



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA

INDOAMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE

CARRERA DE BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS

TEMA:

**MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA DE LOS PECES DEL GÉNERO
ASTROBLEPUS EN LA CUENCA DEL RÍO INTAG, AL
NOROCCIDENTE DE ECUADOR: EXPLORANDO LA DIVERSIDAD
DEL GÉNERO A TRAVÉS DE ANÁLISIS COMPARATIVOS.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en
Biodiversidad y Recursos Genéticos

Autor (a)

Enrique Alexander Mendoza
Espinoza

Tutor (a)

Ibon Tobes Sesma. PhD

QUITO – ECUADOR

2024

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL TUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Mendoza Espinoza Enrique Alexander declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “Morfología y morfometría geométrica de los peces del género *Astroblepus* en la cuenca del río Intag, al noroccidente de Ecuador: Explorando la diversidad del género a través de análisis comparativos”. como requisito para optar al grado de Título de Ingeniero en Biodiversidad y Recursos Genéticos y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitará la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, aceptó que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 5 días del mes de octubre de 2024, firmo conforme:

Autor: Enrique Mendoza



Firma:

Número de Cédula: 0706731668

Dirección: Pichincha, Quito, Cotacollao,

Correo Electrónico: emendozaespinoza.2000@gmail.com

Teléfono: 0985015385

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA DE LOS PECES DEL GÉNERO *ASTROBLEPUS* EN LA CUENCA DEL RÍO INTAG, AL NOROCCIDENTE DE ECUADOR: EXPLORANDO LA DIVERSIDAD DEL GÉNERO A TRAVÉS DE ANÁLISIS COMPARATIVOS.” presentado por Mendoza Espinoza Enrique Alexander para optar por el Título de Ingeniero en Biodiversidad y Recursos Genéticos,

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 11 de febrero del 2024

.....

PhD. Ibon Tobes Sesma

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniera en Biodiversidad y Recursos Genéticos, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 11 de febrero del 2024



.....
Mendoza Espinoza Enrique Alexander

0706731668

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA DE LOS PECES DEL GÉNERO *ASTROBLEPUS* EN LA CUENCA DEL RÍO INTAG, AL NOROCCIDENTE DE ECUADOR: EXPLORANDO LA DIVERSIDAD DEL GÉNERO A TRAVÉS DE ANÁLISIS COMPARATIVOS, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Biodiversidad y Recursos Genéticos, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito, 11 de febrero del 2024

.....

Dra. Patricia Salerno

LECTOR

.....

Dr. Santiago Bonilla

LECTOR

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicado a mis padres Juan Mendoza y María Elena Espinoza, quienes me brindaron su apoyo y amor incondicional en cada etapa de mi vida. A mis hermanos y hermanas quienes siempre estuvieron presentes motivándome a seguir adelante y no tirar la toalla.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a mis padres Juan Mendoza y María Elena Espinoza, por su apoyo moral y afectivo para cumplir mis metas. Le agradezco a mi hermanos y hermanas por escucharme, comprenderme y estar presentes cuando más los necesitaba. Al Dr. Ibon Tobes por guiarme y acompañarme en la elaboración de mi tesis. A Jordi Rivera-Albuja y Amalia Espinoza-Regalado por brindarme consejos y ayudarme a responder mis inquietudes sobre el trabajo de titulación. Por último, le agradezco a los Docentes de la Facultad de Ciencias del Medio Ambiente de la Universidad Tecnológica Indoamérica, por impartir sus conocimientos para ser buenas personas, honestos y profesionales.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
AUTORIZACIÓN DE REPOSITORIO DIGITAL.....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN TRIBUNAL.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN EJECUTIVO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Morfología y morfometría.....	4
1.2 Objetivo general.....	5
1.3 Objetivos específicos.....	5

CAPÍTULO II

2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	6
2.1 Área de estudio.....	6
2.2 Recolección de especímenes.....	7
2.3 Selección de organismos y preparación de muestras.....	9
2.4 Análisis estadístico-morfología clásica.....	9
2.5 Morfología clásica observacional.....	10
2.6 Morfometría clásica.....	13
2.7 Análisis estadístico de los datos de morfometría clásica.....	16
2.8 Análisis genético.....	18

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS.....	21
3.1 Morfología clásica observacional.....	21
3.2 Análisis genético.....	27
3.3 Comparación de resultados.....	28
3.4 Análisis de correspondencia (CA).....	30
3.5 Morfometría tradicional.....	38

CAPÍTULO IV

4. DISCUSIÓN.....	44
-------------------	----

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
6. LITERATURA CITADA.....	49

