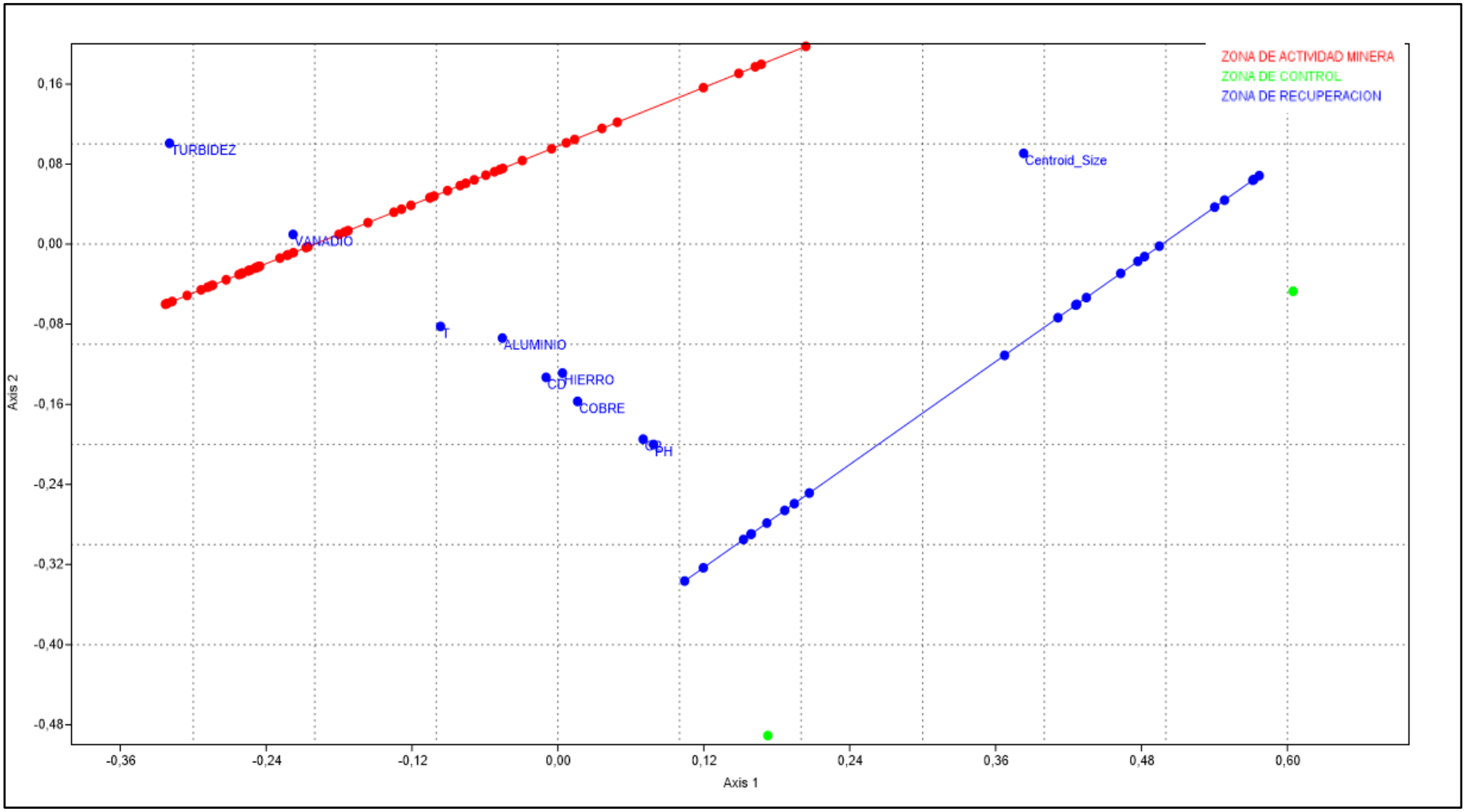


Figura 23. Análisis de correspondencia entre los parámetros físico-químicos con el centroide de *Roeboides occidentalis.*

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

El objetivo principal de este estudio fue el uso la morfometría geométrica y el aprovechamiento de la colección de peces recolectados en la cuenca baja del Santiago Cayapas para buscar evidencia de impactos en los individuos pertenecientes a zonas con influencia minera permanente.

Se logró aplicar esta técnica sobre tres especies concretas: *Eretmobrycon ecuadorensis*, *Mesoheros festae y Roeboides occidentalis*, con las dos primeras especies se demostró que si existen diferencias morfológicas significativas según el nivel de presencia de metales procedentes de la minería entre los individuos analizados.

Eretmobrycon ecuadorensis reveló variación significativa en tamaño y a nivel morfológico entre los individuos que pertenecían a los tres grupos de estudio, esta especie se mostró de forma abundante en toda la zona analizada, por lo que se desarrolla la idea de que esta especie es resistente a la presión ambiental que existente en los cuerpos de agua; según Jiménez-Prado *et al.,* (2015) esta especie es tolerante a las malas condiciones de la calidad del agua; concordando también con lo encontrado en CID-PUCESE (2012), donde especies como esta, han hecho de estos espacios contaminados sus nichos por la fácil detección de sus alimentos (algunas partículas en suspensión).

