



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SEDE
ESMERALDAS

ESCUELA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

USO DE LA MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA PARA ESTABLECER CONTRASTES BIOLÓGICOS Y AMBIENTALES EN POBLACIONES DE PECES DEL RÍO TEAONE

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**AUTORA
YIRABEL ROCÍO ESCANTA MOLINA**

**ASESOR
MGT. PEDRO JIMÉNEZ PRADO**

Esmeraldas – Marzo, 2018

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

PhD. Jon Molinero Ortiz

Lector 1

Mgt. Eduardo Rebolledo Monsalve

Lector 2

Mgt. Lucía Vernaza Quiñónez

Directora de la Escuela de Gestión Ambiental

Mgt. Pedro Jiménez Prado

Director de Tesis

Esmeraldas – Marzo, 2018

AUTORÍA

Yo, Yirabel Rocío Escanta Molina, portadora de la Cédula de Identidad N° 0803348556 declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento como informe final, previo a la obtención del título de Ingeniera en Gestión Ambiental, son absolutamente veraces, auténticos, personales, de absoluta confiabilidad y originalidad.

Doy constancia que al realizar esta investigación me he apegado a las fuentes consultadas, en tal virtud expreso que el contenido, ideas, análisis, discusión y conclusiones, propuestas, que se desprenden del trabajo de investigación son y serán de mi exclusiva responsabilidad legal y académica.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco principalmente a Dios, por darme la fortaleza de continuar con cada meta que me propongo, por demostrarme en más de una ocasión que me cuida y está conmigo y por permitir rodearme de gente buena que me ha ayudado en todo momento.

Un agradecimiento especial a mi Director de Tesis, profesor, amigo Mgt. Pedro Jiménez Prado quien con sus conocimientos, experiencias, motivación y ayuda incondicional ha logrado que pueda avanzar en la tesis con éxitos, por ello le expreso el más alto sentimiento de consideración y estima.

Mis sinceros agradecimientos a cada uno de los profesores quienes me brindaron de sus conocimientos, permitiéndome aprender de ellos, y sobre todo supieron inculcar valores de responsabilidad.

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada principalmente a mi mami, mujer luchadora que ha sido madre y padre para mí, quien me ha brindado su apoyo incondicional y me ha enseñado a no rendirme ante ninguna adversidad.

A mis hermanos Cristina Escanta y Decarlos Peralta y a mi tía Mirna Reyes, que son mi motivación para lograr cumplir cada una de las metas que me proyecte.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORÍA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
ABREVIATURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	6
Área de estudio	6
FASE DE CAMPO.....	10
FASE DE LABORATORIO	12
ANÁLISIS DE ESPECIMENES CAPTURADOS	12
Análisis de Datos	18
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	20
Caracterización del área de estudio	20
Análisis físico-químicos	21
Análisis químicos	22
Análisis de capturas	24
Factor de condición	25
Análisis morfométricos de peces seleccionados.....	26
Análisis de correspondencia canónica comparado con los parámetros ambientales.	38
Análisis de componentes principales relacionadas con el factor de condición y el log centroide.	40
Análisis de deformación	42
4. DISCUSIÓN	43

CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	49
REFERENCIAS	50
ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones de muestreo	8
Tabla 2. Caracterización de las zonas durante el tiempo de muestreo.	21
Tabla 3. Análisis de comparaciones múltiples para <i>Andinoacara blombergi</i> de acuerdo a la zona de muestreo.....	29
Tabla 4. Análisis de comparaciones múltiples para <i>Brycon atrocaudatus</i> de acuerdo a la zona de muestreo.	31
Tabla 5. Análisis de comparaciones múltiples para <i>Brycon dentex</i> de acuerdo a la zona de muestreo.	34
Tabla 6. Análisis de comparaciones múltiples para <i>Rhoadsia altipinna</i> de acuerdo a la zona de muestreo.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resumen climatológico de la zona de estudio Fuente:Guijarro 2016.....	6
Figura 2. Áreas de muestreo: P1._ Zona alta, Parroquia Coronel Carlos Concha-Recinto Morachigüe (punto color azul); P2._ Zona media, Parroquia Tabiázo (punto color verde), P3._ Zona baja, Sector San Rafael (punto color rojo), cuenca hidrográfica de la Parroquia Esmeraldas	9
Figura 3. Selección de los principales puntos anatómicos de variación de la forma utilizada, en este caso de <i>Rhoadsia altipinna</i>	14
Figura 4. Selección de los principales puntos anatómicos de variación de la forma utilizada en el estudio de <i>Andinoacara blombergi</i>	14
Figura 5. Uso del programa TPSdig2 (obtención de coordenadas reflejadas por hitos anatómicos).	15
Figura 6. Laminilla de variación de la forma de crecimiento de los especímenes aplicando el tpsrelw32	17
Figura 7. Valores absolutos del log10 de los promedios de los parámetros físicos de las tres zonas de estudio del río Teaone, durante los seis muestreos realizados. Una letra	

común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Se indica Intervalo de confianza al 95%	22
Figura 8. Valores absolutos del log10 de los promedios de los parámetros Químicos de las tres zonas de estudio del río Teaone, durante los seis muestreos realizados. Una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Se indica intervalo de confianza del 95%.	23
Figura 9. Valores absolutos del log10 de los promedios de los parámetros Químicos de las tres zonas de estudio del río Teaone, de los seis muestreos realizados. Una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Se indica Intervalo de confianza al 95%.	24
Figura 10. Abundancia total de individuos capturados de las tres zonas de estudio del río Teaone, durante los seis muestreos realizados. Se indica Intervalo de confianza al 95%.	25
Figura 11. Gráfica de dispersión del factor de condición (K) en función al promedio de las especies en diferentes zonas de muestreo.....	26
Figura 12. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV1) de <i>Andinoacara blombergi</i> , comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro). 27	27
Figura 13. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV2) de <i>Andinoacara blombergi</i> , comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro). 27	27
Figura 14. Se muestran los análisis de la Variable Canónica (CVA) de los datos de la forma corporal de la <i>Andinoacara blombergi</i> , los puntos representan los individuos y las elipses muestran la dispersión de la forma de los individuos en las tres zonas de muestreo (los extremos representan mayor variación morfológica).....	28
Figura 15. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV1) de <i>Brycon atrocaudatus</i> , comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro).....	29
Figura 16. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV2) de <i>Brycon atrocaudatus</i> , comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro).....	30
Figura 17. Se muestran los análisis de la Variable Canónica (CVA) de los datos de la forma corporal de <i>Brycon atrocaudatus</i> , los puntos representan los individuos y las	

elipses muestran la dispersión de la forma de los individuos en las tres zonas de muestreo (los extremos representan mayor variación morfológica).....	31
Figura 18. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV1) de <i>Brycon dentex</i> , comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro).....	32
Figura 19. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV2) de <i>Brycon dentex</i> , comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro).....	33
Figura 20. Se muestran los análisis de la Variables Canónica (CVA) de los datos de la forma corporal en <i>Brycon dentex</i> , los puntos representan los individuos y las elipses muestran la dispersión de la forma de los individuos en las tres zonas de muestreo (los extremos representan mayor variación morfológica)	34
Figura 21. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV1) de <i>Rhoadsia altipinna</i> , comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro).	35
Figura 22. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV2) de <i>Rhoadsia altipinna</i> , comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro).	36
Figura 23. Se muestran los análisis de la Varianza Canónica (CVA) de los datos de la forma corporal de <i>Rhoadsia altipinna</i> , los puntos representan los individuos y las elipses la dispersión de la forma de los individuos en las tres zonas de muestreo (los extremos representan mayor variación morfológica)	37
Figura 24. Análisis de correspondencia canónica de los datos de la abundancia total de cada especie relacionada con los promedios de los parámetros ambientales.	39
Figura 25. Análisis de componentes principales correlacionadas con los promedios de las condiciones ambientales, talla y peso, y el log centroide.....	41

ABREVIATURAS

MG: Morfometría Geométrica

MANOVA: análisis de la varianza multivariado

pH: Potencial de hidrogeno

ACV: análisis de variables canónicas

K: factor de condición de Fulton

°C= grados centígrados

L: litros

mg: miligramos

mm: milímetros

SENPLADES: Sistema Nacional de Planificación y Desarrollo

T°: temperatura

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

EC: conductividad eléctrica

TSS: sólidos totales en suspensión

TDS: sólidos totales disueltos

OD: oxígeno disuelto

RESUMEN

Este estudio evalúa el efecto que tiene el ambiente del río Teaone sobre la morfología que adoptan poblaciones de peces en su cauce y que permite también estimar el estado actual de la calidad del agua en el mismo; para lo cual se realizaron seis muestreos, desde abril hasta septiembre del 2017. Los muestreos fueron realizados en tres tramos del río: zona alta a nivel de la comunidad de Morachigüe, zona intermedia en la comunidad de Tabiazo y zona baja a nivel del barrio San Rafael, en la cabecera cantonal de la ciudad de Esmeraldas. Se colectó un mínimo 15 especímenes en cada muestreo para las especies *Andinoacara blombergi*, *Brycon atrocaudatus*, *Brycon dentex* y *Rhoadsia altipinna*.

Mediante el uso de la morfometría geométrica, se pudo evidenciar diferencias de cada una de las especies expresadas a través de un análisis de variación canónica. Estas variaciones reflejaron divergencia corporal, principalmente a nivel del hocico, región cefálica y en la altura del cuerpo, con cambios desde las zonas altas donde existen condiciones ambientales óptimas hasta la zona baja donde se presume bajas condiciones ambientales, manifestadas principalmente por un aumento de la temperatura, turbidez, dureza, menos oxígeno disuelto y alcalinidad. Los análisis estadísticos reafirman la existencia de divergencia corporal en las cuatro especies (*Andinoacara blombergi*, *Brycon atrocaudatus*, *Brycon dentex* y *Rhoadsia altipinna*) y un estado de condición alterada en dos de ellas (*Andinoacara blombergi* y *Brycon atrocaudatus*).

Palabras claves: Morfometría geométrica; estado de condición corporal; zonas alta, media y baja del río Teaone.

ABSTRACT

This study evaluates the effect that the Teaone River environment has on the morphology adopted by fish populations in its channel, which also allows estimating the current status of the water quality in the river; for which six samplings were carried out, from April to September 2017. The samplings were carried out in three stretches of the river: high zone at the level of the community of Morachigüe, intermediate zone in the community of Tabiazo and low zone at the San neighborhood Rafael, in the cantonal capital of the city of Esmeraldas. A minimum of 15 specimens were collected in each sample for the species *Andinoacara blombergi*, *Brycon atrocaudatus*, *Brycon dentex* and *Rhoadsia altipinna*.

Through the use of geometric morphometry, differences of each one of the expressed species could be evidenced through an analysis of canonical variation. These variations reflected body divergence, mainly at the level of the snout, cephalic region and body height, with changes from the high areas where there are optimal environmental conditions to the low zone where low environmental conditions are presumed, manifested mainly by an increase in temperature, turbidity, hardness, less dissolved oxygen and alkalinity. The statistical analyzes reaffirm the existence of body divergence in the four species (*Andinoacara blombergi*, *Brycon atrocaudatus*, *Brycon dentex* and *Rhoadsia altipinna*) and a state of altered condition in two of them (*Andinoacara blombergi* and *Brycon atrocaudatus*).

Keywords: Geometric morphometry; state of body condition; high, medium and low areas of the Teaone River.

1. INTRODUCCIÓN

Los ríos son sistemas complejos que presentan una gran variación en los procesos geológicos, geomorfológicos, biológicos y ecológicos, por lo cual se debe entender que los sistemas fluviales son sensibles a transformaciones en su caudal y dinamismo, expresado a nivel espacial y temporal (Andreoli et al., 2012); los ríos a lo largo de su longitud van reflejando diferencias en sus características físicas así como en su composición biológica (FAO, 2017). Actualmente los sistemas fluviales han experimentado enormes modificaciones tanto en el tramo alto, medio y bajo debido a las actividades cotidianas que el hombre realiza. Lo anterior se expresa cuando en la práctica vemos que los recursos hídricos se encuentran amenazados, principalmente por la acción del ser humano: la deforestación, la falta de tratamiento de las aguas residuales, los residuos urbanos, la agricultura y las industrias, acciones que causan modificaciones en el sistema morfológico y ecológico de los ríos (Souza & Francisco, 2013).

Por otro lado, la estructura y dinamismo del hábitat acuático, donde están presentes diversos organismos, estarían influenciados por las perturbaciones que sufren cotidianamente los ríos (García, González & Habit, 2012), por lo cual diversos organismos son capaces de actuar como bioindicadores de la calidad del agua, debido a que son susceptibles a los cambios generados en el ambiente circundante (Ortiz, 2016). La bioindicación es una herramienta que utiliza los organismos de los ecosistemas como indicadores de los posibles impactos en el ecosistema, en este caso fluvial, ya que esto a su vez, determinan cambios estructurales de las poblaciones, así como en el crecimiento y reproducción de los organismos. Por lo tanto, bajo esta relación, algunos organismos proporcionan información de las alteraciones físicas y químicas del hábitat fluvial, expresando modificaciones en su composición y estructura poblacional (Herbas, Rivero & Gonzales, 2006).

Dentro de la gran diversidad de organismos acuáticos, los peces han sido señalados como buenos indicadores de calidad del agua, porque se encuentran en cualquier cuerpo de agua, son fáciles de identificar, no requieren de un equipo sofisticado para su manipulación e incluso sus comunidades pueden aportar información sobre los posibles cambios en las poblaciones a lo largo del tiempo (Espinosa, 2014).

Para mejorar el conocimiento sobre la diversidad ictiológica se realizan comparaciones anatómicas entre organismos, análisis que se ha convertido en un elemento central dentro de la biología (Benítez & Püschel, 2014). Una de las herramientas para hacer diferenciaciones taxonómicas, a nivel de especies, es el uso de la morfometría, que estudia las variaciones de la forma, dando respuestas incluso en términos de biología evolutiva (Salas, Véliz & Scott, 2012). Este tipo de análisis es conocido como morfometría tradicional (Adams, Rohlf & Slice, 2004).

Por otro lado, la morfometría geométrica estudia la relación que hay entre la forma pura (rasgos característicos de un organismo) y las condiciones ambientales mediante el procesamiento de imágenes digitales, el cual permite comparar la estructura de los mismo mediante hitos homólogos (coordenadas de puntos ubicados inequívocamente en el perfil o estructura de cada espécimen), que a su vez se expresan en coordenadas de eje X y eje Y, las mismas que permititen identificar semejanzas o diferencias entre la variabilidad de su forma y las condiciones ambientales (Toro, Manriquez & Suazo, 2010). Esto además, de manera independiente del tamaño (según sean jóvenes o adultos), de la posición o de la rotación de la imagen (García, Valencia & González, 2009).

A nivel mundial se han realizado muchos estudios empleando la morfometría geométrica como herramienta para validar diferencias o plasticidad en la forma de un organismo. Ha sido especialmente utilizado en la arqueología (Klingenberg, 2013), la biología (Zelditch, Swiderski & Sheets, 2012) y la antropología (Mitteroecker, Gunz, Windhager & Schaefer, 2013), entre otros.

En el ámbito biológico, por ejemplo, se ha realizado estudios morfológicos de *Atherinops affinis* (Atherinopsidae) aplicando la morfogeometría, para lo cual se tomaron muestras de poblaciones de dichas especies, en tres zonas del continente de California, un sitio de Channel Island y un sitio en el alto Golfo de California; encontrando que la mayor variación de forma entre las poblaciones, ocurre a nivel de la cabeza como respuesta a las diferentes condiciones ambientales del hábitat de cada población (Reilly & Horn, 2004).

Además, se realizó una investigación implementando la morfometría geométrica en peces Cíclidos del lago Tanganyika del este de África, para conocer la especiación adaptativa de 45 especies de Cíclidos, mediante análisis comparativos entre la ecología

y morfología. Teniendo como resultado diferencias en la longitud del cuerpo, así como el tamaño de la cabeza y el pedúnculo caudal, por lo cual se llegó a la conclusión que estas diferencias en la forma del cuerpo se da como consecuencia de la preferencia de alimentación (nichos tróficos) (Clabaut, Bunje, Salzburger & Meyer, 2007).

Otro estudio de morfogeometría geométrica en peces de la familia Cichlidae en los ríos de la cuenca Usumacinta (Chiapas, México), donde se analizaron 20 ejemplares por localidad muestreada, se tomaron imágenes del lado izquierdo de los ejemplares y se usaron 15 hitos (puntos anatómicos); el resultado encontrado en este estudio determinó que no existía variación entre las diferentes localidades, es decir, que se trataba de una misma especie (Soria, Rodiles & González, 2011).

El uso de la morfometría geométrica en Ecuador es aún muy poco explotada; sin embargo, existe un estudio hecho en la ESPOL de Guayaquil que comparó distintas poblaciones de Guanchiche (*Hoplías* spp., Erythrinidae comparando ecosistemas lénticos y lóticos del Ecuador (Granda & Montero, 2015). El resultado encontrado determino la existencia diferencias morfológicas entre las diferentes poblaciones de ambientes según vivan en ríos o lagos; aquellos que se encontraron en ríos tienden a ser más delgados, con ojos mediano y la cabeza dirigida hacia abajo, mientras que los de represa son más grandes especialmente en el abdomen, con cabeza más grande y dirigida hacia arriba, con ojos de mayor tamaño.

Hasta la fecha, no se ha realizado ningún estudio, utilizando la morfometría geométrica, para peces en la provincia de Esmeraldas, por lo que este trabajo será pionero y aportará información para entender la elasticidad morfológica que podrían tener las especies de peces del río Teaone según se enfrentan a una mayor o menor presión antrópica; y que a su vez podría servir de base para mejorar el manejo y gestión que actualmente enfrenta la cuenca.

Dos estudios previos sobre la calidad de agua, aplicando el método de caracterización por diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, han demostrado que el río Teaone se encuentra perturbado por diversas actividades que la población de la ribera realiza en ella como el lavado de ropa, vertido de aguas residuales, desechos sólidos y ganadería (Gujarro, 2016; Ortiz, 2016). Sin embargo, no se conoce el efecto que el ambiente acuático impactado tiene sobre las formas que adoptan los organismos. Por ello, realizar un estudio morfométrico en poblaciones de peces del río y compararlo

con las condiciones ambientales (parámetros físico-químicos), podría explicar cómo las diferencias ambientales contribuyen con los posibles cambios morfológicos de los peces, separándolos en tramos alto, medio y bajo del río Teaone.

Este estudio se centra en las poblaciones de peces de la Familia Characidae, que demuestran tener poblaciones con presencia abundante a lo largo de todo el río y factibilidad para su captura. Las especies que forman parte del análisis son: *Andinoacara blombergi* Wijkamark, Kullander y Barriga, 2012, conocida localmente en las tres zonas de muestreo como vieja o pedro antonio; *Brycon atrocaudatus* Kner, 1863, conocida localmente como sabaleta; *Brycon dentex* Gunther, 1860, conocida localmente como sabaleta o dama; y, *Rhoadsia altipinna* Fowler, 1911, conocida localmente como orejuela o chimbija.

Según la Constitución del Ecuador (2008) y los convenios internacionales firmados, nuestro país reconoce los derechos de la comunidad para participar activa y permanentemente en los controles sobre el uso y aprovechamiento del agua. Además según el Art. 411 de la Constitución, se establece que el Estado es responsable de la conservación, recuperación y manejo del sistema hídrico, regularizando las actividades que perturben la calidad del agua, así como del equilibrio de los ecosistemas.

De acuerdo al Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 – 2017 en su objetivo cuatro, y la Ley Orgánica de Recursos Hídricos usos y aprovechamiento del agua 2015 en su Art. 65, establecen que la naturaleza tiene derecho a la conservación, restauración y recuperación del agua como fuente esencial para toda forma de vida. (SENPLADES, 2013). Por lo anteriormente mencionado es imprescindible que en cada actividad que se desarrolle cerca de fuentes hídricas, se tome en cuenta los límites máximos permisibles, las disposiciones y prohibiciones para descargas en cuerpos de agua de uso agrícola o industrial; así como, se considere los criterios de calidad de agua para preservación de la biodiversidad según lo establece el TULSMA en su libro VI, anexo 1, Tabla 3 y 12.

La presente investigación tiene como objetivo general estudiar las variaciones morfológicas de las poblaciones de peces del río Teaone para estimar la calidad ambiental del río, relacionando aspectos biológicos y ambientales según las zonas, mediante el uso de la morfometría geométrica.

Teniendo como hipótesis que, las poblaciones de las especies de estudio serian morfológicamente distintas entre sí, según provengan de zonas altas del río (menor presión y presencia humana) o partes bajas del río (mayor presión y presencia humana).

Para lo cual se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- establecer los hitos geométricos que permitan analizar información sobre la forma pura (shape) de los peces mediante el uso de imágenes digitales.
- analizar los parámetros fisicoquímicos de las zonas altas, medias y bajas del río Teaone.
- establecer relaciones entre los datos ambientales y los biológicos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La parroquia Coronel Carlos Concha, se encuentra dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva Ecológica Mache Chindul. Contiene uno de los últimos remanentes de bosque húmedo y seco tropical de la costa ecuatoriana y se le ha identificado como un punto caliente de biodiversidad (GAD Cnel. Carlos Concha, 2017).

La zonas de estudio se caracteriza por tener un clima húmedo tropical, con temperatura promedio de 26 ± 7 °C y precipitación media de 55 ± 15 mm (Figura 1). El principal efluente es el río Teaone, que tiene una extensión de 504,89 km², anchura media de 38 ± 10 metros, con profundidad entre 0.8 – 1.0 m, y caudal aproximado de 7 m³/seg. La longitud va alrededor de 30 km desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Esmeraldas con un aporte anual de 700 Hm³ (Guijarro, 2016).

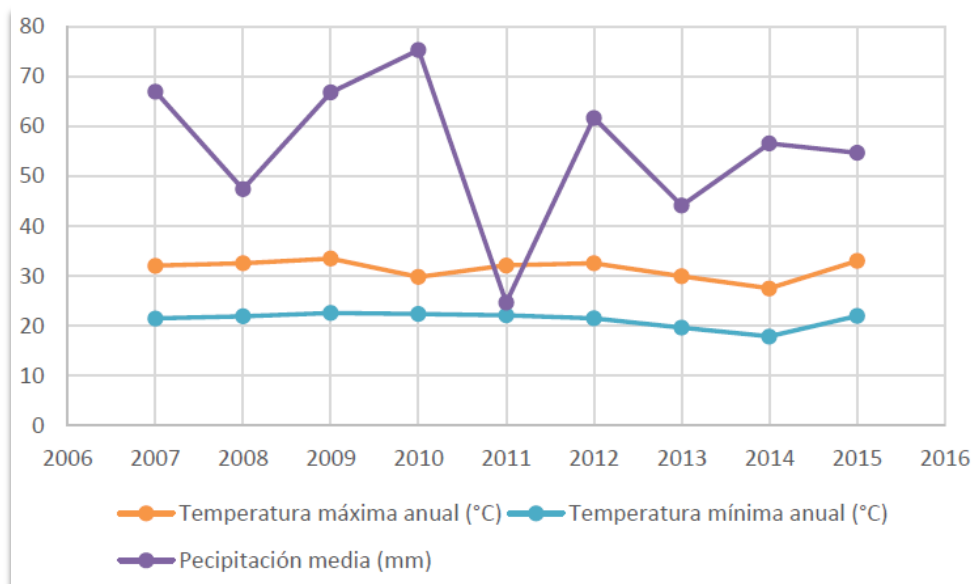


Figura 1. Resumen climatológico de la zona de estudio Fuente:Guijarro 2016

Selección de las estaciones de muestreo

Se realizó una visita previa en tres tramos de la cuenca Teaone, de los cuales el primer punto, catalogado como “zona alta”, se estableció en el Recinto Morachigüe ya que presenta buenas condiciones ambientales con poco asentamiento poblacional; el segundo punto, catalogado como “zona media”, se estableció en la parroquia Tabiazo, el cual presentaba ya alteraciones en el río influenciadas por la presencia de núcleos poblacionales; y para el último punto, se tenía pensado el sector Propicia 1, debido a que en esta zona se acumula todos aquellos desechos que se vierten en el río, sin embargo al presentar características poco adecuadas para el muestreo como la formación de algas verdes, acumulación de grasas y lodos, la putrefacción de residuos que emitían olores desagradables y la escasa presencia de especies de las cuales se encontraron solamente *Gobiomorus maculatus* (caguas) y 1 o 2 *Brycon*; por tanto fue necesario subir hacia el sector San Rafael, vía Atacames el cual se catalogo como “zona baja” el cual presenta un área urbana, con escasa vegetación y con acumulación de residuos orgánicos e inorgánicos y aguas residuales pero con mayor presencia de peces (Tabla 1) en comparación al sector Propicia 1 (Figura 2).

La sub-cuenca del Teaone ha sido analizada en tres niveles altitudinales (Fotografías en anexo I):

- a) La parroquia de “Cnel. Carlos Concha Torres” que se encuentra en el sureste del cantón Esmeraldas, a una distancia de 32 km de la ciudad, cuenta con 2.354 habitantes (Guijarro, 2016; Ortiz, 2016), los cuales carecen de sistema de alcantarillado, pero si cuentan con pozos sépticos y letrinas ; la parroquia tiene una elevación entre los 50 y 800 m.s.n.m., aunque la sub-cuenca del Teaone alcanza una elevación no superior a los 90 m.s.n.m.; la zona de Morachigüe, área de interés para el estudio, se encuentra aproximadamente a los 60 m.s.n.m. se caracteriza por ser una zona rural dedicada a la ganadería, agricultura y pesca de subsistencia, además tiene una amplia zona de vegetación primaria y secundaria.
- b) La parroquia Tabiazo está ubicada a 12 km de la “Y” de Vuelta Larga-Atácames, se encuentra a una altitud promedio de 40 m.s.n.m.; se caracteriza por ser una zona rural dedicada a la ganadería y agricultura posee una cobertura de bosques secundarios y pastizales; cuenta con 2.928 habitantes según registros

del CNE, de los cuales tan solo el 70% se abastecen de agua de una planta potabilizadora, mientras que en los recintos obtienen el agua, por un lado por medio de un sistema de perforación y por otro la obtienen directamente del río, en este último caso además aprovechan para el lavado de ropa y recipientes, lavado de carros, el vertido de desechos sólidos, el vertido de aguas servidas, etc., por tanto es una zona que ya expresa alteración (Ortiz, 2016; SNI, 2015).

- c) El tramo bajo es el sector San Rafael, primer barrio urbano de la ciudad de Esmeraldas en el curso río abajo del Teaone, se encuentra a 17 m.s.n.m., se caracteriza por ser un lugar con escasa vegetación y gran acumulación de desechos orgánicos e inorgánicos en sus riberas; es una zona que recibe el vertido de toda actividad humana circundante.

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones de muestreo

Estaciones	Nombre	Coordenadas	
P1 (zona alta)	Recinto Morachigüe	17N 641866	76071
P2 (Zona media)	Tabiazo	17N 643929	90646
P3 (Zona baja)	San Rafael	17N 645312	100086

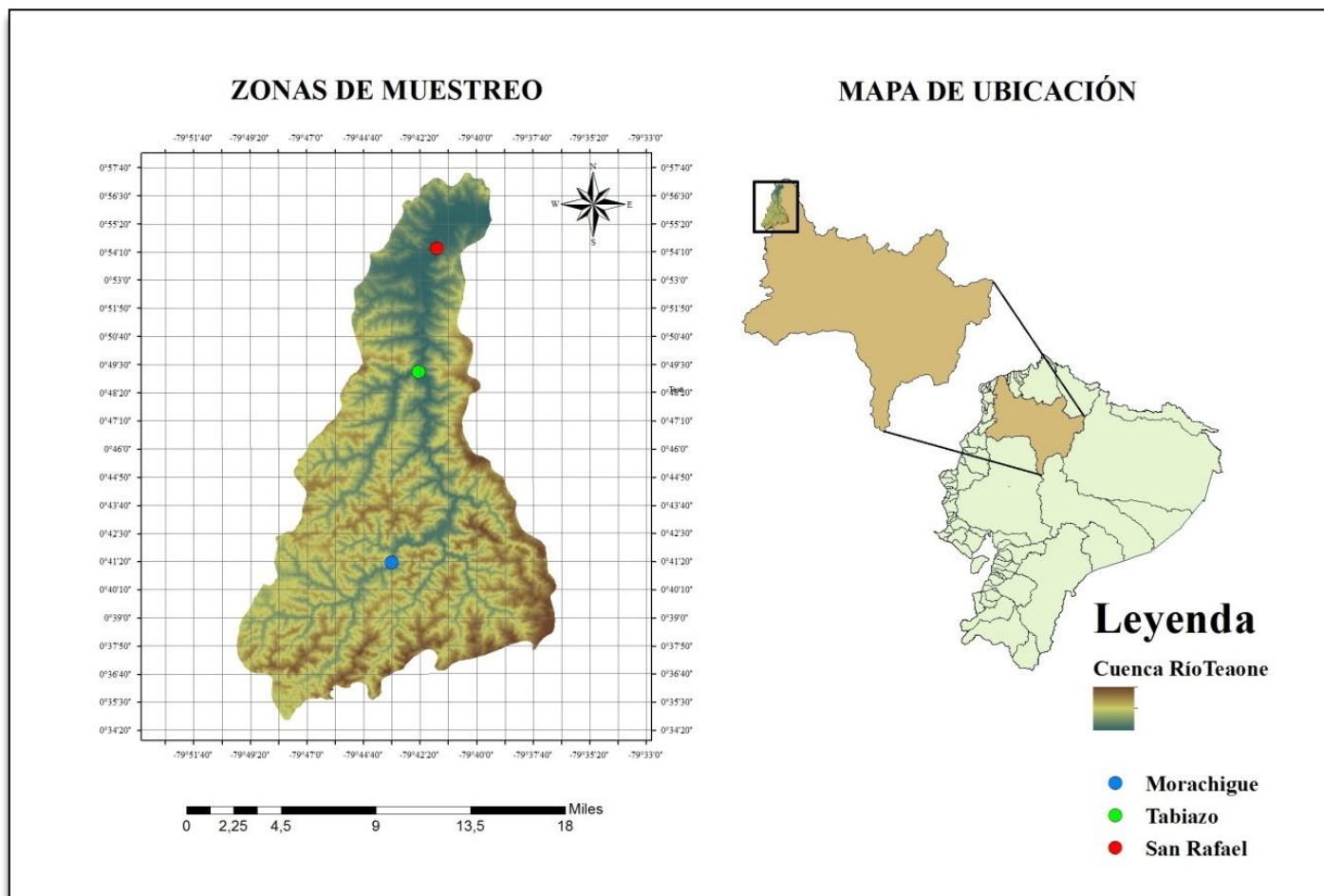


Figura 2. Áreas de muestreo: P1._ Zona alta, Parroquia Coronel Carlos Concha-Recinto Morachigüe (punto color azul); P2._ Zona media, Parroquia Tabiazo (punto color verde), P3._ Zona baja, Sector San Rafael (punto color rojo), cuenca hidrográfica de la Provincia Esmeraldas

FASE DE CAMPO

Muestreo Preliminar y selección de especies

La primera captura fue realizada en el mes de abril, partiendo desde la zona baja de San Rafael, con la finalidad de identificar que especies de peces frecuentan más dicha zona de las cuales se encontraron especies como *Andinoacara blombergi*, *Brycon atrocaudatus*, *Brycon dentex*, posteriormente se realizaron los muestreos en la zona alta de Morachigue y zona media de Tabiazo donde se evidenciaron mayor frecuencia de las especies ya antes mencionadas y además también se encontraron especies como *Astyanax festae* y *Cichlisoma festae*; permitiendo de esta manera obtener el número adecuado para los análisis correspondientes del estudio.

Las especies seleccionadas para el análisis fueron:

Andinoacara blombergi se caracteriza por tener un hocico algo pronunciado, tienen un tamaño máximo cercano a los 105,2 mm; tiene preferencia por los sistemas fluviales de agua tranquila y con fondo de grava y piedra (Jiménez et al., 2015).

Brycon atrocaudatus es una especie que tiene el hocico moderadamente puntiagudo, su talla máxima alcanza los 400 mm. Se trata de una especie omnívora que habita en ríos con fondos rocosos y aguas rápidas (Jiménez et al., 2015).

Brycon dentex es una especie de talla grande, puede alcanzar una talla de 510 mm; se caracteriza por tener la mandíbula superior sobresaliente dejando los dientes superiores expuestos; es una especie omnívora que se encuentran principalmente en ríos de gran caudal con corriente de agua rápida (Jiménez et al., 2015; Revelo & Laaz, 2012).

Finalmente, *Rhoadsia altipinna* que se caracteriza por tener un cuerpo alto deprimido con un área pre-ventral redondeada; tiene un tamaño pequeño a mediano con una talla cercana a los 170 mm; se trata de una especie omnívora que se encuentra principalmente en las orillas de los ríos con corrientes moderadas y fondos arenosos a rocosos (Jiménez et al., 2015; Revelo & Laaz, 2012).

Registro de Parámetros Físico-químico

En cada punto de muestreo, se tomaron parámetros ambientales tales como: el pH, la temperatura del agua ($^{\circ}$ C), la conductividad eléctrica (μ S/cm), sólidos totales en suspensión (ppm), oxígeno disuelto (% y ppm) y sólidos totales disueltos (ppm) con la Sonda multiparamétrica HANNA 9829. Posteriormente, se recogieron muestras de agua en botellas opacas de plástico de 1 litro las cuales fueron trasladadas al laboratorio refrigeradas en cooler a 4 $^{\circ}$ C.

Captura de peces

El trabajo de campo se realizó utilizando como base el protocolo de muestreo de peces para aguas continentales de la norma para caudales ecológicos (Espinosa, 2014). Este procedimiento se llevó a cabo en cada una de las estaciones ya establecidas, con un lapso mínimo de una colecta mensual, durante seis meses desde abril hasta septiembre de 2017; garantizando así, seis réplicas con al menos 1080 especímenes (15 individuos x 4 especies x 3 zonas x 6 colectas).

En cada colecta y localidad se recogieron al menos 15 individuos de cada especie. Para la pesca de los especímenes se utilizó una atarraya de 2,5 metros y 1 ojo de malla. Sólo se recogieron y conservaron los individuos pertenecientes a las cuatro especies previamente seleccionadas. Las especies que fueron capturas incidentalmente, fueron regresadas al agua. Los peces se conservaron en fundas Ziploc (26,8cm x 27,3cm) las cuales fueron rotuladas previamente según la zona de muestreo.

Consideraciones generales para la fijación de los peces

Los peces se identificaron siguiendo Jiménez et al. (2015) y se guardaron en las fundas Ziploc, que contenía una solución de formalina al 10%, permitiendo la fijación de estructuras musculares y demás tejidos, evitando también así la descomposición de los cuerpos. Estas fundas fueron trasladadas al laboratorio donde permanecieron al menos por 48 horas. Este procedimiento garantizó su fijación y una postura apropiada para la

fotografía y posterior análisis morfométrico, garantizando en lo posible, que el cuerpo no se fije con curvaturas y sus aletas queden erguidas.

FASE DE LABORATORIO

Análisis del agua

Las muestras de agua se analizaron para los parámetros de: turbidez (FAU) y sólidos en suspensión (mg/L) con un colorímetro Hach DR900. Para el análisis de fosfatos (ppm), nitratos (ppm), hierro (ppm) y cromo (ppm) se utilizaron colorímetros HANNA (HI713, HI707, HI721, HI723. Fotografía en anexo II); finalmente para la dureza (mg/L) y alcalinidad (mg/L) se empleó un kit Salifert KH/Alk Profi Test.

Conservación de los especímenes

Una vez transcurridas al menos 48 horas de fijación, todos los especímenes fueron lavados con abundante agua para eliminar el exceso de la solución de formol, y se depositaron en fundas Ziploc con alcohol al 70 %, lo cual permitió su conservación a largo plazo, siempre manteniendo sus respectivas etiquetas de identificación de origen.