Mesoheros *festae* presentó variaciones marcadas en la morfología corporal dependientes de la influencia minera, presentado fragilidad y clara respuesta a impactos ambientales; la familia a la que pertenece esta especie (Cichlidae), se considera apropiada para el estudio de la morfología corporal, en la cual se observó que las principales variaciones provocadas por la presión ambiental estuvieron ligadas a longitud del cuerpo; aquello concuerda con las observaciones realizadas por O´Reilly y Horn (2004) los cuales mencionan que la plasticidad fenotípica que localizaron en una especie de los cíclidos se dio en respuesta a las condiciones ambientales adversas que presentaban los hábitats. También Clabaut *et al.,* (2007) en su estudio sobre morfometría geométrica en cíclidos relacionan las variables morfométricas observadas en los peces con la ecología del entorno, lo cual suponen que provoca una correlación entre el fenotipo y el medio ambiente desencadenando en una radiación adaptativa, lo cual también se logró corroborar con Schluter (2000)**.**

Según FishBase (2017) esta especie no ha sido evaluada por la UICN, aunque con una amplia distribución nacional, este trabajo aporta indicios de su estado de conservación, al menos en términos de su presencia en zonas alteradas.

Las diferencias morfológicas obtenida en *E. ecuadorensis* y *M. festae* están marcadas principalmente por la variación en la altura del cuerpo y el tamaño de la cabeza de los especímenes, diferencias que son útiles para entender la variación entre grupos, coincidiendo con las observaciones realizadas por (González-Díaz, Díaz-Pardo, Soria-Barreto, & Rodiles-Hernández, 2005) los mismos mencionan que la altura sirve como referencia en estudios de variación y determinación grupal.

Las variaciones morfológicas halladas, a nivel de las poblaciones (o stocks) presentes en las zonas, evidencian la diferencia de plasticidad genotípica por especies. Según Ives *et al*., (2007) las diferencias entre las poblaciones de una misma especie son ocasionadas por diferencias filogenéticas o bien por efectos de factores ambientales externos que afectan a dichas poblaciones, como sucede en este caso.

En *Roeboides occidentalis* aunque no se evidencio variaciones en los tres grupos estudiados, hay estudios que revelan la singularidad del orden a la que pertenece esta especie para relacionar cambios en su morfología a presiones ambientales, siendo así que Granda y Montero (2015) demostraron en una especie del orden Characiforme (a la cual también pertenece esta especie) que las condiciones ambientales e impactos antropogénicos fueron elementos importantes en la biología de los individuos que estudiaron, ya que estas condiciones e impactos influyen en la transformación de su genotipo o suelen generar cambios más ligeros.

Sin embargo, la muy escaza o rara presencia de esta especie en zonas de control (es decir de considerable buena calidad ambiental), podría ser un indicio de que este especie presenta una resistencia importante a los impactos ambientales producidos por la minería, a pesar de que la UICN (2017) la considera como una especie de “Preocupación Menor” por su amplia distribución y la ausencia de amenazas conocidas.

Por otro lado, los parámetros físicos que se midieron en los cuerpos de agua de las tres zonas de estudio como la temperatura del agua y la conductividad eléctrica se hallaban dentro de los límites permisibles. La temperatura no presentó variabilidad importante entre las zonas estudiadas; por otra parte, parámetros como la turbidez y el oxígeno disuelto si presentaron valores que estaban fuera de los límites permisibles especialmente

en la Zona de Actividad Minera. En un estudio sobre los niveles de turbidez realizado por Bruton (1985) se determinó que las cantidades altas de suspensoides influyen en los peces causando una tasa de crecimiento reducida, disminución del tamaño en la primera madurez y el tamaño máximo; además de una migración de tipo alimentaria en peces grandes. El potencial hidrógeno al igual que los otros parámetros analizados presento en promedio valores esperados, sin embargo, es importante señalar que si existieron puntos en donde dicho parámetro se encontraba por debajo de los límites permitidos.

Los metales que se analizaron en este estudio en su mayoría se hallaban dentro de los límites permisibles de las Tablas 1 y 2 del Acuerdo Ministerial 097a, los únicos que se encontraron valores fuera del límite permitido fueron el aluminio y el hierro. Cabe mencionar de las concentraciones de estos metales no pueden relacionarse de manera directa con la actividad minera.

Madero y Marrugo (2011) muestran que, aunque los metales se hallen dentro de los límites permisibles la presencia de los mismos generan un riesgo latente en organismos que están expuestos a estos, por lo que es importante tomar en cuenta que a pesar de que los metales analizados no excedieron el límite máximo permitido su presencia a largo plazo puede alterar la biología de estas especies.

El análisis multiparamétrico ayudó a identificar como estaban relacionados los parámetros físico-químicos a las zonas de estudio, se demostró que en la ZAM el parámetro que presentó valores muy altos fue la turbidez, el cual está muy relacionado con la flora y la fauna acuática ya que a niveles altos afecta directamente a la biota, tal y como lo menciona González (1996).