ANALISIS DE ESPECIMENES CAPTURADOS

Registro de Peso y talla

Cada espécimen fue pesado en una balanza digital Jewelry Scale FC-50, con capacidad de 50 g y precisión de 0.001 g, y fueron medidos con un calibrador (vernier) digital Hardened, con precisión de 0.01 mm, y finalmente fueron etiquetado con códigos que individualizaban a cada muestra según zona y colecta.

Adquisición de imágenes

Una vez individualizados y etiquetados todos los especímenes, se procedió a la determinación de los hitos a ser analizados, siguiendo las recomendaciones de Aguirre et al., 2016; Malato et al., 2017, para las especies de Charasidos (*B. atrocaudatus*, *dentex* y *R. altipinna*) (Figura 3):

1. Extremo anterior del hocico;
2. Extremo dorso-posterior de la cabeza;
3. Origen anterior de la aleta dorsal;
4. Origen posterior de la aleta dorsal;
5. Origen anterior de la aleta adiposa,
6. Extremo antero-dorsal de la aleta caudal;
7. Extremo antero-ventral de la aleta caudal;
8. Origen posterior de la aleta anal;
9. Origen anterior de la aleta anal;
10. Origen anterior de la aleta ventral izquierda;
11. Origen antero-ventral de la aleta pectoral izquierda;
12. Origen antero-dorsal de la aleta pectoral izquierda;
13. Extremo postro-ventral de la cabeza;
14. Extremo anterior del ojo;
15. Extremo posterior del ojo.

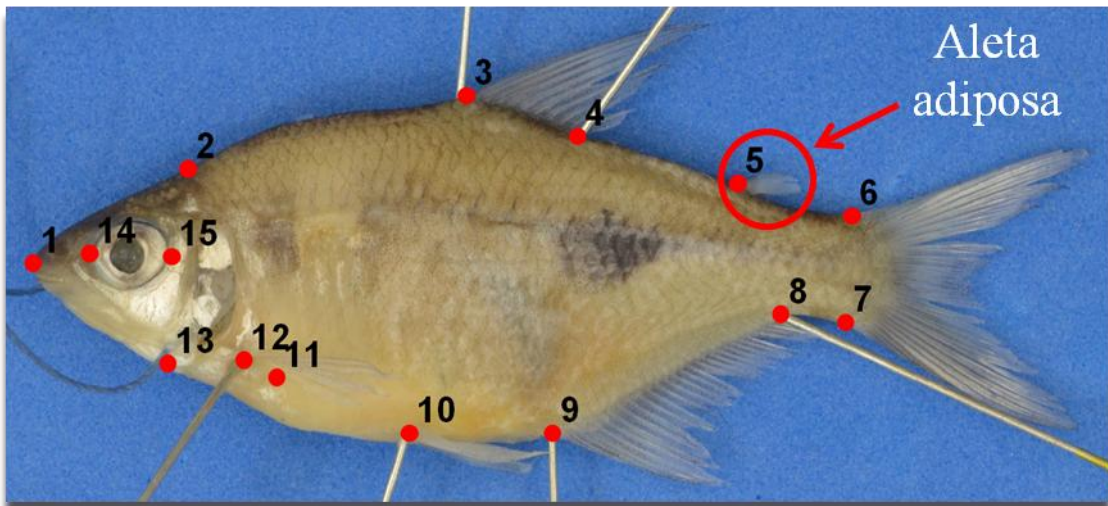


Figura 3. Selección de los principales puntos anatómicos de variación de la forma utilizada, en este caso de *Rhoadsia altipinna*.

Para el caso de *A. blombergi*, que carece de aleta adiposa, los hitos son todos iguales, excepto el número 5, por lo cual al final en esta especie solo se lo analizó 14 hitos (Figura 4).

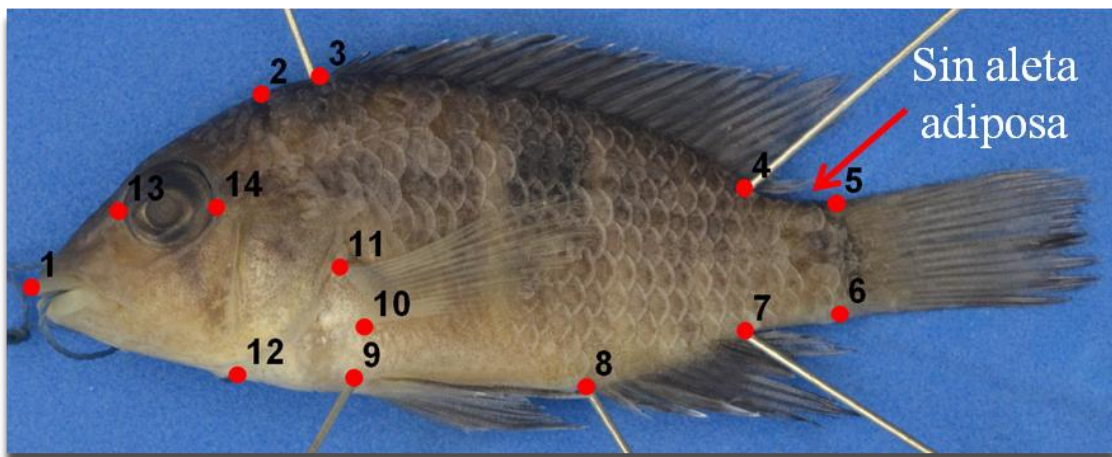


Figura 4. Selección de los principales puntos anatómicos de variación de la forma utilizada en el estudio de *Andinoacara blombergi*.

Con la ayuda de alfileres, se señalaron los 15 hitos anatómicos en cada espécimen. Los individuos que presentaron curvaturas fueron enderezados, con agujas. Luego se procedió a colocar cada individuo en una plataforma que tenía una regla para calibrar la escala de medición. La plataforma cuenta con un pedestal donde se ubica una cámara digital Nikon D5100, con un lente de 55mm, siempre ubicando al espécimen de lado izquierdo. Se tuvo en consideración la altura de la cámara a 45 cm para todos los peces, excepto las especies *Brycon atrocaudatus* y *Brycon dentex* quienes al presentar mayor talla fue necesario tomar en cuenta la altura de la cámara para peces pequeños (< 140 mm; h = 45 cm) y para peces grandes (> 160 mm; h = 60 cm). Las imágenes obtenidas fueron guardadas con su respectivo código en carpetas de forma sistemática teniendo en cuenta el lugar de procedencia, la especie y la fecha de captura.

Análisis de imágenes

Una vez obtenidas las fotografías se trabajó primeramente con el programa TPSutil que permite crear un archivo en donde se guardan todas las imágenes de manera ordenada, facilitando así la selección de imágenes que luego serán utilizadas en el programa TPSdig2.

Ya en el programa TPSdig2, se seleccionó el archivo generado anteriormente, el cual contenía el conjunto de imágenes. Una vez ingresado el archivo seccionado, se desplegó la fotografía del primer espécimen, e inmediatamente se procedió a ubicar y digitalizar los diferentes hitos de tal manera que el programa los transformó en coordenadas (Figura 5).

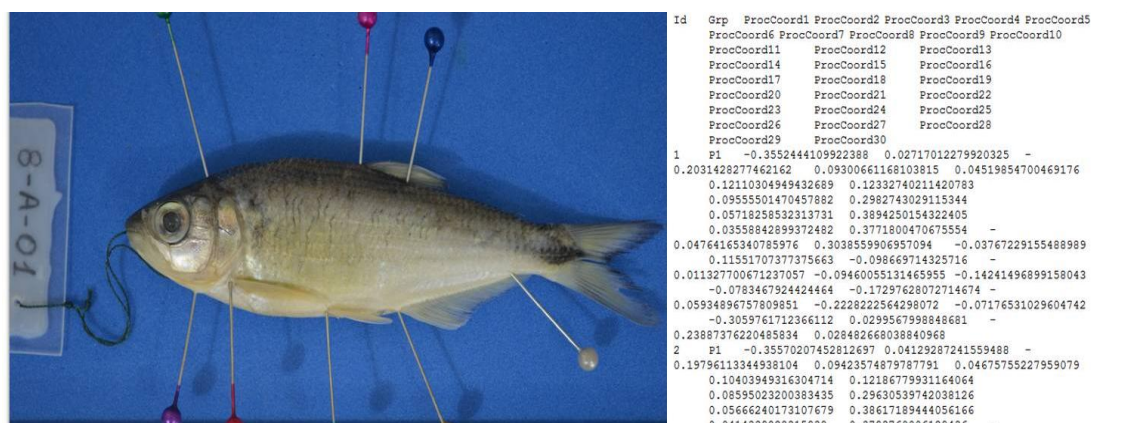


Figura 5. Uso del programa TPSdig2 (obtención de coordenadas reflejadas por hitos anatómicos).

Las coordenadas que se obtuvieron del programa TPSdig2 se guardaron automáticamente en un archivo que se denomina de tipo “TPS”, que contienen configuraciones geométricas de los diferentes individuos (Bookstein, 1997; Rohlf & Marcus, 1993; Rohlf & Slice, 1990). Los archivos TPS fueron abiertos en el programa TPSrelw32, en donde realizaron la transformación procruster (eliminación de las diferencias en direccionalidad, tamaño y rotación que pudieron existir entre las diferentes imágenes, obteniendo coordenadas ajustadas); inmediatamente sacó el “consensus” que es la forma consenso de entre todos los especímenes analizados (son los promedio de los puntos de referencia de las configuraciones) (Torcida & Perez, 2012; Zelditch, Swiderski & Sheets, 2012). El mismo programa permitió visualizar las variaciones en la forma del espécimen, tanto desde un análisis de componentes principales, como desde las laminillas de formación (proyección de la variabilidad de la forma de los organismos); es decir, desde los extremos posibles que presentan la forma en el grupo de fotografías que fueron analizadas, presentando mayor espacio aquellos que tienen mayor crecimiento y menor espacio, menor crecimiento con su respectiva direccionalidad (Pérez, 2014; Medina, 2013) (Figura 6).

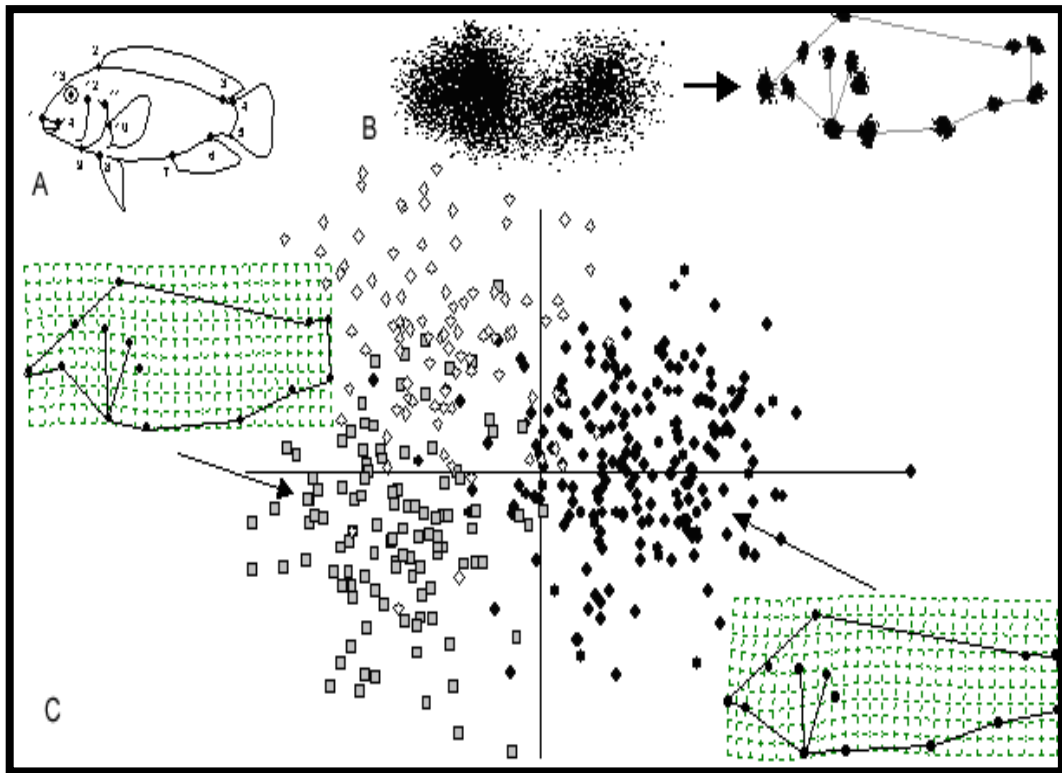


Figura 6. Laminilla de variación de la forma de crecimiento de los especímenes aplicando el tpsrelw32

Otra herramienta que se utilizó para el análisis fue el programa MorphoJ, que permitieron establecer la variación de la forma del cuerpo de cada uno de los especímenes de las cuatro especies que fueron seleccionadas y compararlas por grupos, en este caso según su procedencia.

Se realizaron análisis de variables canónicas a partir de los archivos TPS del programa tpsDig 2.32 y el archivo “txt” que contenían los ID (número de espécimen) enlazados con los grupos de trabajo (zonas de muestreo), donde se relacionó 30 variables en el caso de las especies *B. atrocaudatus*, *B. dentex* y *R. altipinna* (15 en coordenadas del eje X y 15 coordenadas del eje Y; es decir, 2 por cada hito seleccionado); mientras que en *A. blombergi* se relacionó 28 variables (14 en coordenadas del eje X y 14 coordenadas del eje Y) y las expresó en dos dimensiones. Estos datos fueron alineados a través del Procrustes, que por medio de una matriz de covarianzas se logró obtener el centroide (coordenadas del tamaño promedio de todo el grupo de análisis), y finalmente se desplegaron gráficos en el cual se lograron visualizar patrones diferenciables en la

forma corporal entre los diferentes especímenes y ellos con relación a las tres zonas de muestreo (Kettenring, 1971).

Consideraciones generales para la conservación de los peces

Los especímenes motivo del análisis, luego de ser fotografiados, fueron regresados a las fundas ziploc que contienen el alcohol al 70%, según su zona de procedencia y número de colecta, y finalmente fueron depositados en un contenedor para ser ingresados y conservados en la colección del Museo Faunístico y Herbario PUCESE.

Análisis de Datos

Factor de condición de Fulton (*K*)

El factor de condición estableció el grado de bienestar o robustez de las especies de acuerdo a la zona donde habita (Ramos Cruz, 2009; Leyton et al., 2015). Para estimar dicha condición se realizó el cálculo del total de registros (*A. blombergi* = 178; *B. atrocaudatus* = 228; *B. dentex* = 97; *R. altipinna* = 347), y se aplicó la fórmula:

$$K = 100 \left(\frac{W}{L^3} \right)$$

K= factor de condición

W= peso corporal

L= longitud (mm)

Se realizó análisis de ANOVA de doble vía, que permitió establecer diferencias o no entre el estado de condición de las diferentes especies y su presencia según hayan sido colectadas en la zona alta, media o baja.

Relación de la forma con los diferentes puntos de muestreo

Se realizó un análisis de variables canónicas a partir de los archivos TPS, donde se relacionó 30 variables en el caso de las especies *B. atrocaudatus*, *B. dentex* y *R. altipinna*; mientras que en *A. blombergi* se relacionó 28 variables. Estos datos permitieron generar un gráfico en el cual se visualizó los patrones diferenciables en la forma corporal entre los diferentes especímenes y ellos con relación a las tres zonas de muestreo (Kettenring, 1971). Posteriormente se realizaron análisis de comparación múltiple, con la finalidad de evaluar las diferencias de las cuatro especies con respecto a cada área estudio y así comprender su significación, utilizando los datos del procruster (30 variables para *B. atrocaudatus*, *B. dentex* y *R. altipinna*; y 28 variables para *A. blombergi*) para cada una de las coordenadas geométricas de la forma, agrupados según sean zona de muestreo parte alta, media o baja. (Vicéns, Herrarte & Medina, 2005),

Para establecer la relación entre los parámetros ambientales con los biológicos se realizaron análisis multivariantes: de componentes principales para entender el estado de condición (relación talla-peso) en las diferentes zonas del río; de correspondencia canónica para relacionar los principales parámetros físico-químicos con la abundancia de especies en las diferentes zonas del río.

3. ANALISIS DE RESULTADOS

Caracterización del área de estudio

En la (tabla 2) se detalla las características de cada una de las zonas donde se realizaron los muestreos (ver fotos en Anexo I). En la zona alta Morachigüe el ancho del río es menor pero con presencia de pozas de mediana profundidad, con un sustrato principalmente de roca, grava y limo, es un lugar semi-boscoso con presencia de sembrío y pastizal en las riberas del río; la zona media de Tabiazo se presenta con otro tipo de condición, aumenta el ancho del río la cual está compuesta de grava, arena y limo, se trata de una zona abierta con poca vegetación debido a la intervención de los núcleos poblacionales asentadas a los alrededores, durante los seis meses de muestreo se observó que el lavado de ropa es muy frecuente, como también el bañarse con lo cual se presentaba, en la parte superficial, gran cantidad de espuma; finalmente, la zona baja ubicada en el puente de San Rafael se caracterizó por tener un mayor ancho y poca profundidad en comparación a las dos zonas, debido a su condición de zona de planicie con sustrato principalmente de arena y limo, con escasa presencia de vegetación ya que ha sido removida por los asentamientos humanos, convirtiendo el lugar zonas netamente urbanas, y donde además vierten sus desechos vertidos y sólidos al río, presentando toda esta zona olores desagradables.

Tabla 2. Caracterización de las zonas durante el tiempo de muestreo.

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

Tipo de sustrato: R= rocoso; Arn= arenoso; Lim= limoso; Arc= arcilloso; G= grava

Vegetación circundante: SB= semi-boscoso; S= sembio; P= pastizal; O= otros (construcción, etc)

Tipo de agua (transparencia): Clara, semi-clara, semi-turbia, Turbia.

Análisis físico-químicos

En la Figura 7, se observa que la conductividad, los sólidos totales disueltos aumentan a medida que se desciende a las zona baja del puente San Rafael, el oxígeno varía en las tres zonas, sin embargo se refleja mayor oxígeno en zonas altas y media; mientras que la temperatura aumenta en la zona media y baja.

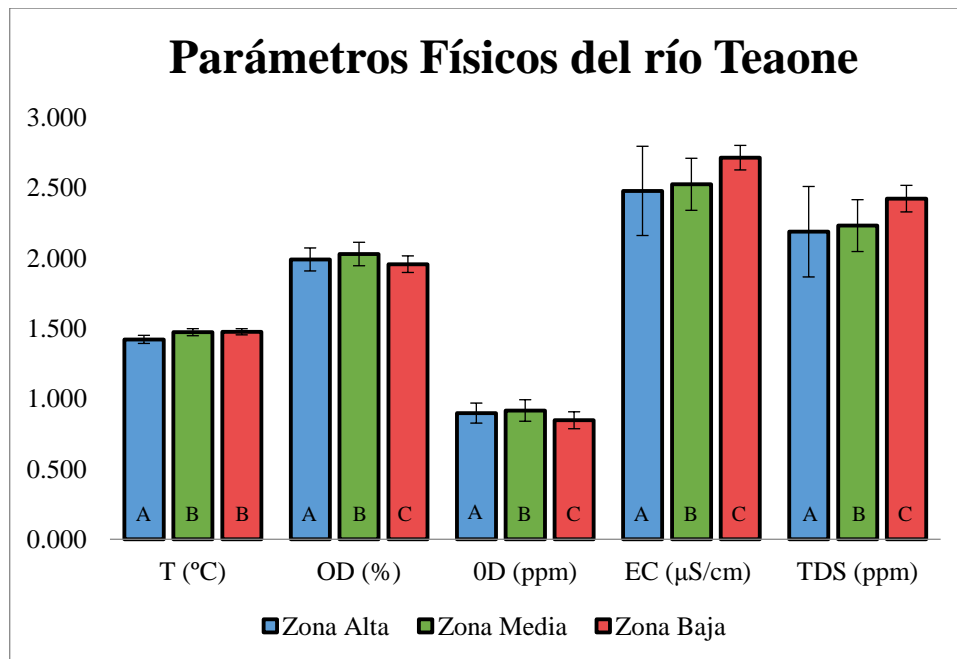


Figura 7. Valores absolutos del log10 de los promedios de los parámetros físicos de las tres zonas de estudio del río Teaone, durante los seis muestreos realizados. Una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Se indica intervalo de confianza al 95%

Análisis químicos

Según muestra en la Figura 8, se observa que la alcalinidad es diferentes en las tres zonas, siendo mayor en zonas altas, misma que va disminuyendo a medida que desciende hacia zonas bajas; mientras que la turbidez, sólidos totales en suspensión y la dureza son mayores en la zona baja existe también mayor dureza, sólidos en suspensión y turbidez del agua en la zona baja, sector San Rafael, el pH presenta estabilidad a pesar de presentar pequeñas variaciones; y el Fosfato no muestra un patrón definido.

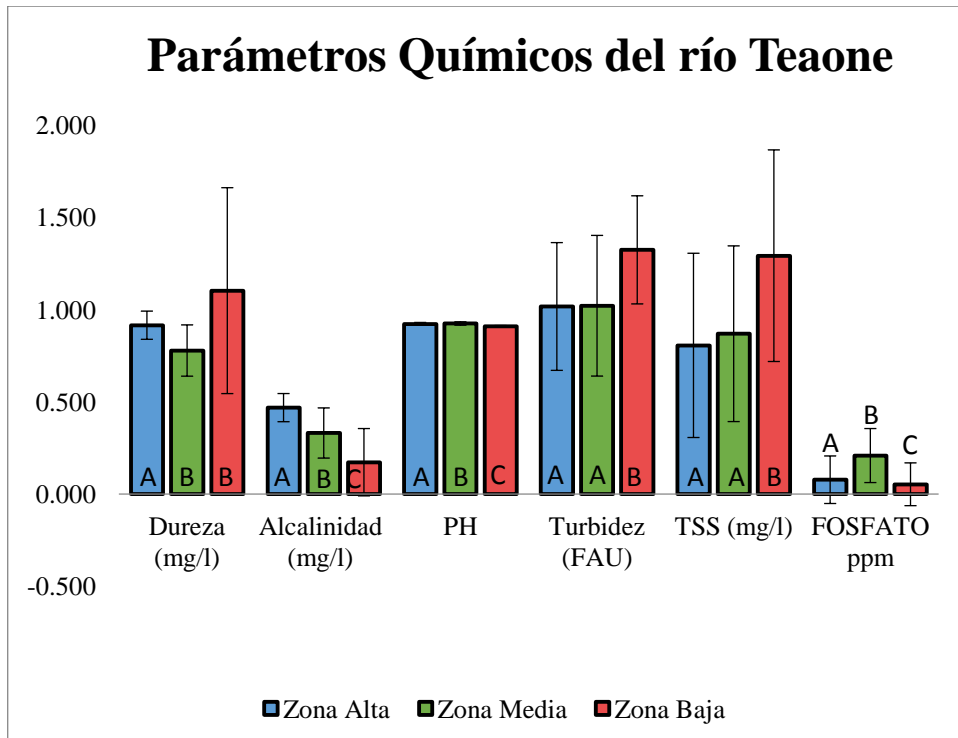


Figura 8. Valores absolutos del log10 de los promedios de los parámetros Químicos de las tres zonas de estudio del río Teaone, durante los seis muestreos realizados. Una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Se indica intervalo de confianza del 95%.

En la Figura 9, se observa mayor concentración de cromo en zonas media y baja; mientras que el Nitrito refleja mayor concentración en zonas altas y media. Sin embargo el Hierro no refleja un patrón definido.

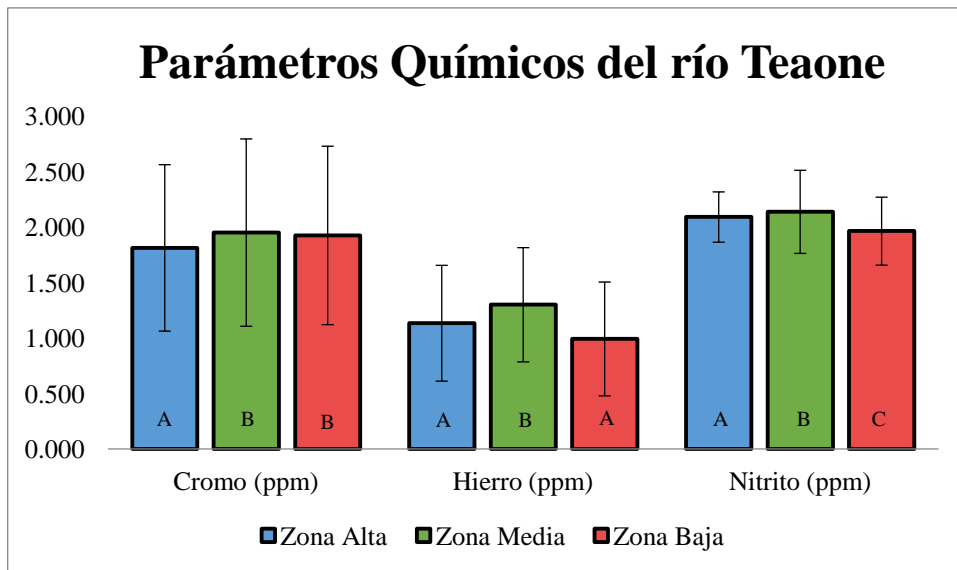


Figura 9. Valores absolutos del log10 de los promedios de los parámetros Químicos de las tres zonas de estudio del río Teaone, de los seis muestreos realizados. Una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Se indica intervalo de confianza al 95%.

Análisis de capturas

En las seis campañas de muestreo se capturaron un universo de 851 individuos de las cuatro especies a ser analizadas. En la Figura 10, aparece la abundancia de peces atrapados durante todos los muestreos, en consideración a las zonas de muestreo definidas, de esta figura se desprende que *Rhoadsia altipinna* sería la especie más abundante y *Brycon dentex* la de menor abundancia relativa. Tanto *Andinoacara blombergi* y *R. altipinna* exhiben una clara relación decreciente entre la zona alta y la zona baja, mientras que en *B. dentex* es inversa; *Brycon atrocaudatus* no presentarían un patrón definido con relación a su distribución altitudinal.

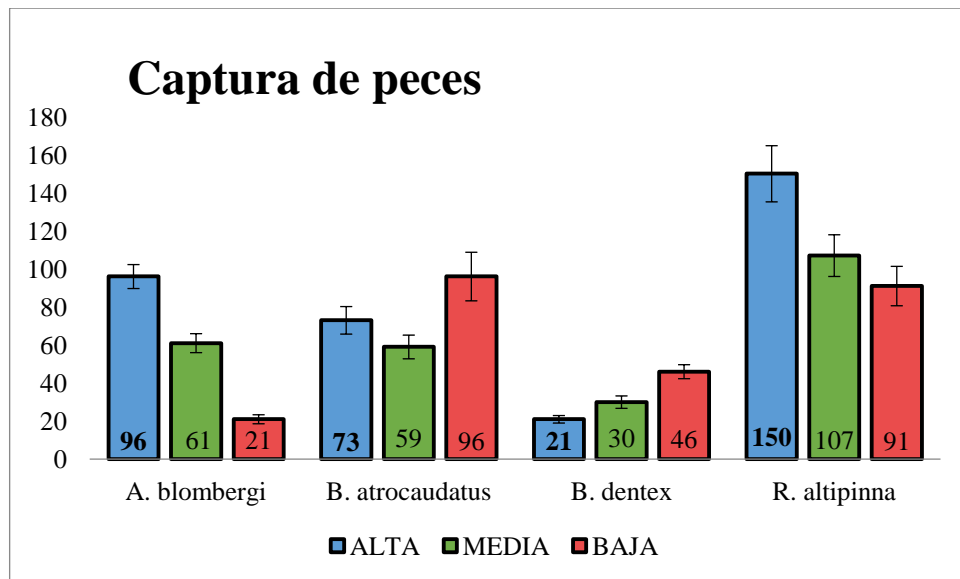


Figura 10. Abundancia total de individuos capturados de las tres zonas de estudio del río Teaone, durante los seis muestreos realizados. Se indica intervalo de confianza al 95%.

Factor de condición

En cuanto al Factor de condición de Fulton (K), que relaciona la longitud con el peso, para cada uno de los especímenes; de acuerdo al análisis ANOVA, *A. blombergi* si demostró tener diferencias significativas entre su condición en la zona baja en donde presentan cuerpo con menor tamaño y peso en comparación con la zona alta y media que se encuentran individuos de mayor tamaño ($F_{2,175} = 8.69$, $p < 0.05$). Lo mismo ocurre con *B. atrocaudatus* ($F_{2,225} = 11,37$, $p < 0.05$); sin embargo, especies como *B. dentex* reflejan que no existen diferencias ($F_{2,94} = 1.66$, $p > 0.05$) al igual que *R. altipinna* ($F_{2,344} = 0,24$, $p > 0.05$). Cabe mencionar que a pesar de no existir diferencias de *B. dentex* y *R. altipinna* con respecto a la talla y peso, igual estas cuatro especies presentan la misma tendencia que en zonas altas están aquellos individuos que presentan mejor condición en cuando a la talla y peso y a medida que se desciende hacia la zona baja van disminuyendo su talla (Figura 11).

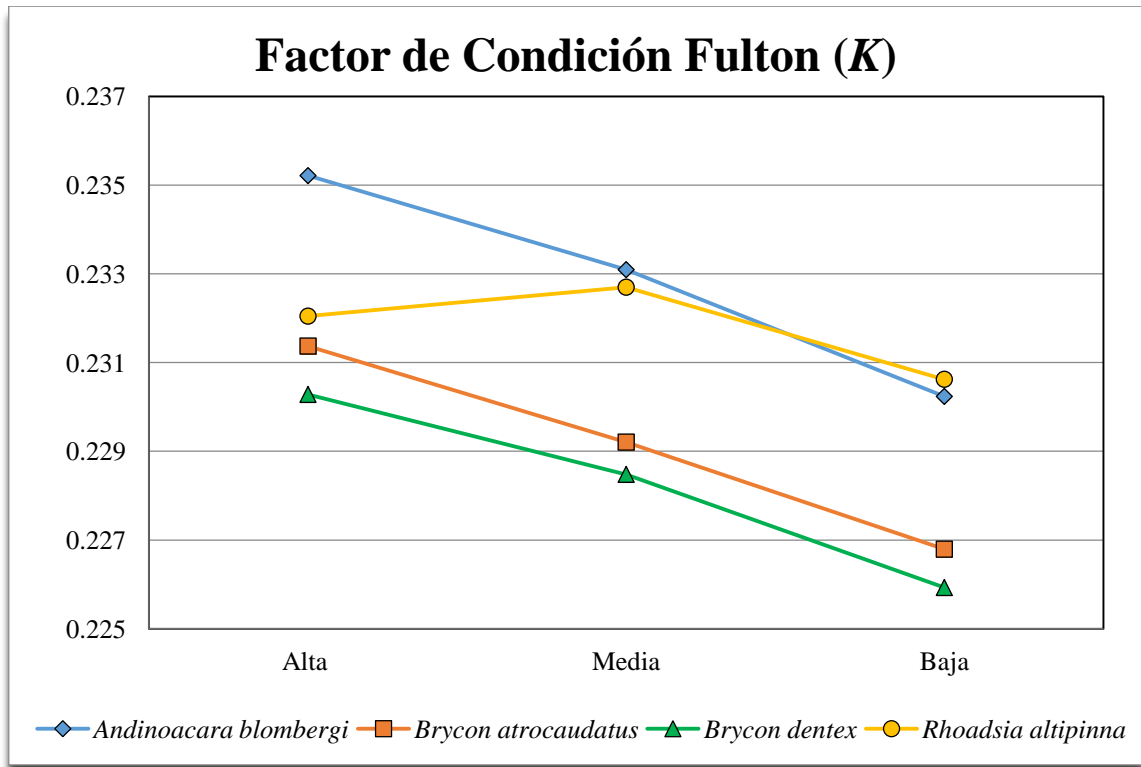


Figura 11. Gráfica de dispersión del factor de condición (K) en función al promedio de las especies en diferentes zonas de muestreo.

Análisis morfométricos de peces seleccionados

Andinoacara blombergi

De acuerdo a la laminilla de deformación en la CV1, que se observa en el análisis de variación canónica (Figura 14), describe variación en la región cefálica (Hito 2) y el hocico (Hito 1). Los especímenes de la zona alta hacia la derecha del CV1, presentan un retroceso y reducción a nivel cefálico; además presenta alargamiento del hocico; mientras que hacia la izquierda del CV1 los especímenes de la zona baja, presentan la región cefálica adelantada (Figura 12).

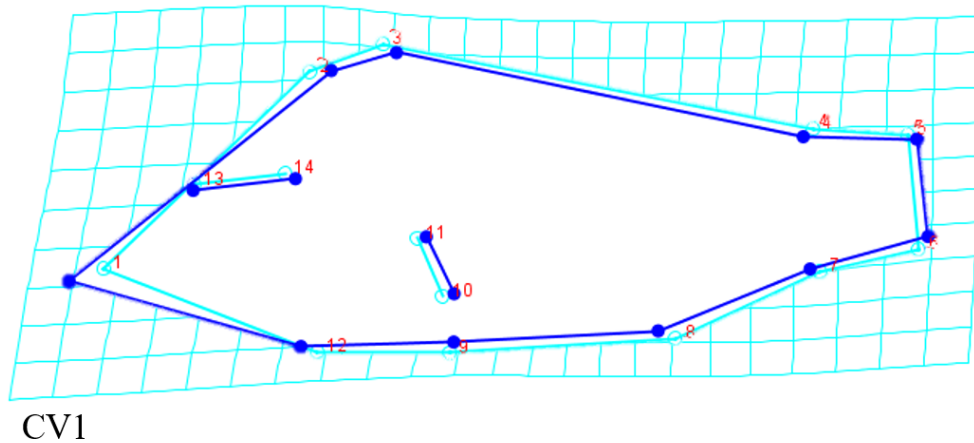


Figura 12. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV1) de *Andinoacara blombergi*, comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro).

El CV2 por otro lado, describe principalmente una variación en la altura del pedúnculo caudal (Hito 5-6) y el hocico (Hito 1), donde en el eje superior se encuentran los especímenes de la zona baja quienes presentan un pedúnculo caudal más ancho con reducción del hocico, en comparación a la zona media del eje negativo cuyos especímenes presentan el pedúnculo algo más bajo en comparación a la zona baja (Figura 13).

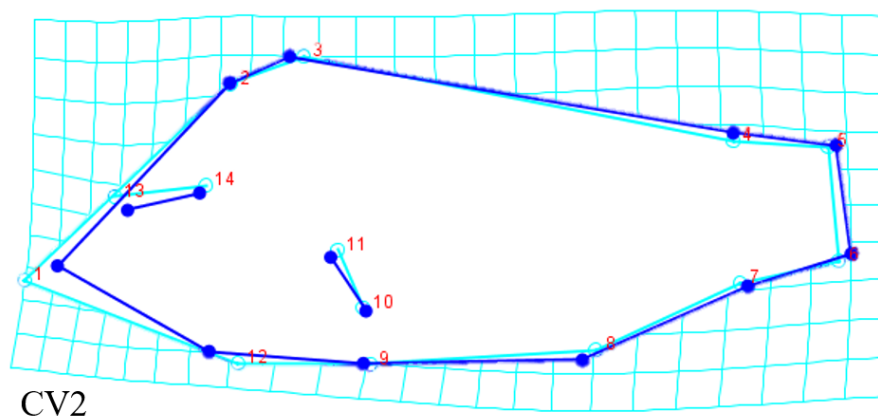


Figura 13. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV2) de *Andinoacara blombergi*, comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro).

El análisis de variantes canónicas (Figura 14), confronta en dos dimensiones el 100 % de la varianza (la variable canónica 1 (CV1) con el 71,0 % y la variable canónica 2 (CV2) con el 28,9 %; es decir casi el 100 % de la variabilidad). Reflejando mediante elipses la direccionalidad de los individuos que presentan mayor variación corporal.