El factor de condición (K) reveló que estadísticamente solo hay diferencias significativas para los individuos de *R. occidentalis*; es importante señalar que para dicha especie solo se contó con dos individuos en la zona de control lo que puede sesgar y subestimar el valor de K, por lo que dicho valor no es equitativo en comparación con el resto de las especies.

Pero por otra parte, el estudio de este factor fue de suma importancia ya que ayudó a la comparación de las condiciones de las poblaciones acuáticas que enfrentan distintos niveles de contaminación antropogénica tal y como lo relata Cifuentes *et al.*, (2012) mencionando que el factor de condición en su estudio ayudo a aportar información sobre estrategia de crecimiento y reproducción de los individuos de una población que tenían

realidades ambientales diferentes; así mismo Rodríguez *et al*, (2017) en un estudio que realizo sobre la alometría en juveniles de *Cichlasoma festae* (actualizado a *Mesoheros festae*) demostró que este factor está influenciado por las condiciones ambientales en donde se desarrollan la fauna íctica, por lo cual a su vez sirve para la determinación del estado de los hábitats en donde viven estos especímenes. A nivel de las tres zonas estudiadas K reveló que la zona con mejor estado para las tres especies fue la Zona de Control y la de menor estado fue la Zona de Actividad Minera.

Cabe señalar también que la Zona de Control fue en la que se capturaron menos individuos en todos estos años de muestreo, debido principalmente a que la mayor parte de los cauces estudiados estuvieron y/o están influenciados por la actividad minera de forma directa e indirecta concordando con Riofrío (2017) que establece que la mayor parte de los cauces del norte de Esmeraldas se encuentran influenciados por la zona minera, dejando así muy pocos cauces que tengan ningún tipo de influencia minera y que sirvan como zona de control para este estudio.

Estos hallazgos ayudan a la confirmación de lo que ocasiona la minería en, en el ambiente, en los espacios acuáticos y su fauna acompañante en acuerdo con Chung (2011) que realizo un estudio en Perú estas actividades mineras ocasionan contaminación de las aguas por metales pesados, excesiva turbiedad de los cauces y la destrucción de grandes extensiones de terrenos, estos resultados ayudan a revelar la magnitud con las afectaciones en las zonas estudiadas.

De forma general el estudio evidenció las perturbaciones a nivel morfológico de la ictiofauna que estaban influenciados por la contaminación de la minería, lo cual se evidencio en dos de las tres especies estudiadas, y aunque la especie de *E. ecuadorensis* si manifestó cambios en su morfología, no se descarta que la contaminación afecta a esta especie de otras formas; como por ejemplo tumores que fueron encontrados en sus flancos, aunque no se puede aseverar que es únicamente debido alguna actividad vinculada a la minería si es una situación preocupante y que debería de ser atendida.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Eretmobrycon ecuadorensis fue la única especie que presentó cambios tanto en el tamaño de los individuos estudiados como en su morfología, cambios que fueron influenciados probablemente por la contaminación existente en las zonas donde habitaban.

Mesoheros festae en las tres zonas de estudio presentó tamaños similares, no así en cuanto a la forma, donde se obtuvo que las especies que se hallaban en la Zona de Actividad Minera eran diferentes a los que estaban en la Zona de Control.

Roeboides occidentalis fue la especie que menos individuos para el estudio se obtuvo, pero aun así no presentó diferencias ni en el tamaño ni en la forma de sus especímenes según la zona en las que habitaban.

El estado de conservación de las zonas estudiadas, en especial de las zonas donde se marcó un impacto directo o indirecto de la actividad minera y de las zonas que actualmente se encuentra en recuperación demuestra alteraciones.

A pesar de que los parámetros físico-químicos están dentro de los límites permisibles si se hallaron evidencias biológicas, al menos en dos de las tres especies estudiadas, que permiten demostrar el efecto de la minería en peces.

Los peces que se encontraron dentro de la Zona de Actividad Minera estaban representados por especímenes dorso-ventralmente más reducidos, siendo todo lo contrario con los especímenes que se hallaron en la Zona de control.

La técnica de morfometría geométrica fue de gran importancia, la cual ayudó a identificar si existen cambios en la morfología (que a simple vista no son posibles de observar) de los peces que están influenciados por la presión de actividades mineras en la provincia de Esmeraldas.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

Desarrollar planes de conservación de las especies ícticas de la zona norte de Esmeraldas vinculando a las personas que habitan en las zonas de influencia minera y las entidades gubernamentales ambientales, puesto que es importante inmiscuir en estos temas a todos los actores de dicha problemática ambiental.

Es importante que la entidad rectora ambiental realice un seguimiento más profundo sobre la problemática ambiental minera, haciendo prevalecer los principios reconocidos en la constitución, como es "el que contamina paga", "sumak kawsay" "derechos de la naturaleza" entre otros.

Realizar mejoras y actualizaciones a las leyes ambientales vigentes que regulan los límites permisibles de parámetros que se analizan específicamente en los cuerpos de agua, ya que estos estas leyes y reglamentos deben de ser evaluadas en función de las evidencias que se están generando, pues a pesar de que no exceden los límites permitidos, existen evidencias de alteraciones biológicas en los peces.