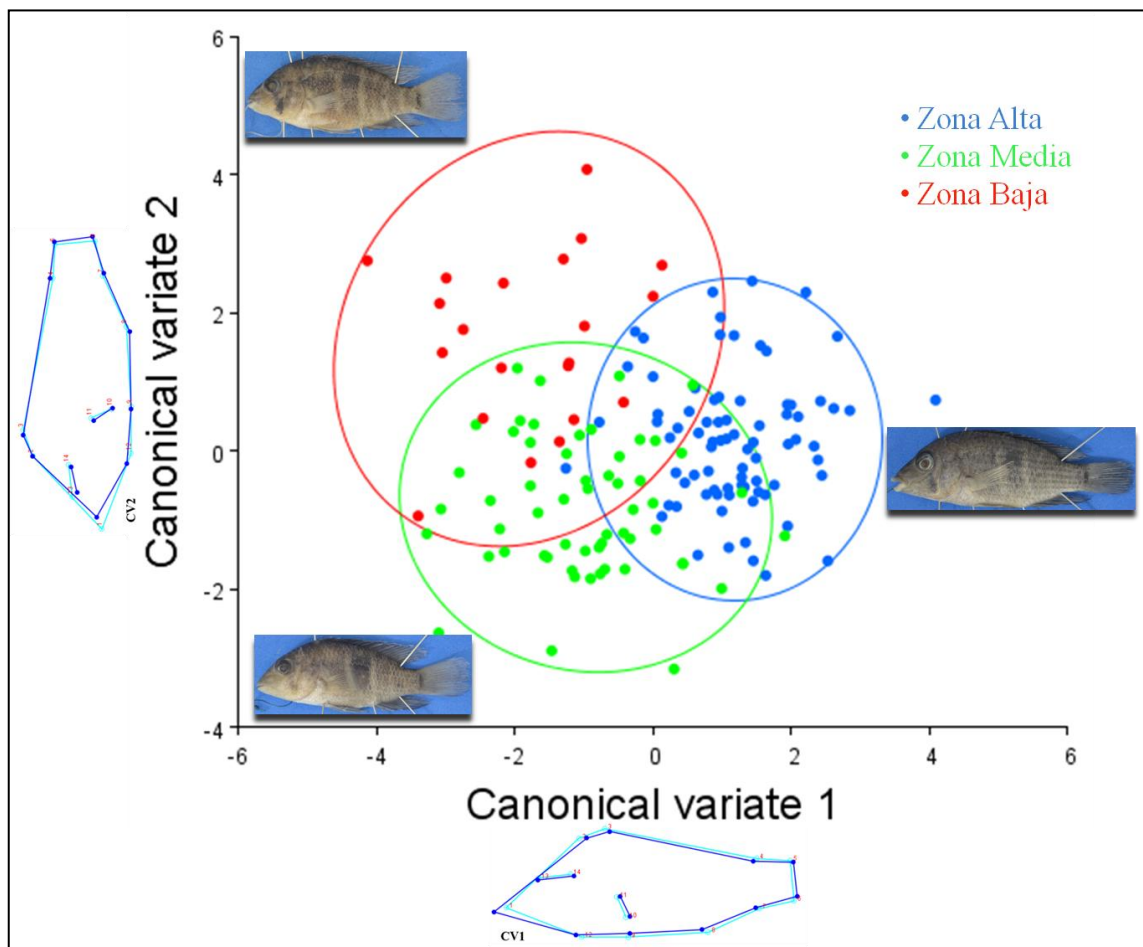


Figura 14. Se muestran los análisis de la Variable Canónica (CVA) de los datos de la forma corporal de la *Andinoacara blombergi*, los puntos representan los individuos y las elipses muestran la dispersión de la forma de los individuos en las tres zonas de muestreo (los extremos representan mayor variación morfológica).

Al hacer un análisis de comparaciones múltiples, asociado a la forma procruster para cada una de las zonas, se evidenciaron diferencias significativas en los resultados ($F = 3,26$; $P < 0,05$) (Tabla 3), se comprobó que existen diferencias significativas en la forma de *A. blombergi* entre las tres zonas de muestreo.

Tabla 3. Análisis de comparaciones múltiples para *Andinoacara blombergi* de acuerdo a la zona de muestreo.

	Alta	Media	Baja
Alta	0	4,50043E-10	1,08637E-07
Media	4,50043E-10	0	0,0283827
Baja	1,08637E-07	0,0283827	0

Brycon atrocaudatus

De acuerdo a la laminilla de deformación en la CV1, que se observa en el análisis de variación canónica (Figura 17) presentan variaciones en la región cefálica (Hito 2) y el hocico (Hito 1), se determina que, los especímenes de la zona alta y media hacia la derecha del CV1, presentan mayor tendencia en la altura del cuerpo a nivel cefálico y un alargamiento del hocico; mientras que a la izquierda del CV1 los especímenes de la zona baja, presentan reducción de la altura del cuerpo a nivel cefálico y una reducción del hocico (Figura 15).

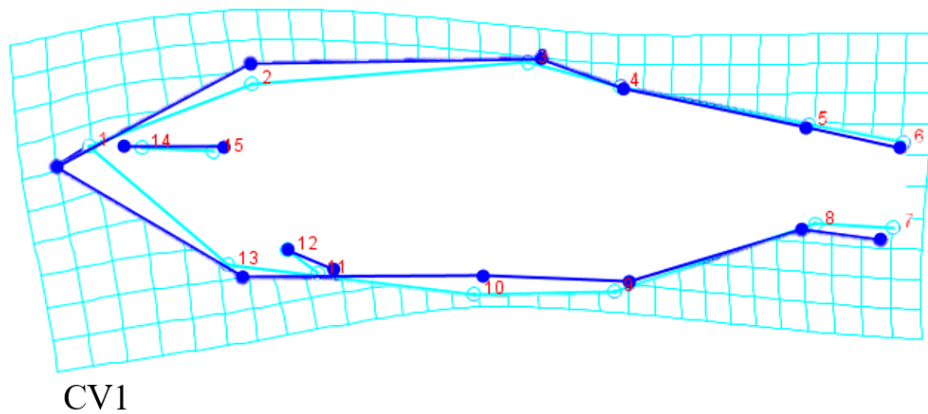


Figura 15. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV1) de *Brycon atrocaudatus*, comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro).

El CV2 por otro lado, describe principalmente una variación en el alto del origen anterior y posterior de la aleta dorsal (Hito 3 - 4), donde en el eje superior se encuentran los especímenes de la zona alta quienes presentan el origen anterior de la aleta dorsal con mayor altura en comparación a la zona media del eje negativo cuyos especímenes presentan el origen anterior de la aleta dorsal algo más bajo en comparación a la zona alta (Figura 16).

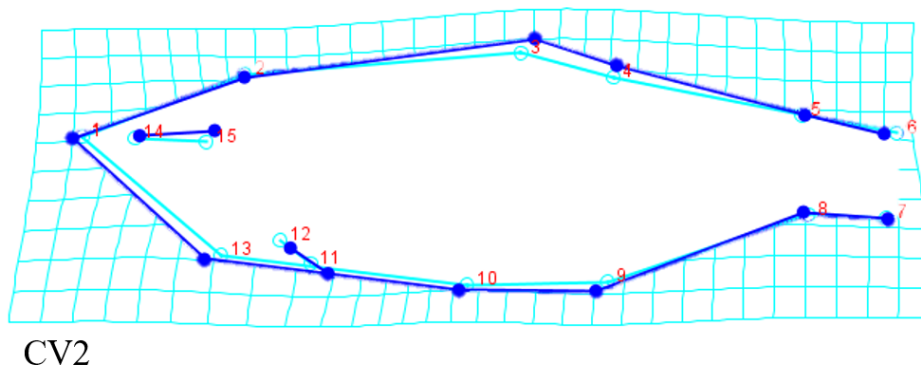


Figura 16. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV2) de *Brycon atrocaudatus*, comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro).

El análisis de variantes canónicas (Figura 17), confronta en dos dimensiones el 100 % de la varianza (la variable canónica 1 (CV1) con el 73,4 % y la variable canónica 2 (CV2) con el 26,5 %; es decir casi el 100 % de la variabilidad). Reflejando mediante elipses la direccionalidad de los individuos que presentan mayor variación corporal.

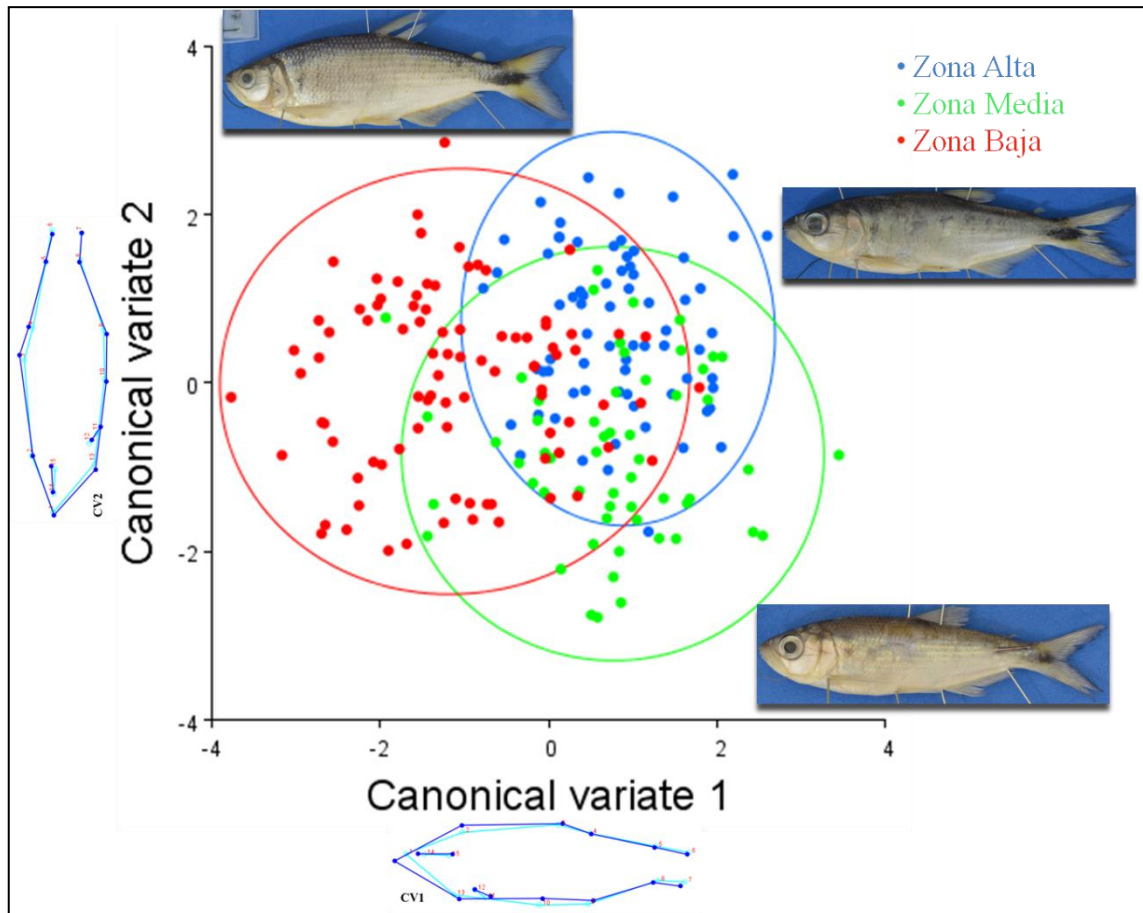


Figura 17. Se muestran los análisis de la Variable Canónica (CVA) de los datos de la forma corporal de *Brycon atrocaudatus*, los puntos representan los individuos y las elipses muestran la dispersión de la forma de los individuos en las tres zonas de muestreo (los extremos representan mayor variación morfológica)

Al hacer un análisis de comparaciones múltiples, asociado a la forma procruster para cada una de las zonas, se evidenciaron diferencias significativas en los resultados ($F = 1,43$; $p < 0,05$) (Tabla 4), se comprobó que existen diferencias significativas en la forma de *B.atrocaudatus* entre las tres zonas de muestreo.

Tabla 4. Análisis de comparaciones múltiples para *Brycon atrocaudatus* de acuerdo a la zona de muestreo.

	Alta	Media	Baja
Alta	0	0,0164228	3,06278E-07
Media	0,0164228	0	2,03194E-06
Baja	3,06278E-07	2,03194E-06	0

Brycon dentex

De acuerdo a la laminilla de deformación en la CV1, que se observa en el análisis de variación canónica (Figura 20) presenta ligeras variaciones en la longitud del hocico (Hito 1), altura a nivel cefálico (Hito 2), determinando que, los especímenes de la zona alta y media hacia la derecha del CV1, presentan ligero alargamiento del hocico; levantamiento a nivel cefálico; mientras que hacia la izquierda del CV1 los especímenes de la zona baja, presentan una reducción del hocico y región cefálica (Figura 18).

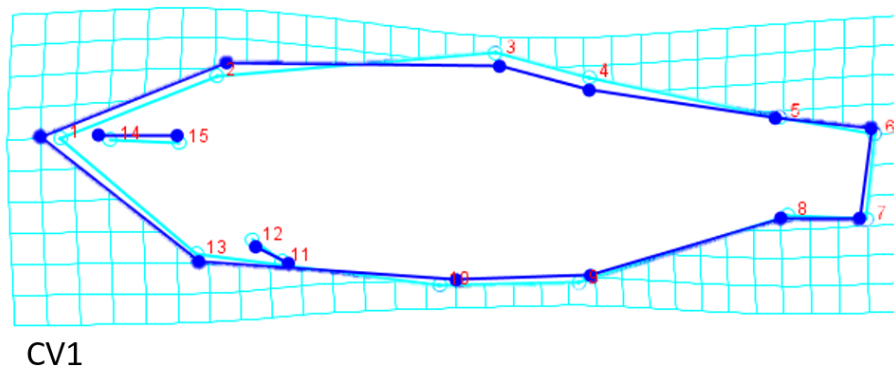


Figura 18. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV1) de *Brycon dentex*, comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro).

El CV2 por otro lado, describe principalmente una ligera variación en la altura entre el origen anterior y posterior de la aleta dorsal (Hito 3 - 4) y el origen anterior de la aleta anal (Hito 9) y el origen anterior de la aleta ventral izquierda (Hito 10), donde en el eje superior se encuentran los especímenes de la zona alta quienes presentan mayor altura con respecto a la aleta dorsal y anal, en comparación a la zona media del eje negativo cuyos especímenes presentan la aleta dorsal y anal más comprimidas en comparación a la zona alta (Figura 19).

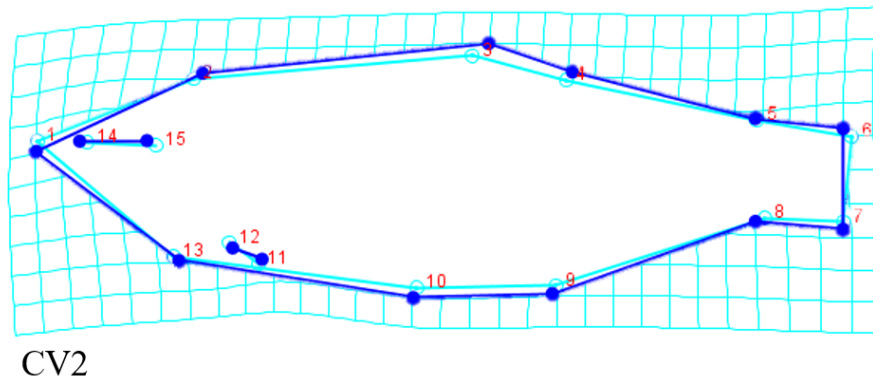


Figura 19. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV2) de *Brycon dentex*, comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro).

El análisis de variantes canónicas (Figura 20), confronta en dos dimensiones el 100 % de la varianza (la variable canónica 1 (CV1) con el 84,2 % y la variable canónica 2 (CV2) con el 15,7 %; es decir casi el 100 % de la variabilidad). Reflejando mediante elipses la direccionalidad de los individuos que presentan mayor variación corporal.

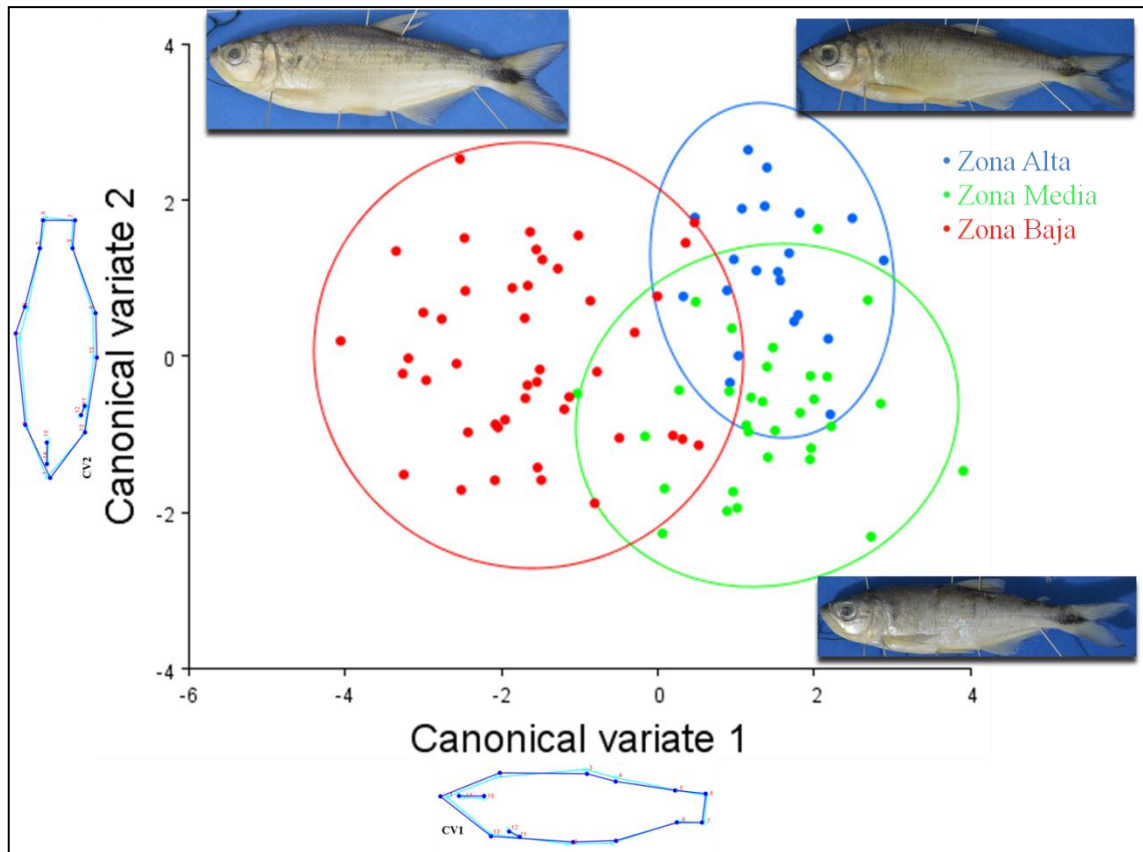


Figura 20. Se muestran los análisis de la Variables Canónica (CVA) de los datos de la forma corporal en *Brycon dentex*, los puntos representan los individuos y las elipses muestran la dispersión de la forma de los individuos en las tres zonas de muestreo (los extremos representan mayor variación morfológica)

Al hacer un análisis de comparaciones múltiples, asociado a la forma procruster para cada una de las zonas, si se evidenciaron diferencias significativas en los resultados ($F = 2,24$; $p < 0,05$) (Tabla 5), se comprobó que existen diferencias significativas en la forma de *B.dentex* de la zona alta y media con respecto a la zona baja.