Realizar más estudios en *Eretmobrycon ecuadorensis* para conocer de qué forma se manifiestan las afectaciones de la contaminación minera en esta especie y verificar si la presencia de tumores está vinculada exclusivamente a este tipo de contaminación.

REFERENCIAS

Aguirre, W.E., R. Navarrete, G. Malato, P. Calle, M.K. Loh, W.F. Vital, G. Valadez, V. Vu, V.R. Shervette, and J.C. Granda. 2016. Body Shape variation and population genetic structure of *Rhoadsia altipinna* (Characidae: Rhoadsiinae) in Southwestern Ecuador. Copeia 104:554–569.

Almaguer V. (2017). Diseño y evaluación de un reactor en columna a escala Bench para para la remodelación de metales pesados utilizando la proteína Quimérica Metalotioneína-tioredoxina. Recuperado a partir de http://eprints.uanl.mx/2294/2/1080089682.pdf

Barriga R. (1994). Peces del Noroeste del Ecuador. Escuela Politécnica Nacional. Recuperado a partir de http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5084

Barriga, B. (2012). Lista de Peces de Agua dulce e Intermareales del Ecuador. Politécnica 30 (3): 83-119.

Betancourt, O., R. Barriga, J. Guimaraes, E. Cueva y S. Betancourt, 2012. Impacts on enviromental health of small-scale gold mining in Ecuador. Springer: 119-130.

Biodiversidad mexicana. (2013). ¿Cuántas especies hay? Recuperado 11 de julio de 2017, a partir de http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/cuantasesp.html

Bruton, M. (1985). The Effects of Suspensoids on Fish. *Hydrobiologia*, *125*, 221-241.

Cabrera-Marutz, Velásquez-Alcalá, & Vrhovac-Biljesko. (2014). Enfermedades profesionales en la industria del cobre: extracción, manufactura y reciclaje, *60*(Medicina y Seguridad del Trabajo), 756-778.

Calle D, Quiñonez, Erazo, & Jaramillo N. (2008). Discriminación por morfometría geométrica de once especies. Biomédica, 3(28), 371-385.

Canché-Delgado, García-Jaín, Vaca-Sánchez, & Cuevas-Reyes. (2011). Cambios en la morfología floral y foliar en Crataegus tracyi: importancia de la asimetría fluctuante como indicador de estrés ambiental. Biológicas, 1(13), 44-49.

Cantos, G., & López, R. (1999). *Plomo, Genotoxicidad y Salud Humana* (Universidad Central del Ecuador).

Castro, M. L. (2006). Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. Presentado en Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America, Lima, Perú.

Chung, B. (2011). La minería aurífera en el Perú y la contaminación del ambiente. *Rev Acad Perú Salud*, *18*(2), 35-40.

CID-PUCESE. (2012). Informe Final de Monitoreo de Calidad Ambiental de Ríos de la Cuenca del Santiago Afectados por la Actividad Minera Aurífera Entre el Periodo Noviembre del 2011 A Noviembre del 2012. Esmeraldas: PUCESE.

CID-PUCESE-PRASS. (2011). Análisis de los impactos y conflictos provenientes de la actividad aurífera en la zona norte de la provincia de Esmeraldas para la construcción de paz en las comunidades afectadas. PUCESE, Esmeraldas.

Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortíz, N., Piedra, P., & Habit, E. (2012). Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río

San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). Gayana (Concepción), 76, 86-100. https://doi.org/10.4067/S0717-65382012000100009

Clabaut Céline, Bunje Paul, Salszburger Walter, & Meyer Axel. (2007). Geometric Morphometric Analyses Provide Evidence for the Adaptive Character of the Tanganyikan Cichlid Fish Radiations. *Evolution International Journal of Organic Evolution*, *61*, 560-578.

Constitución del Ecuador. (2008). Constitución del Ecuador. Recuperado a partir de http://www.inocar.mil.ec/web/images/lotaip/2015/literal_a/base_legal/A._Constitucion_republica_ecuador_2008constitucion.pdf

Eschmeyer, W. N. and R. Fricke, and R. van der Laan (eds). (2017). Catalog of fishes: genera, species, references. Versión electrónica accedida el 04/01/2017.

Farah, A. (2014). *Impacto social de la minería ilegal y su repercusión en la salud, y el medio ambiente en el cantón San Lorenzo, provincia de Esmeraldas.* Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador. Recuperado a partir de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/7363/1/TESIS%20ABRAHAN%20BANGUERA.pdf

FishBase. (2017). Mesoheros festae, Guayas cichlid : aquarium. Recuperado 5 de diciembre de 2017, a partir de http://www.fishbase.org/summary/Cichlasoma-festae

GADPE. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Esmeraldas. Recuperado a partir de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0860000160001_PDOT%20ACTUALIZACI%C3%93N%202015_18-08-2015_12-32-18.pdf

Gaioli, M., Amoedo, D., & González, D. (2012). Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente. *110*, *3*(Pediatría práctica), 259-264.

Galán, E., & Romero, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, *10*, 48-60.

Glodek, G.S. (1978). The freshwater fishes of western Ecuador. Master's Thesis, Northern Illinois University. 415 pp.

González, A. (1996). Técnicas preventivas de la contaminación del agua en la minería. Contribuciones a la investigación y gestión del agua subterránea. Morell, I. y Fagundo, J. R. (eds), 17–39.

González-Díaz, A. A., Díaz-Pardo, E., Soria-Barreto, M., & Rodiles-Hernández, R. (2005). Análisis morfométrico de los peces del grupo labialis, género Profundulus (Cyprinodontiformes: Profundulidae), en Chiapas, México. Revista mexicana de biodiversidad, 76(1), 55-61.

Granda J, & Montero C. (2015). Aplicación de Morfometría Geométrica para la Comparación de distintas Poblaciones de Guanchiche (*Hoplias spp*.) en Ecosistemas Lénticos y Lóticos del Ecuador. Guayaquil-Ecuador.

http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp

Ives, A.R., P.E. Midford & T. Jr. Garland. (2007). Within-species variation and measurement error in phylogenetic comparative method. Syst. Biol, 56, 252-270.

Jiménez-Prado, P., Aguirre, W., Laaz, E., Navarrete, R., Nugra, F., Rebolledo, E., … Valdivieso, J. (2015). Guía de Peces para Aguas Continentales en la Vertiente Occidental del Ecuador. PUCE Esmeraldas.

Jiménez-Prado P. y E. Rebolledo-Monsalve. (2015). La cuenca del río Santiago-Cayapas, provincia de Esmeraldas, noroccidente del Ecuador: importancia en las comunidades locales y relación con las actividades industriales. Capítulo 8.9 en XII. Cuencas Pericontinentales de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Tipología, Biodiversidad, Servicios eco sistémicos y sostenibilidad de los ríos, quebradas y arroyos costeros. Carlos A. Lasso, Juan Felipe Blanco-Libreros y Paula Sánchez-Duarte (Editores). Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia. http://www.humboldt.org.co/es/component/k2/item/648-cuencas-pericont?highlight=YTozOntpOjA7czo3OiJjdWVuY2FzIjtpOjE7czoxNzoicGVyaWNvbnRpbmVudGFsZXMiO2k6MjtzOjI1OiJjdWVuY2FzIHBlcmljb250aW5lbnRhbGVzIjt9.

Kagle Rebecca. (2005). The Evolutionary Steps Of Fish | Serendip Studio. Recuperado 11 de julio de 2017, a partir de

http://serendip.brynmawr.edu/exchange/serendipupdate/evolutionary-steps-fish

Klingerber J. (2017). MorphoJ. Recuperado a partir de http://www.flywings.org.uk/MorphoJ_page.htm

Ley Minera del Ecuador. (2017). Recuperado a partir de http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Ley-de-Mineria.pdf

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. (2017). Recuperado a partir de http://www.pucesi.edu.ec/web/wp-content/uploads/2016/04/Ley-org%C3%A1nica-de-recursos-h%C3%ADdricos-usos-y-aprovechamiento-del-agua-2.pdf

Lillo, J. (2011). Impactos de la minería en el medio natural. Recuperado a partir de https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-15564/Impactos%20de%20la%20miner%C3%ADa%20-%20Javier%20Lillo.pdf

Londoño-Franco, L. F., & Muñoz-García, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal, 145-153. Recuperado a partir de http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf

López-Galán A. (2015). Morfometría geométrica: el estudio de la forma y su aplicación en biología. Temas de Ciencia y Tecnología. Vol. 19(55): 53-59.

Madero G, A., & Marrugo N, J. (2011). Detection of heavy metals in cattle, in the valleys of the Sinu and San Jorge rivers, department of Córdoba, Colombia. Revista MVZ Córdoba, 16(1), 2391-2401.

Mancini V. (2002). Introducción a la Biología de los Peces. Disponible en www.produccion-animal.com.ar/...peces/.../07-introduccion_biologia_peces.pdf

Mendoza K, R, V., Urdánigo J, & Ferrer Y. (2017). Estructura de tallas de captura y relación longitud-peso de peces nativos en el humedal Abras de Mantequilla, Ecuador. Recuperado a partir de Obtenido de http://www.uteq.edu.ec/revistacyt/publico/archivos/C2_V9_N2_2Ochoa%20et%20al.pdf

Minda, P. (2002). *Identidad y Conflicto: La lucha por la tierra en la zona norte de la provincia de Esmeraldas.* Quito, Ecuador.: Abya-Yala. Recuperado a partir de http://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1499&context=abya_yala

Mosquera Ángel. (2014). Criterios para la determinación de límites permisibles de mercurio en peces de agua dulce del norte de la provincia de esmeraldas. PUCESE, Esmeraldas. Recuperado a partir de https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/208/1/MOSQUERA%20ROBINZON%20ANGEL.pdf

Movimiento mundial por los Bosques Tropicales. (2004). Minería Impactos Sociales y Ambientales. Montevideo, Uruguay. Pp 180.