Tabla 5. Análisis de comparaciones múltiples para *Brycon dentex* de acuerdo a la zona de muestreo.

	Alta	Media	Baja
Alta	0	1	0,00282734
Media	1	0	8,00618E-05
Baja	0,00282734	8,00618E-05	0

Rhoadsia altipinna

De acuerdo a la laminilla de deformación en la CV1, que se observa en el análisis de variación canónica (Figura 23) se observa variaciones en la posición del hocico y en la altura del cuerpo a nivel anterior y posterior de la aleta dorsal (Hito 3 - 4), en el origen anterior de la aleta anal (Hito 9) y en el origen anterior de la aleta ventral izquierda (Hito 10). Se determina que, los especímenes de la zona alta hacia la derecha del CV1, presentan una reducción de la altura del cuerpo a nivel del origen anterior y posterior de la aleta dorsal, y reducción a nivel del origen anterior de la aleta anal y la aleta ventral izquierda y un alargamiento del hocico dirigido hacia abajo ; mientras que hacia la izquierda del CV1 los especímenes de la zona baja, presentan mayor altura del cuerpo debido al aumento de tamaño a nivel de la aleta dorsal, del origen de la aleta anal y de la aleta ventral, con una reducción del hocico (Figura 21).

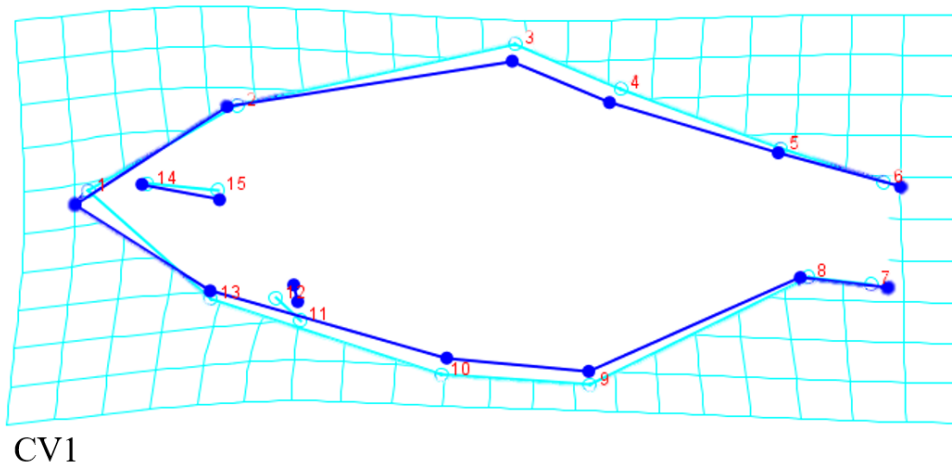


Figura 21. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV1) de *Rhoadsia altipinna*, comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro).

El CV2 por otro lado, describe principalmente una variación del extremo postro-ventral de la cabeza (Hito 13) y el alto del pedúnculo caudal (Hito 6 - 7), donde en el eje superior se encuentran los especímenes de la zona baja quienes presentan un pedúnculo algo bajo y el extremo postro-ventral de la cabeza reducida en comparación a la zona

media del eje negativo cuyos especímenes presentan el pedúnculo algo más alto y el extremo postro-ventral más alto en comparación a la zona baja (Figura 22).

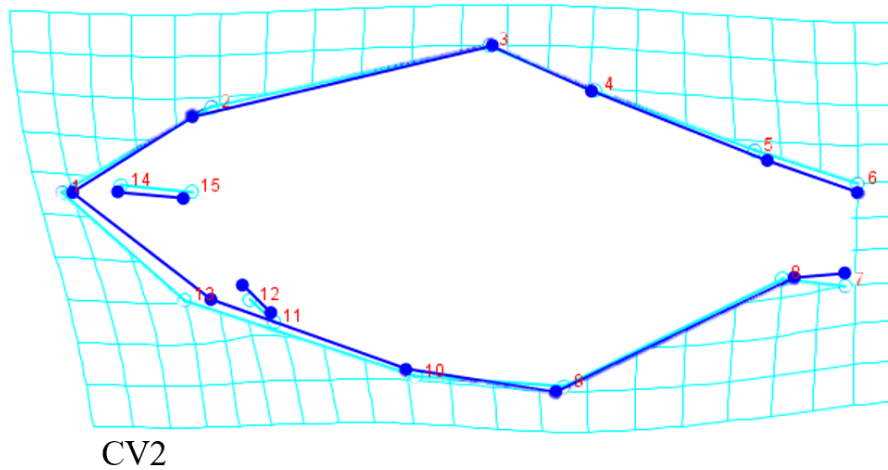


Figura 22. Laminilla de deformación de la variación del componente (CV2) de *Rhoadsia altipinna*, comparando el contorno de la configuración consenso (color azul claro) y el desplazamiento basado en la divergencia corporal (color azul oscuro).

El análisis de variantes canónicas (Figura 23), confronta en dos dimensiones el 100 % de la varianza (la variable canónica 1 (CV1) con el 75,0 % y la variable canónica 2 (CV2) con el 24,9 %; es decir casi el 100 % de la variabilidad). Reflejando mediante elipses la direccionalidad de los individuos que presentan mayor variación corporal.

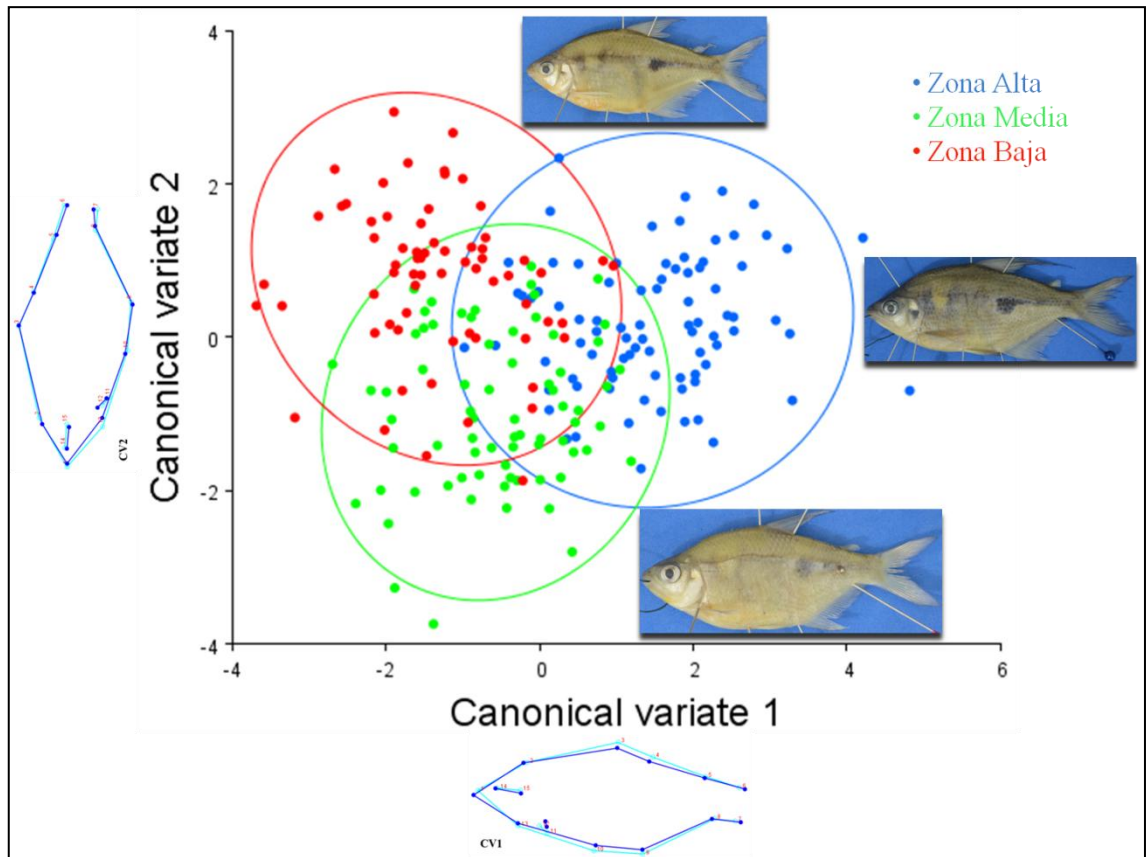


Figura 23. Se muestran los análisis de la Varianza Canónica (CVA) de los datos de la forma corporal de *Rhoadsia altipinna*, los puntos representan los individuos y las elipses la dispersión de la forma de los individuos en las tres zonas de muestreo (los extremos representan mayor variación morfológica)

Al hacer un análisis de comparación múltiple, asociado a la forma procruster para cada una de las zonas, se evidenciaron diferencias significativas en los resultados ($F = 1,00$; $P < 0,05$) (Tabla 6), se comprueba que existe diferencias significativas de la forma de *R. altipinna* en las tres zonas de muestreo.

Tabla 6. Análisis de comparaciones múltiples para *Rhoadsia altipinna* de acuerdo a la zona de muestreo.

	Alta	Media	Baja
Alta	0	1,6571E-18	1,54654E-17
Media	1,6571E-18	0	1,04515E-05
Baja	1,54654E-17	1,04515E-05	0

Análisis de correspondencia canónica comparado con los parámetros ambientales.

La Figura 24, refleja la correlación existente entre los parámetros ambientales y la distribución de las especies en las diferentes zonas de estudio. En el primer eje hacia la derecha muestra que las zonas alta y media presenta mayor frecuencia *A. blombergi* y *R. altipinna* se distribuye normalmente en las tres zonas; mientras que el eje izquierdo presenta mayor frecuencia de *B. atrocaudatus* y *B. dentex* en la zona baja. El componente 2, en el eje superior refleja que a partir de la zona media la temperatura va ascendiendo a medida que se dirige hacia la zona baja, y en el eje inferior determina la relación de *A. blombergi* y *R. altipinna* que se encuentran mayormente influenciadas por la alcalinidad y la *B. atrocaudatus* y *B. dentex* están influenciadas por parámetros como turbidez, TSS, EC, Nitrito y Hierro.

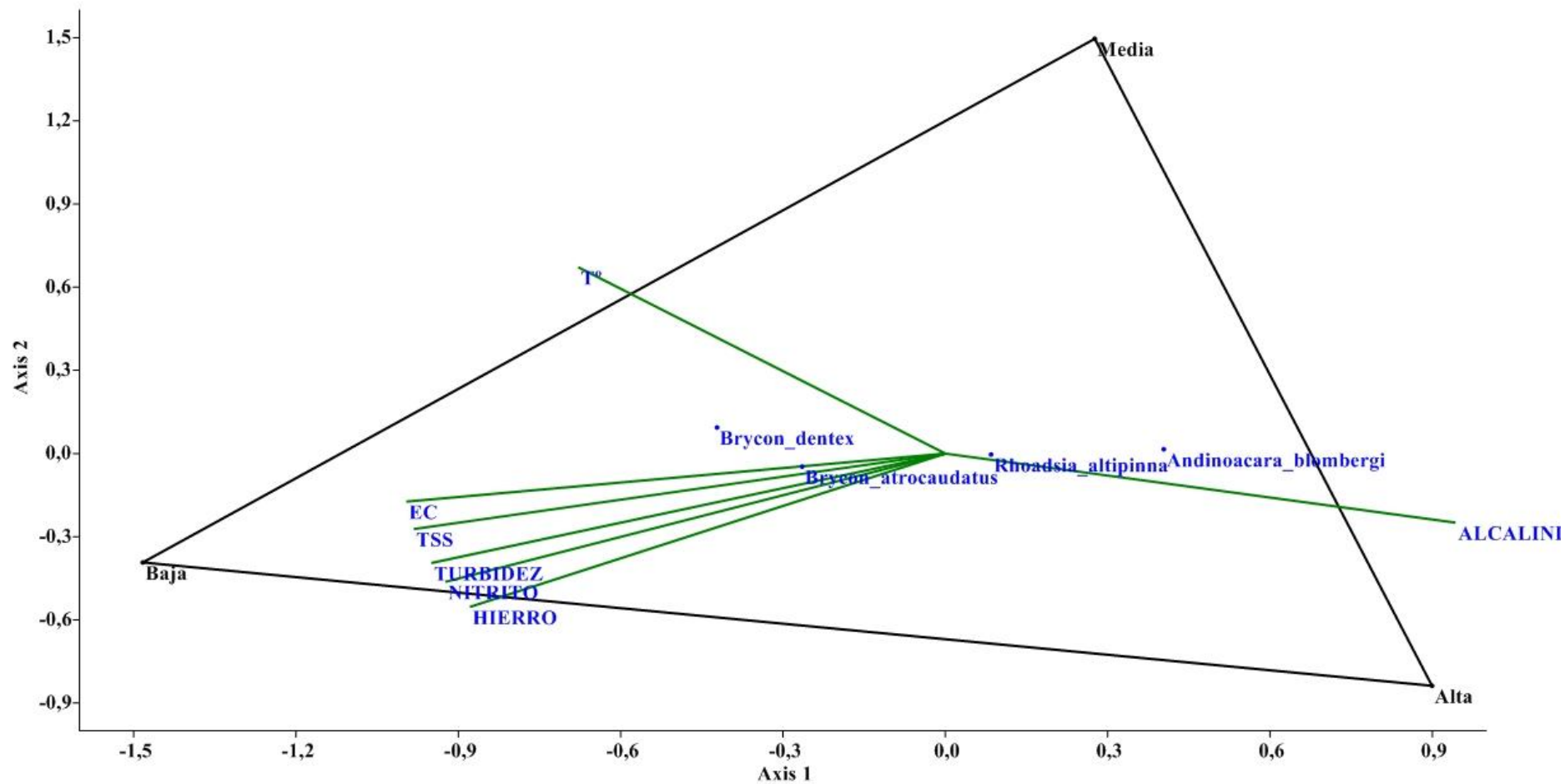


Figura 24. Análisis de correspondencia canónica de los datos de la abundancia total de cada especie relacionada con los promedios de los parámetros ambientales.

Análisis de componentes principales relacionadas con el factor de condición y el log centroide.

La Figura 25, expresa la relación entre las frecuencias de las diferentes especies, la talla, el peso, el log. centroide y el estado de condición de las especies en las diferentes zonas de estudio. Desde la perspectiva de condición de las 4 especies, se refleja en el componente 1 hacia la izquierdo que *A. blombergi* y *R. altipinna* presentan mejor estado de condición sobre todo en las zonas alta y media; mientras hacia la derecha las especies *B. atrocaudatus* y *B. dentex* muestran un menor estado de condición en partes bajas; por otro lado el componente 2 refleja en la parte superior que las *B. atrocaudatus* y *B. dentes* presentan mayor talla en las zonas alta y media y menor talla en zona baja; sin embargo en especies como *A. blombergi* y *R. altipinna* es inverso ya que en zonas bajas tienen mayor talla en comparación a las partes altas.