Ochoa, B., Mendoza, K., Moreira, R., Urdánigo, J., & Ferrer, Y. (2016). Estructura de tallas de captura y relación longitud-peso de peces nativos en el humedal Abras de Mantequilla, Ecuador. Recuperado a partir de Obtenido de http://www.uteq.edu.ec/revistacyt/publico/archivos/C2_V9_N2_2Ochoa%20et%20al.pdf

Olsvik, Urke, Ulvund, & Kristensen. (2015). Efectos de químicos utilizados en la minería en peces: La exposición a relaves que contienen Lilaflot D817M induce la expresión de CYP1A en smolts de salmón del Atlántico. Biomed Central, 8, 389.

Ortiz, P., Ponce, J., & Eduardo Rebolledo. (2014). Impacto de la actividad minera en la zona norte de la provincia de Esmeraldas. Recuperado a partir de http://www.camaren.org/documents/archivo4.pdf

O´Reilly, K., & Horn, M. (2004). Phenotypic variation among populations of Atherinops affinis(Atherinopsidae) with insights from a geometric morphometric analysis. *Journal of Fish Biology*, *64*, 1117-1135.

Panda, Ansuman, y Mrinal Kanti Datta. «Length–weight relationship and Relative condition factor of Barilius bendelisis (Hamilton, 1807) and Barilius barna (Hamilton, 1822) from Manu River, Tripura, India». *Journal of Entomology and Zoology Studies* 5, n.º 6 (2017): 2535-39.

Parés-Casanova. (2014). Estudio de peces con Morfometría Geométrica. Actas Iberoamericanas de Conservación Animal, 4, 111-113.

Pérez D. (2016). Estudio de peces con Morfometría Geométrica. Recuperado a partir de http://www.buenastareas.com/ensayos/Estudio-De-Peces-Con-Morfometria-Geometrica/75893608.html

Posada, M., y Arroyave, M. (2006). Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas. Revista EIA, 6, 57-67.

Pouilly, M., Pérez, T., Ovando, A., Guzmán, F., Paco, P., Duprey, J., Gardon, J. (2008). Contaminación por el mercurio en la cuenca Iténez. Recuperado a partir de http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers10-04/010047556.pdf

Rebolledo-Monsalve E., & Jiménez-Prado P. (2015). *Calidad de agua, actividad minera aurífera y comunidad de peces en la zona media baja del sistema Santiago Cayapas, Ecuador. (*Informe inédito).

Riofrío, I. (2017, marzo). Ríos de mercurio: la minería ilegal contamina la zona norte de Esmeraldas en Ecuador. *Mongabay Latam*. Recuperado a partir de https://es.mongabay.com/2017/03/rios-mercurio-la-mineria-ilegal-contamina-la-zona-norte-esmeraldas-ecuador/

Rodríguez G. (2016). Morfometría Geométrica. Blog Recuperado a partir de https://weblogsinstruccion.wordpress.com/

Rodríguez, J., Angón, E., González, M., Perea, J., Barba, C., & García, A. (2017). Allometric relationship and growth models of juveniles of Cichlasoma festae (Perciforme: Cichlidae), a freshwater species native in Ecuador. *Revista de Biología Tropical*, *65*(3), 1185-1193.

Román–Valencia, C., Ruiz–C., R. I., Taphorn B., D. C., Jiménez–Prado, P. & García–Alzate, C. A., 2015. A new species of *Bryconamericus* (Characiformes, Stevardiinae, Characidae) from the Pacific coast of northwestern Ecuador, South America. *Animal Biodiversity and Conservation*, 38.2: 241–252.

Sánchez M. (2014). Morfometría geométrica aplicada al estudio evolutivo de los espermatozoides y su relación con determinantes de la fertilidad en roedores.

Schluter Dolph. (2000). Ecological Character Displacement in Adaptive Radiation. *The American Naturalist*, *156*, 4-16.

Schutz H, & Krieger J. (2007). Guide to geometric morphometrics.

Sorria-Barreto, Rodiles-Hernández, & González-Díaz. (2011). Morfometría de las especies de Vieja (Cichlidae) en ríos de la cuenca del Usumacinta. Revista Mexicana de Biodiversidad, 1(82), 569-579.

Tamara Pérez, M. P. (2008). Contaminación por el mercurio en la cuenca Iténez. Recuperado a partir de http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers10-04/010047556.pdf

Toro M, G, M., & I, S. (2010). Morfometría Geométrica y el Estudio de las Formas Biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa. International Journal of Morphology, 4(28), 977-990.

UICN. (2017). Roeboides occidentalis. Recuperado 5 de diciembre de 2017, a partir de http://www.iucnredlist.org/details/169377/0

Zelditch, M.L., D.L. Swiderski, H.D. & Sheets. (2012). Geometric morphometrics for biologists. A primer. Oxford: Elsevier

ANEXOS

Anexo 1: Análisis de agua de parámetros químicos en la zona de actividad minera.