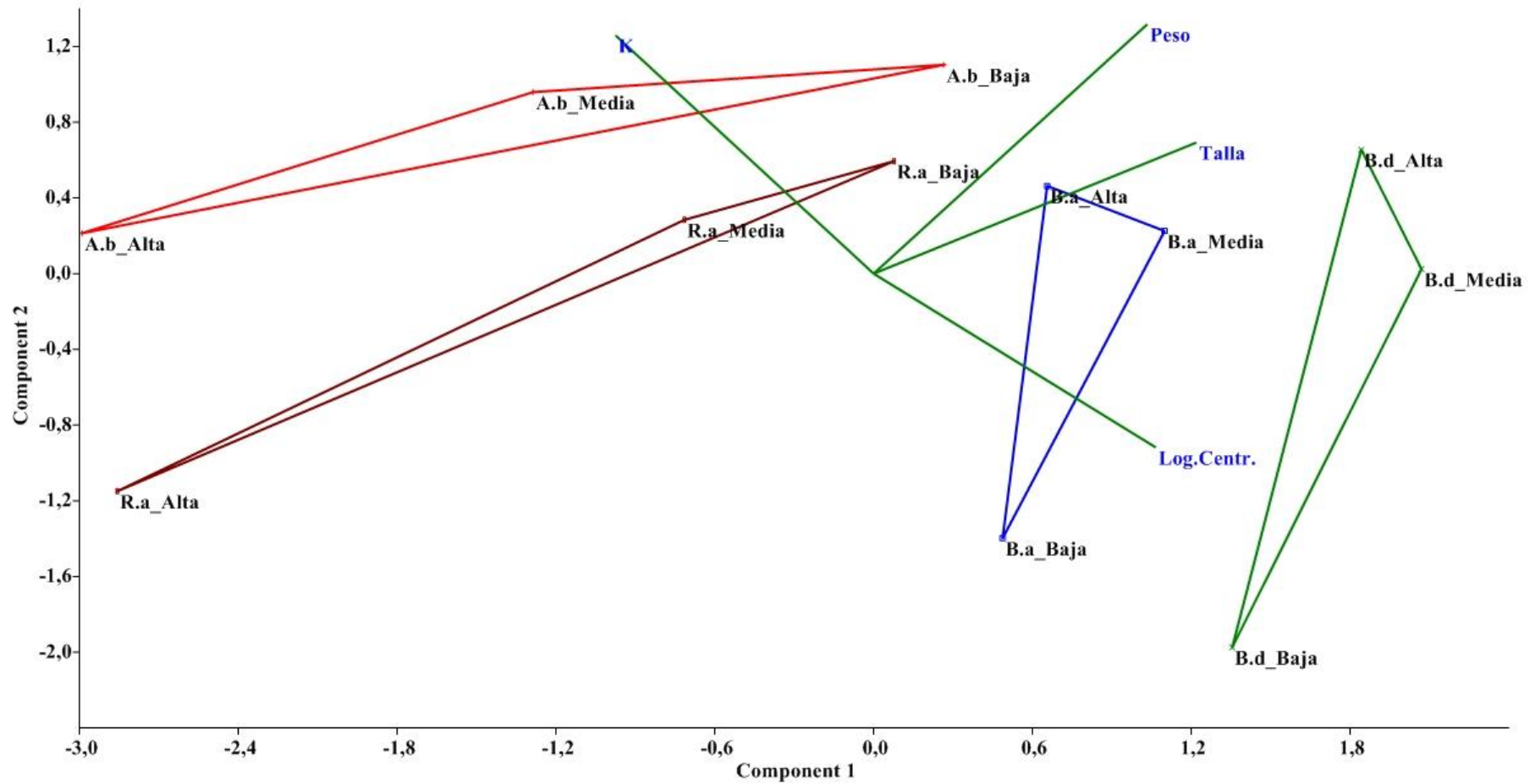


Figura 25. Análisis de componentes principales correlacionadas con los promedios de las condiciones ambientales, talla y peso, y el log. centroide.

Análisis de deformación

Aunque no se tomaron en cuenta los peces que presentaron algún tipo de lesión y deformación para el análisis morfométrico, ya que el estudio se basa en la variación de la forma y no en problemas patológicos; es importante dar a conocer que durante los muestreos realizados; se registraron especímenes con anomalías, en los meses de agosto y septiembre. En el mes de septiembre en la comunidad de Tabiazo (zona media) se evidencio la presencia de un espécimen de *Brycon atrocaudatus* con torcedura ósea a nivel del premaxilar (mandíbula superior), se desconoce la causa u origen y mucho menos si tiene alguna relación con las condiciones ambientales (ver fotos en anexo III); sin embargo, se encontró en el sector de San Rafael, en los meses de agosto y septiembre (dos muestreos aislados) dos individuos de la misma especie con mal formaciones en la columna vertebral (ver fotos en anexo III), lo que genera indicios de mayor perturbación en el agua en este sector.

4. DISCUSIÓN

Este estudio describe el contraste biológico y ambiental de poblaciones de peces del río Teaone, aportando información de aspectos teóricos y metodológicos, de la morfometría geométrica (MG), permitiendo así respaldar la hipótesis que, existe diferencias biológicas entre las poblaciones según habiten un lugar con menor o mayor impacto humano.

Los resultados obtenidos de los respectivos análisis de parámetros ambientales durante los meses de abril a septiembre de 2017, de acuerdo al TULSMA, (2003) no reflejan valores mayores a los establecidos en el Libro VI, Anexo 1, Tabla 3 y 12 de los límites máximos permisibles según el criterio de calidad de agua. Sin embargo, dentro de la MG se evidencia que la cuenca del Teaone está determinando un cambio en el desarrollo morfológico de los organismos acuáticos a lo largo de su trayectoria, según Perry & Laurent, (1993); Casatti & Castro, (2006) estos cambios morfológicos se derivan de un ajuste en la función branquial que les permite adaptarse a los cambios ambientales. De acuerdo a los resultados del estudio de Granda & Montero, (2015), da a conocer que la plasticidad fenotípica se da como respuesta a las variaciones ambientales como el cambio del pH, temperatura y la concentración de oxígeno que presente los ecosistemas loticos y lenticos, de manera que los peces logren facilitar su adaptación ante el medio circundante. Se expresa además en la abundancia relativa, como al menos tres de las cuatro especies de estudio va disminuyendo hacia la parte baja; mientras que en zonas como Morachigüe y Tabiazo se reflejan condiciones todavía óptimas para el desarrollo de los peces al mantener el nivel equilibrado en el pH, la alcalinidad y el OD y como factor determinante la temperatura, para Tapia & Rodrigo, (2013) los peces toleran una limitada variación de lo que sería su temperatura óptima para el desarrollo de su comunidad.; permitiendo, entre otras cosas mayor abundancia relativa de individuos. Las familias Cichlidae y Characidae son tolerantes a determinados rango de calidad de agua, siendo las condiciones idóneas de desarrollo de diferentes especies $T^{\circ} \leq 28^{\circ} C$ (FishBase, 2018; Musilová et al., 2015). Larenas, (2014); Wijkmark, Kullander & Barriga, (2012) dan a conocer que especies como *A. blombergi* soporta ciertos rangos ambientales (pH = 6,5 – 7,5; $T^{\circ} = 24 - 28^{\circ} C$). Estudios realizado por Musilová et al., (2009, 2015) reveló que, la especie *Andinoacara stalsbergi* de la familia Cichlidae están bien adaptadas a aguas muy alcalinas y ricas en minerales disueltos.

Bajo la clasificación por zona, el análisis de morfométrico identificó las principales diferencias que presentan los individuos de cada especie; a pesar de que las elipeses no se mostraron completamente separadas, lo cual es comprensible ya que se trata de la misma especie habitando un mismo cauce, se puede apreciar una clara tendencia que muestra diferencias en la forma pura de las poblaciones según habiten una zona alta, de la media y de ellas con la parte baja. Las poblaciones que presentan cuerpos de mayor altura y alargamiento del hocico se encuentran en zonas altas y medias, lo cual puede ser explicado por encontrarse influenciadas principalmente por parámetros como la alcalinidad y OD; en comparación a la zona baja quienes presentan cuerpos más comprimidos con reducción del hocico influenciadas por los sólidos en suspensión, turbidez y conductividad eléctrica. Para Rahel, (1986) el oxígeno disuelto está relacionada con la producción y disponibilidad de alimento, manifestando Green & McCormick, (2005) que el oxígeno disuelto y la temperatura son importantes en el desarrollo de los peces, siendo el oxígeno un limitante en los diferentes hábitat, ya que este contribuye en los procesos bióticos (Ej. Respiración y fotosíntesis de las algas) y procesos abióticos (Ej. Corrientes y circulación del agua). De acuerdo al estudio realizado en Cíclidos en África por (Clabaut et al., 2007), da a conocer mediante un análisis comparativo entre ecología y la morfología, que existen diferencias en la longitud del cuerpo, en el tamaño de la cabeza y el pedúnculo caudal, y que esto se da como respuesta a la preferencia de alimento, la variación de temperatura y oxígeno lo cual afecta directamente en el rendimiento de los organismos, limitando su crecimiento, el metabolismo, la reproducción, el desarrollo y la distribución de las especies.

Andinoacara blombergi refleja adelanto a nivel de la región cefálica a medida que descendemos hacia la zona baja de la cuenca. Se considera que esta diferenciación de la forma que adopta *A. blombergi* está expresada como un mecanismo de resistencia frente al aumento de temperatura, debido a que se registro temperatura mayores de (29 °C) en zona baja, según Anastasiadi, Díaz & Piferrer, (2017) los pequeños incrementos de temperatura de 2 ° C pueden dar lugar a importantes cambios en los rasgos fenotípicos, sobre todo en la etapa de desarrollo de los peces, como consecuencia del cambio de la metilación del ADN. De acuerdo al estudio de Soria et al., (2011), da a conocer que la mayor variación de la forma se encuentra en la región cefálica, lo cual coincide con este estudio, y además expresa que dicha variación se desarrolla como un mecanismo adaptativa para la especie, Sin embargo para Breitburg, (2002) las

diferencias anatómicas observadas en el tamaño cefálico es el resultado de una adaptación, como consecuencia de las condiciones de oxigenación ya que la región cefálica requiere altas concentraciones de oxígeno para transportar a los órganos y tejidos de los organismos, otorgándoles a través del proceso metabólico mayor tamaño en dicha región. Esto se refuerza también cuando vemos que *A. blombergi* presenta mayor abundancia relativa y mejor estado de condición en zonas alta y media, áreas con menor perturbación, en comparación a la zona baja, área con mayor perturbación humana, debido a que se observo gran cantidad de materia orgánica e inorgánica. Rahel, (1986) expresa que en los lagos de baja alcalinidad se encuentran menos abundancia de peces, que aquellos que presentaban mayor grado de alcalinidad.

Por otro lado las especies *B. atrocaudatus* y *B. dentex* de acuerdo al análisis realizado presentan divergencia en los especímenes de las zonas alta y media, con presencia de hocico más largo con región cefálica levantada y cuerpos con mayor altura, en comparación a los de zona baja quienes presentan cuerpos más bajos, mismos que se encontraban influenciados por los sólidos en suspensión y turbidez. Bruton, (1985) manifiesta que las altas cargas de sólidos en suspensión influyen en los peces, causando una tasa de crecimiento reducido y disminución del tamaño, ya que al aumentar los sólidos en suspensión aumenta la turbidez y con ello disminuye la disponibilidad de alimento que es fundamental para el desarrollo de los peces. La dependencia de la disponibilidad de alimento fue demostrado inicialmente en ambientes marinos de las islas Shetland y en ríos del norte de Escocia, quedando asentado que la disponibilidad de alimento regula los aspectos de natalidad, mortalidad, abundancia y la condición corporal de los organismos (Kruuk, 1995; Prenda & Granado-Lorencio, 1996). Según Aguirre et al., (2016) establecen que las posibles causas de variación están dadas por la velocidad del agua, la abundancia de depredadores, y la alimentación ya que en ríos corrientosos, con baja presencia de depredación hacen que los peces tengan una característica más hidrodinámica, mientras que en ríos lentos y con mayor depredación tienden los peces a desarrollar el cuerpo más bajos, como es el caso de esta especie y como ocurre en la parte baja donde además su abundancia relativa disminuye, pero su estado de condición no demuestra diferencias con la parte media o alta.

Rhoadsia altipinna también muestra divergencia corporal, presentando mayor diferencia en la cabeza y el hocico; siendo los especímenes de la zona alta quienes presentaron hocico largo y cabeza más grande y los especímenes de la zona baja con hocico

reducido y cabeza reducida. Estudios previos con *Rhoadsia*, realizado por Malato et al., (2017) obtuvieron los mismos resultados en cuanto a las variaciones corporales del aumento o disminución de la forma corporal de los peces, estableciendo relación aquellos individuos de hocico largos con adelanto de la región cefálica y cuerpos pronunciados aquellos que predominan zonas de mayor elevación; versus especímenes con disminución del hocico, retraso de la región cefálica y cuerpos poco profundos los que se encuentran en zonas con baja elevación, concluyendo que las variaciones de la *Rhoadsia* también están dadas por un mecanismo adaptativo. Para Carvajal et al., (2015) los cambios en la comunidad están correlacionados con la elevación y los rasgos morfológicos de la especie, estos cambios se dan por las condiciones ambientales de zonas altas que tienen mayor capacidad de oxigenación con pH estable en contraste a zonas bajas donde disminuye el oxígeno, aumenta la turbidez y aumenta la dureza; estas tres propiedades (pH, alcalinidad y dureza) forman el triángulo de las Bermudas de la química del agua que si bien son diferentes, siempre interaccionan en diferentes grados provocando dificultad en su ajuste (Mancini, 2002).

De acuerdo al factor de condición de Fulton (K), se estima que el estado de bienestar de *Andinoacara blombergi* y *Brycon atrocaudatos* presentan diferencias significativas entre las zonas alta y media en las que se encuentran especímenes de forma corporal más altos con respecto a la zona baja donde tienen a disminuir por situaciones estresantes como las alteraciones de parámetros físicos-químicos (aumento de la temperatura y la intensa luz que penetra en el cuerpo de agua); mientras que las especies *Brycon dentex* y *Rhoadsia altipinna*, no reflejan divergencias significativas en el estado de condición corporal, lo que podría atribuirse a que se trata de especies con mayor resistencia adaptativa a condiciones desfavorables en comparación a las dos primeras especies. Youson et al., (1993) sugiere que el cambio de temperatura afecta el estado de condición de los peces; mientras que para Ekaete, (2013) el estado de condición de peces se ve afectado directamente por el contenido de oxígeno que absorben a través de las branquias emitiendo la circulación hacia los tejidos, de igual manera otro factor que determina es la cobertura vegetal y la disponibilidad de alimento, ya que este refleja el estado fisiológico de los peces con el bienestar, indicando que a mayor cobertura vegetal mayor disponibilidad de alimento originando mayor crecimiento y mayor frecuencia de peces, en comparación a los lugares con poca disponibilidad de alimento

donde se presentan zonas alteradas por la destrucción de la vegetación provocando un constante aumento de sólidos suspendidos y turbidez, derivadas de la erosión.

Aunque los resultados obtenidos de los análisis morfométricos y análisis estadísticos parecen reflejar una divergencia corporal, acorde con una marcada diferencia en los parámetros ambientales dentro de cada zona altitudinal, existen limitaciones dentro del estudio debido a la falta de información de otras variables ambientales como la velocidad del agua y la disponibilidad de nutrientes, ya que estas interactúan y se relacionan en el desarrollo de los peces, e incluso de los demás organismos acuáticos. El crecimiento de los peces está en función al consumo y disponibilidad de nutrientes, al peso corporal y a la temperatura (Mancini, 2002). Por tanto, es necesario tomar en cuenta estas dos variables en estudios posteriores, como condicionantes que pueden estar afectando de manera directa o indirectamente a las especies que habitan en el cuerpo de agua del río Teaone.

Este es el primer trabajo que demuestra el efecto que el estado actual del río Teaone tiene sobre la forma que adoptan los peces ante variaciones ambientales; muestra como la perturbación del río está afectando a las poblaciones de peces que lo habitan; y además, como las zonas altas del río presentan una mejor calidad de agua con mayor oxigenación y renovación aún, como en la zona media del cauce la alteración del agua va aumentando y como en la zona baja se evidencia ya una gran carga de aportes que perturban el río.

CONCLUSIONES

- Existen diferencias morfológicas en las cuatro especies: *Andinoacara blombergi*, *Brycon atrocaudatus*, *Brycon dentex* y *Rhoadsia altipinna* como una respuesta a las diferencias ambientales que se presentan entre la zona alta, media y baja; donde el grado de calidad del agua varía directamente proporcional al descenso del cauce.
- La plasticidad morfológica se manifiesta en una reducción del hocico, región cefálica pronunciada y cuerpos con menor altitud según se desciende en el cauce.
- Esta plasticidad morfológica tiene relación con el aumento de los sólidos en suspensión, la turbidez y la temperatura; así como con una disminución del pH, el oxígeno disuelto y la alcalinidad.
- Las especies *Brycon dentex* y *Rhoadsia altipinna* no manifiestan diferencias significativas en el estado de condición corporal para ninguna de las tres zonas de estudio. Sin embargo *Brycon dentex* evidencia la menor abundancia relativa y *Rhoadsia altipinna* la mayor abundancia relativa.

RECOMENDACIONES

- Ingresar nuevas variables que son fundamentales para posteriores estudios de Morfometría Geométrica, y así poder visualizar mejor los efectos que se producen en los organismos ante los cambios del ambiente, de manera que se pueda tener indicios de cuáles pueden ser las zonas que requieren una gestión prioritaria dentro del caudal en un río; así poder también proponer proyectos de restauración ecológica, con una serie de tratamientos para las aguas residuales.
- Desarrollar proyectos de recuperación de especies en el río Teaone, donde por ejemplo especies como *Andinoacara blombergi* que en este momento se encuentra con poblaciones muy mermadas en zonas bajas como San Rafael, puedan tener posibilidades de recuperación.