		ZONA DE ACTIVIDAD MINERA DIRECTA									
Límite máximo permitido para conservación de flora y fauna Tabla II		**TULULBI MINAS VIEJAS**	**TULULBI RICAURTE**	**CACHAVI SAN JOSE**	**CACHAVI LOS AJOS**	**URBINA**	**ESTERO MARIA SAN AGUSTIN**	**WIMBI**	**ZAPALLITO JUAN MONTALVO**	**ZAPALLITO CAYAPAS**	**LAS ANTONIAS**
0,1000 (mg/l)	Aluminio	0,1000	0,0600	**0,4000**	**0,2300**	**0,1200**	**0,1300**	**0,1300**	**0,5000**	**13,0000**	0,1000
0,0500 (mg/l)	Arsénico	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0016	0,0000
1,0000 (mg/l)	Bario	0,0080	0,0100	0,0600	0,0100	0,0200	0,0400	0,0100	0,0400	0,0850	0,0100
0,0010 (mg/l)	Cadmio	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,2000 (mg/l)	Cobalto	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0021	0,0000
0,0200 (mg/l)	Cobre	0,0000	0,0200	0,0070	0,0020	0,0010	0,0070	0,0000	0,0000	**0,0280**	0,0000
0,0500 (mg/l)	Cromo	0,0003	0,0000	0,0006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0130	0,0000
	Estroncio	0,0300	0,0200	0,0200	0,0100	0,0100	0,0300	0,0100	0,0700	0,1030	0,0400
0,3000 (mg/l)	Hierro	0,1000	0,0000	**0,5000**	0,1000	0,0000	**0,9000**	0,0000	**0,8000**	**7,8000**	**1,0000**
	Magnesio	1,5000	0,9000	0,9000	0,6000	0,5000	1,5000	0,5000	2,1000	4,2000	2,0000
0,1000 (mg/l)	Manganeso	0,0070	0,0070	0,0300	0,0070	0,0050	0,0100	0,0000	0,0200	0,0610	0,0300
0,0250 (mg/l)	Níquel	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0020	0,0060	0,0000
0,0010 (mg/l)	Plomo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0015	0,0000
0,0200 (mg/l)	Uranio	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000
0,1000 (mg/l)	Vanadio	0,0020	0,0000	0,0090	0,0000	0,0000	0,0070	0,0000	0,0030	0,0380	0,0010
0,1800 (mg/l)	Zinc	0,0000	0,0200	0,0000	0,0040	0,0090	0,0000	0,0050	0,0000	0,0170	0,0000

Anexo 2: Análisis de agua de parámetros químicos en la zona de recuperación.

ZONA DE RECUPERACIÓN							
Límite máximo permitido para conservación de flora y fauna Tabla II		**VALLE DE LA VIRGEN**	**SEFERINO**	**SAN FRANCISCO DEL BOGOTA**	**ESTERO SAN ANTONIO**	**WIMBICITO**	**ESTERO MARIA ALTO**
0,1000 (mg/l)	Aluminio	**0,3600**	**0,6700**	0,0500	0,0400	**1,1000**	**0,5000**
0,0500 (mg/l)	Arsénico	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,0000 (mg/l)	Bario	0,0040	0,0130	0,0100	0,0060	0,0060	0,0500
0,0010 (mg/l)	Cadmio	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,2000 (mg/l)	Cobalto	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0005
0,0200 (mg/l)	Cobre	0,0000	0,0000	**0,0300**	0,0050	0,0000	0,0000
0,0500 (mg/l)	Cromo	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000	0,0000	0,0005
	Estroncio	0,0170	0,0150	0,0200	0,0100	0,0130	0,0500
0,3000 (mg/l)	Hierro	0,1400	**0,4200**	0,0000	0,0000	**0,7200**	**1,0000**
	Magnesio	0,8300	0,9000	1,0000	0,5000	0,6200	2,4000
0,1000 (mg/l)	Manganeso	0,0069	0,0071	0,0000	0,0100	0,0042	0,0600
0,0250 (mg/l)	Níquel	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0010 (mg/l)	Plomo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0200 (mg/l)	Uranio	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,1000 (mg/l)	Vanadio	0,0023	0,0026	0,0050	0,0000	0,0020	0,0030
0,1800 (mg/l)	Zinc	0,0000	0,0000	0,0200	0,0030	0,0000	0,0000

Anexo 3: Análisis de agua de parámetros químicos en la zona de control.

ZONA DE CONTROL					
Límite máximo permitido para conservación de flora y fauna Tabla II		**SAN JOSE DURANGO**	**ESTERO COMBA PTO LIMPIO CACHAVI**	**PALABI,RICAURTE**	**CAYAPAS SAN MIGUEL**
0,1000 (mg/l)	Aluminio	**1,7000**	**0,8900**	0,0800	**3,3000**
0,0500 (mg/l)	Arsénico	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,0000 (mg/l)	Bario	0,0210	0,0170	0,0130	0,0170
0,0010 (mg/l)	Cadmio	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,2000 (mg/l)	Cobalto	0,0000	0,0000	0,0000	0,0014
0,0200 (mg/l)	Cobre	0,0000	0,0000	**0,0250**	0,0000
0,0500 (mg/l)	Cromo	0,0030	0,0000	0,0000	0,0080
	Estroncio	0,0250	0,0190	0,0100	0,0210
0,3000 (mg/l)	Hierro	**1,1000**	**0,5400**	0,0000	**2,5000**
	Magnesio	1,0000	0,7600	0,6000	1,3000
0,1000 (mg/l)	Manganeso	0,0210	0,0110	0,0000	0,0520
0,0250 (mg/l)	Níquel	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0010 (mg/l)	Plomo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0200 (mg/l)	Uranio	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,1000 (mg/l)	Vanadio	0,0047	0,0025	0,0000	0,0093
0,1800 (mg/l)	Zinc	0,0000	0,0000	0,0100	0,1060

Anexo 4: MANOVA de parámetros físico-químicos con las tres áreas de estudio.