REFERENCIAS

- Adams, D. C., Rohlf, F. J., & Slice, D. E. (2004). Geometric morphometrics: Ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology*, 71(1), 5-16. <https://doi.org/10.1080/11250000409356545>
- Aguirre, W. E., Navarrete, R., Malato, G., Calle, P., Loh, M. K., Vital, W. F., ... Granda, J. C. (2016). Body Shape Variation and Population Genetic Structure of *Rhoadsia altipinna* (Characidae: Rhoadsiinae) in Southwestern Ecuador. *Copeia*, 104(2), 554-569. <https://doi.org/10.1643/CG-15-289>
- Anastasiadi, D., Díaz, N., & Piferrer, F. (2017). Small ocean temperature increases elicit stage-dependent changes in DNA methylation and gene expression in a fish, the European sea bass. *Scientific Reports*, 7(1), 12401. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10861-6>
- Andreoli, A., Mao, L., Iroumé, A., Arumí, J., Nardini, A., Pizarro, R., ... Link, O. (2012). The need for a hydromorphological approach to Chilean river management. *Revista Chilena De Historia Natural*, 85, 339-343. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2012000300008>
- Benítez, H. A., & Püschel, T. A. (2014). Modelando la Varianza de la Forma: Morfometría Geométrica Aplicaciones en Biología Evolutiva. *International Journal of Morphology*, 32(3), 998-1008. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022014000300041>
- Bookstein, F. L. (1997). *Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology*. Cambridge University Press.
- Breitbart, D. (2002). Effects of hypoxia, and the balance between hypoxia and enrichment, on coastal fishes and fisheries. *Estuaries*, 25(4), 767-781. <https://doi.org/10.1007/BF02804904>

- Bruton, M. N. (1985). The effects of suspensoids on fish. *Hydrobiologia*, 125(1), 221-241. <https://doi.org/10.1007/BF00045937>
- Carvajal, J. D., Escobar, F., Alvarado, F., Villa, F. A., Jaramillo, Ú., & Maldonado, J. A. (2015). Variation in freshwater fish assemblages along a regional elevation gradient in the northern Andes, Colombia. *Ecology and Evolution*, 5(13), 2608-2620. <https://doi.org/10.1002/ece3.1539>
- Casatti, L., & Castro, R. M. C. (2006). Testing the ecomorphological hypothesis in a headwater riffles fish assemblage of the rio São Francisco, southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 4(2), 203-214. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252006000200006>
- Clabaut, C., Bunje, P. M. E., Salzburger, W., & Meyer, A. (2007). Geometric Morphometric Analyses Provide Evidence for the Adaptive Character of the Tanganyikan Cichlid Fish Radiations. *Evolution*, 61(3), 560-578. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2007.00045.x>
- Ekaete, A. (2013). Preliminary studies of the condition factors in five tropical fish species of a coastal state, Lagos Nigeria. 5, 6. http://www.sciencepub.net/researcher/research0506/001_17604research0506_1_5.pdf
- Espinosa, H. (2014). Protocolo de muestreo de peces en aguas continentales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCI-2012) [Documentos técnicos]. Recuperado 24 de noviembre de 2017, a partir de <http://reservasdeagua.com.mx/documentos-tecnicos/>
- FAO. (2017). Ecología de las pesquerías fluviales. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/docrep/003/X6853S/X6853S02.htm>

- FishBase. (2018). Rhoadsia altipinna summary page. Recuperado 15 de enero de 2018, a partir de <http://www.fishbase.us/summary/Rhoadsia-altipinna.html>
- GAD Cnel. Carlos Concha. (2017). Plan de Trabajo 2014 - 2019. Recuperado 21 de enero de 2018, a partir de <http://www.carlosconcha.gob.ec/index.php/ct-menu-item-13/ct-menu-item-29>
- García, A., González, J., & Habit, E. (2012). Caracterización del hábitat de peces nativos en el río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana (Concepción)*, 76, 36-44. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382012000100004>
- García, C., Valencia, C., & González, M. I. (2009). Morfo geometría de los peces del género *Hyphessobrycon* (Characiformes: Characidae), grupo heterorhabdus, en Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 58(2). <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i2.5247>
- Granda, J., & Montero, C. (2015). Aplicación de morfometría geométrica para la comparación de distintas poblaciones de guanchiche (*Hoplias* spp) en ecosistemas lénticos y lóticos del Ecuador. Recuperado a partir de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/29740>
- Green, B. S., & McCormick, M. I. (2005). O₂ replenishment to fish nests: males adjust brood care to ambient conditions and brood development. *Behavioral Ecology*, 16(2), 389-397. <https://doi.org/10.1093/beheco/ari007>
- Guijarro, M. (2016, enero 12). *Caracterización de la calidad de agua del río Teaone utilizando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores* (Thesis). Ecuador - PUCESE - Escuela de Gestión Ambiental. Recuperado a partir de <http://localhost/xmlui/handle/123456789/590>

- Herbas, R., Rivero, F., & Gonzales, A. (2006). Indicadores Biologicos Calidad Agua. Recuperado 1 de diciembre de 2017, a partir de <https://es.scribd.com/doc/58999749/indicadores-Biologicos-Calidad-Agua>
- Jiménez, P., Aguirre, W., Laaz Moncayo, E., Navarrete, R., Nugra, F., Rebolledo Monsalve, E. R., ... Valdiviezo-Rivera, J. (2015). *Guia de peces para aguas continentales en la vertiente occidental del Ecuador*.
- Kettenring, J. R. (1971). Canonical analysis of several sets of variables. *Biometrika*, 58(3), 433-451. <https://doi.org/10.1093/biomet/58.3.433>
- Klingenberg, C. P. (2013). Cranial integration and modularity: insights into evolution and development from morphometric data. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, (1). <https://doi.org/10.4404/hystrix-24.1-6367>
- Kruuk, H. (1995). *Wild Otters: Predation and Populations*. OUP Oxford.
- Larenas, C. (2014). Distribución potencial del género *Andinoacara* en Ecuador. Recuperado a partir de <http://www.acuariofilia.ec/files/GreenTerrorEcuador.pdf>
- Leyton, S., Muñoz, E., Gordillo, M., Sanchez, G., Muñoz, L., & Soto, A. (2015). Estimation of Fulton's condition factor (K) and the length-weight relationship of three fish species present in a sector subjected to environmental stress factors in high Cauca river basin. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 27, 24-31.
- Malato, G., Shervette, V. R., Amaya, R. N., Rivera, J. V., Salazar, F. N., Delgado, P. C., ... Aguirre, W. E. (2017). Parallel body shape divergence in the Neotropical fish genus *Rhoadsia* (Teleostei: Characidae) along elevational gradients of the western slopes of the Ecuadorian Andes. *PLOS ONE*, 12(6), e0179432. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179432>

- Mancini, M. (2002). Introducción a la biología de los peces. Recuperado 4 de diciembre de 2017, a partir de http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/07-introduccion_biologia_peces.pdf
- Medina, J. (2013). *Divergencia morfológica y genética del género Spondylus L. (BIVALVIA: SPONDYLIDAE) en el pacífico Mexicano y Golfo de California* (Tesis de Grado). Instituto Politecnico Nacional, La Paz, B.C.S. Recuperado a partir de <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/16586/1/medinaes1.pdf>
- Mitteroecker, P., Gunz, P., Windhager, S., & Schaefer, K. (2013). A brief review of shape, form, and allometry in geometric morphometrics, with applications to human facial morphology. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, (1). <https://doi.org/10.4404/hystrix-24.1-6369>
- Musilová, Z., Rican, O., Ricanová, S., Jansta, P., Gahura, O., & Novak, J. (2015). Phylogeny and historical biogeography of trans-Andean cichlid fishes (Teleostei: Cichlidae). *Senckenberg*.
- Musilová, Z., Schindler, I., & Staack, W. (2009). Description of *Andinoacara stalsbergi* sp. n. (Teleostei: Cichlidae: Cichlasomatini) from Pacific coastal rivers in Peru, and annotations on the phylogeny of the genus. Recuperado a partir de http://www.senckenberg.de/files/content/forschung/publikationen/vertebratezoology/vz59-2/02_vertibrate_zoology_59-2_musilova.pdf
- Ortiz, M. (2016, enero 11). *Caracterización de diatomeas como herramienta para el estudio de la calidad del agua del río Teañone* (Thesis). Ecuador - PUCESE -

Escuela de Gestión Ambiental. Recuperado a partir de
<http://localhost/xmlui/handle/123456789/589>

- Pérez, C. (2014). *Discriminación de las especies del género Opisthonema Gill, 1861 en el Sur del Golfo de California usando análisis morfométricos y genéticos* (Tesis de Grado). Instituto Politecnico Nacional, La Paz, B.C.S. Recuperado a partir de <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/21110/1/perezq1.pdf>
- Perry, S. F., & Laurent, P. (1993). Environmental effects on fish gill structure and function. En *Fish Ecophysiology* (pp. 231-264). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2304-4_9
- Prenda, J., & Granado-Lorencio, C. (1996). The relative influence of riparian habitat structure and fish availability on otter *Lutra lutra* L. sprainting activity in a small Mediterranean catchment. *Biological Conservation*, 76(1), 9-15. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(95\)00080-1](https://doi.org/10.1016/0006-3207(95)00080-1)
- Rahel, F. J. (1986). Biogeographic Influences on Fish Species Composition of Northern Wisconsin Lakes with Applications for Lake Acidification Studies. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43(1), 124-134. <https://doi.org/10.1139/f86-013>
- Ramos Cruz, S. (2009). Relación Longitud-peso y factor de condición en el barrilete negro *Euthynnus lineatus* (Kishinouye, 1920) (Perciformes: Scombridae), capturado en el litoral de Oaxaca, México. *Revista de Investigaciones Marinas*, 30(1), 45-53.
- Reilly, K. M., & Horn, M. H. (2004). Phenotypic variation among populations of *Atherinops affinis*(Atherinopsidae) with insights from a geometric morphometric analysis. *Journal of Fish Biology*, 64(4), 1117-1135. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2004.00379.x>

- Revelo, W., & Laaz, E. (2012). *CATÁLOGO DE PECES DE AGUAS CONTINENTALES DE LA PROVINCIA DE LOS RÍOS -ECUADOR*.
- Rohlf, F., & Marcus, L. (1993). A Revolution in Morphometrics. *Trends in ecology & evolution*, 8, 129-132. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(93\)90024-J](https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90024-J)
- Rohlf, F. J., & Slice, D. (1990). Extensions of the Procrustes Method for the Optimal Superimposition of Landmarks. *Systematic Biology*, 39(1), 40-59. <https://doi.org/10.2307/2992207>
- Salas, D., Véliz, D., & Scott, S. (2012). Diferenciación morfológica en especies del género Cheirodon (Ostariophysi: Characidae) mediante morfometría tradicional y geométrica Morphological differentiation in the genus Cheirodon (Ostariophysi: Characidae) using both traditional and geometric morphometrics. Recuperado a partir de <https://core.ac.uk/display/27891570>
- SENPLADES (Ed.). (2013). *Buen vivir: plan nacional 2013-2017: todo el mundo mejor* (Primera edición). Quito, Ecuador: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Recuperado a partir de <http://www.buenvivre.gob.ec/>
- SNI. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Tabiázo 2015-2024.
- Soria, M., Rodiles, R., & González, A. A. (2011). Morfometría de las especies de Vieja (Cichlidae) en ríos de la cuenca del Usumacinta, Chiapas, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(2), 569-579.
- Souza, E. R. S. de, & Francisco, P. (2013). Spatial and temporal hydrochemical variation of a third order river network in a quasi pristine coastal watershed, at Southern Bahia, Brazil. *Anais Da Academia Brasileira De Ciencias*, 85(4), 1357-1370. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201364111>

- Tapia, C., & Rodrigo, H. (2013). Bases de diseño de escaleras para peces. Recuperado a partir de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1735>
- Torcida, S., & Perez, S. I. (2012). Análisis de procrustes y el estudio de la variación morfológica. *Revista argentina de antropología biológica*, 14(1), 131-141.
- Toro, M. V., Manriquez, G., & Suazo, I. (2010). Morfometría Geométrica y el Estudio de las Formas Biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa. *International Journal of Morphology*, 28(4), 977-990. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022010000400001>
- TULSMA. (2003). *Libro VI de Calidad Ambiental: Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Decreto Ejecutivo No. 1589.*
- Vicéns, J., Herrarte, A., & Medina, E. (2005). ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA). Recuperado a partir de https://www.uam.es/personal_pdi/economicas/eva/pdf/anova.pdf
- Wijkmark, N., Kullander, S., & Barriga, R. (2012). *Andinoacara blombergi*, a new species from the río Esmeraldas basin in Ecuador and a review of *A. rivulatus* (Teleostei: Cichlidae), 23, 117-137.
- Youson, J. H., Holmes, J. A., Guchardi, J. A., Seelye, J. G., Beaver, R. E., Gersmehl, J. E., ... Beamish, F. W. H. (1993). Importance of Condition Factor and the Influence of Water Temperature and Photoperiod on Metamorphosis of Sea Lamprey *Petromyzon marinus*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(11), 2448-2456. <https://doi.org/10.1139/f93-269>
- Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., & Sheets, H. D. (2012). *Geometric Morphometrics for Biologists: a Primer*. Saint Louis: Elsevier Science.

ANEXOS

Anexo I: Zonas de muestreo



Zona alta de la Parroquia Cnel. Carlos Concha Torres-sector Morachigüe



Captura de especímenes con ayuda de la atarraya



Zona media: Tabiazo



Zona baja: Puente del sector San Rafael



Lavado de ropa en el río Teaone en la zona de San Rafael

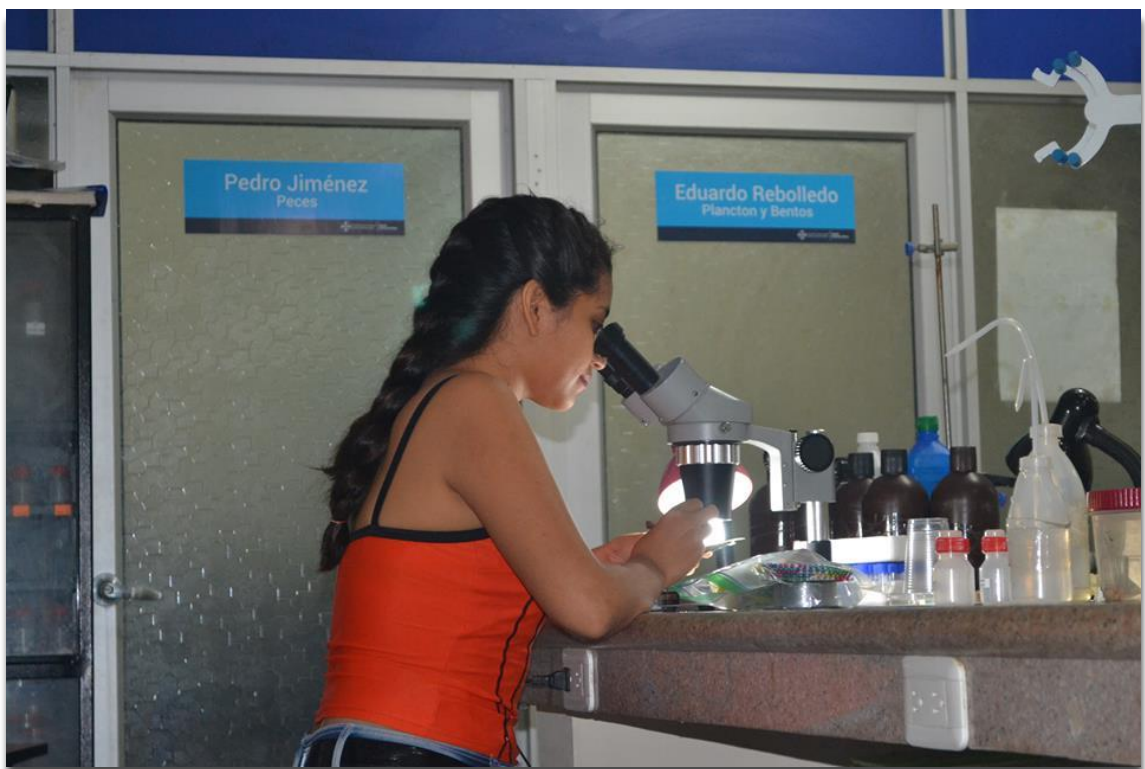


Descomposición de materia orgánica y presencia de corredores

ANEXO II: Análisis de laboratorio



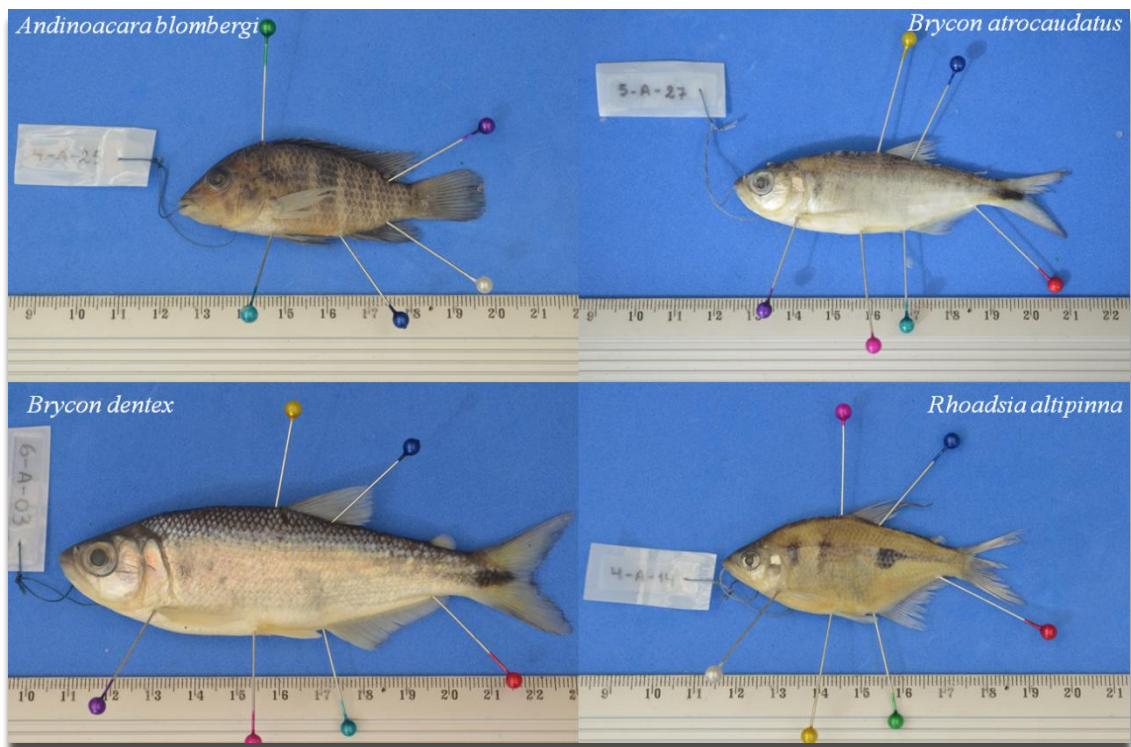
Análisis de las muestras de agua por el método de colorimetría HANNA



Identificación de especímenes



Selección de los hitos anatómicos con el uso de alfileres



Especies de estudio Morfométrico

ANEXO III: Afectaciones encontradas en *Brycon atrocaudatus*



Reporte de *Brycon atrocaudatus* con torcedura del hocico, mes de septiembre, sector Tabiazo.



Reporte en el mes de agosto donde un espécimen de *Brycon atrocaudatus* presentó problemas en la columna, sector San Rafael.



Reporte en el mes de septiembre donde un espécimen de *Brycon atrocaudatus* presentó problemas en la columna, sector San Rafael.