Cuadro de Análisis de la Varianza (Wilks)					
F.V.	Estadístico	F	gl(num)	gl(den)	p
Zona	0,31	3,76	38	178	<0,0001

Prueba de Hotelling con nivel corregido por Bonferroni Alfa=0,05
Error: Matriz de covarianzas común gl: 107

ZONAS/PARÁMETROS	Aluminio	Cobre	Cromo	Estroncio	Hierro	Mercurio	Níquel	Plata	Plomo	Selenio	Talio	Uranio	Vanadio	Zinc	PH	T Agua	O2	CD	Turbidez
Zona Directa[a]	6,04	0,38	0,07	0,05	2,79	2,80E-04	0,29	2,80E-04	2,20E-03	3,40E-03	2,80E-04	2,50E-03	0,03	0,03	6,71	26,54	7,8	37,1	63,19
Zona de Recuperación[b]	1,39	0,02	2,40E-03	0,03	0,91	3,50E-04	2,60E-03	3,50E-04	1,40E-03	3,50E-03	3,50E-04	1,50E-03	0,01	0,01	6,98	26,95	8,1	32,3	12,44
Zona de Control[c]	1,08	0,02	2,70E-03	0,03	0,78	3,60E-04	3,00E-03	1,20E-03	2,00E-03	4,00E-03	4,00E-04	1,10E-03	3,90E-03	0,03	6,7	26,11	8	32,3	8,81

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 5: Análisis de ANOVA y MANOVA que describen el tamaño y la forma respectivamente en los individuos de *Eretmobrycon ecuadorensis.*

Procrustes ANOVA: Procrustes ANOVA ...
Dataset: newDataset

Classifiers used for the Procrustes ANOVA:
Individuals: GRP

Centroid size:

Effect	SS	MS	df	F	P valor
Individual	3.513.144.681	1.756.572.340	2	**11,58**	<.0001
Residual	27.312.948.206	151.738.601	180		

Shape, Procrustes ANOVA:

Effect	SS	MS	df	F	P valor	Pillai tr.	P valor
Individual	0,01078287	0,000336965	32	**2,67**	<.0001	**0,35**	0,0002
Residual	0,36414523	0,000126439	2880				

GRP	Medias	n	E.E.		
Z_R	55,77	51	1,72	A	
Z_A_M	53,31	118	1,13	A	
Z_C	38,08	14	3,29		B

Anexo 6: Análisis de ANOVA y MANOVA que describen el tamaño y la forma respectivamente en los individuos de *Mesoheros festae*.

Procrustes ANOVA: Procrustes ANOVA ...
Dataset: newDataset

Classifiers used for the Procrustes ANOVA:
Individuals: GRP

Centroid size:

Effect	SS	MS	df	F	P valor
Individual	1.923.714.009	961.857.005	2	**2,69**	0,0778
Residual	17.891.517.700	357.830.354	50		

Shape, Procrustes ANOVA:

Effect	SS	MS	df	F	P valor	Pillai tr.	P valor
Individual	0,01225421	0,000382944	32	**2,58**	<.0001	**0,95**	0,0069
Residual	0,11877309	0,000148466	800				

GRP	Medias	n	E.E.		
Z_A_M	54,05	21	4,13	A	
Z_R	49,5	24	3,86	A	B
Z_C	35,84	8	6,69		B

Anexo 7: Análisis de ANOVA y MANOVA que describen el tamaño y la forma respectivamente en los individuos de *Roeboides occidentalis.*

Procrustes ANOVA: Procrustes ANOVA ...
Dataset: newDataset

Classifiers used for the Procrustes ANOVA:
Individuals: GRP

Centroid size:

Effect	SS	MS	df	F	P valor
Individual	2.548.340.921	1.274.170.461	**2**	**3,05**	0,0531
Residual	32.156.046.311	417.610.991	**77**		

Shape, Procrustes ANOVA:

Effect	SS	MS	df	F	P valor	Pillai tr.	P valor
Individual	0,00734105	0,000229408	32	**1,61**	0,0177	**0,55**	0,0618
Residual	0,17573519	0,000142642	1232				

GRP	Medias	n	E.E.	
Z_R	57,47	23	4,26	A
Z_C	51,39	2	14,45	A
Z_A_M	44,97	55	2,76	A

FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1. Proceso de fijación de los peces



Fotografía 2. Equipo fotográfico utilizado



Fotografía 3. Ejemplo de pez mal conservado (inutilizable para la morfometría geométrica).