7. ANEXOS.....	56
----------------	----

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rasgos morfológicos con su correspondiente descripción.	11
Tabla 2. Medidas morfométricas utilizadas en el presente estudio con sus correspondientes abreviaciones.....	14
Tabla 3. Porcentajes de variación y valores propios “Eigenvalue” (Datos crudos) de los componentes principales.....	29
Tabla 4. Porcentajes de variación y valores propios “Eigenvalue” (Transformada a logaritmo) de los componentes principales.....	30
Tabla 5. Porcentajes de variación y valores propios “Eigenvalue” (Div. Longitud estándar) de los componentes principales.....	31
Tabla 6. Porcentajes de variación y valores propios “Eigenvalue” (Estandarizados) de los componentes principales.....	31
Tabla 7. Tabla con rasgos morfológicos compartidos. Las columnas, en orden, incluyen las especies taxonómicas, el grupo genético al que pertenecen, el código de cada individuo y los rasgos morfológicos que se cumplen al cien por ciento en cada grupo genético.....	38

INDICE DE GRÁFICOS

Fig 1. Imagen de la vista lateral del género <i>Astroblepus</i> con el nombre de sus partes.....	2
Fig 2. Imagen ventral de la vista ventral del género <i>Astroblepus</i> con el nombre de sus partes.....	2
Fig 3. Mapa del área de estudio de la cuenca del río Intag y sus microcuencas aledañas.....	8
Fig 4. Mapa de los puntos de muestreo para la recolección de especies.....	9
Fig 5. Diagrama con las medidas utilizadas en la morfometría tomado de Jara-Ortega (2021) y modificado por Mendoza (2024).....	16
6	
Fig 6. Diagrama de medidas utilizadas en la morfometría donde se encuentra longitud boca (Lboc) y longitud disco bucal (Ldisbu) tomada de Jara-Ortega (2021) modificada por Mendoza (2024).....	166
Fig 7. Diagrama de medidas ancho de cabeza (ANCAB), longitud ojo narina (LOjON), distancia inter-orbital (DisInt).....	17
7	
Fig 8. Arbol filogenetico Rodriguez y Tobes (2024).....	21
1	
Fig 9. Fotografía de <i>Astroblepus fissidens</i> . Foto: Jordi Rivera-Albuja.....	23
4	

Fig 10. Fotografía de <i>Astroblepus eigenmanni</i> , Foto: Jordi Rivera-Albuja.....	24
5	
Fig 11. Fotografía de <i>Astroblepus theresiae</i> . Foto: Jordi Rivera-Albuja.....	25
6	
Fig 12. Fotografía de <i>Astroblepus. cyclopus</i> , Foto: Jordi Rivera-Albuja.....	26
27	
Fig 13. Fotografía de <i>Astroblepus regani</i> . Foto: Jordi Rivera-Albuja.....	278
Fig 14. Fotografía de <i>Astroblepus ubidai</i> . Foto: Jordi Rivera-Albuja.....	289
Fig 15. Puntos de muestreo y especies taxonómicas en cada población encontradas por punto de muestreo.....	30
Fig 16. Análisis de correspondencia de caracteres morfológicos e individuos de <i>Astroblepus</i> por grupos genético. Puntos de colores indican grupos genéticos: rojo = grupo #1 (A); azul = grupo #2 (B); verde = grupo #3; amarillo = grupo #4.....	31
Fig 17. Análisis de correspondencia de <i>Astroblepus</i> y variables morfológicas resaltando las identificaciones taxonómicas respecto a. Los colores señalan las siguientes especies: amarillo= <i>A. fissidens</i> ; celeste= <i>A. regani</i> ; anaranjado= <i>A. cyclopus</i> ; gris= <i>A. longifilis</i> ; azul= <i>A. theresiae</i> ; verde= <i>A. eigenmanni</i> ; granate= <i>A. ubidai</i> ; verde claro= <i>A. simonsii</i>	32
Fig 18. Análisis clúster usando la ordenación de Jaccard para datos de presencia/ausencia de caracteres morfológicos de individuos de <i>Astroblepus</i> , resaltando los grupos genéticos con colores: rojo = grupo #1 (A); azul = grupo #2 (B); verde = grupo #3; amarillo.....	33
Fig 19. Análisis de Componentes Principales Datos usando los datos morfométricos crudos. Los vectores (en verde) se corresponde con las medidas	

morfométricas. Cada punto representa un pez, y los colores se corresponden a los cuatro grupos genéticos: rojo = grupo rojo = grupo 1; celeste = grupo 2; amarillo = grupo 3; negro = grupo 4.....	34
Fig 20. Análisis de Componentes Principales usando la transformación logarítmica. Los vectores (en verde) se corresponde con las medidas morfométricas. Cada punto representa un pez, y los colores se corresponden a los cuatro grupos genéticos: rojo = grupo 1; c celeste = grupo 2; amarillo = grupo 3; negro = grupo 4.....	40
Fig 21. Análisis de Cluster usando la ordenación de Jaccard para datos de presencia/ausencia de caracteres morfológicos de individuos de <i>Astroblepus</i> , resaltando los grupos genéticos con colores: rojo=grupo #1 (A); azul=grupo #2 (B); verde=grupo #3 (C); amarillo =grupo #4 (D).....	36
Fig 22. Análisis clúster usando la ordenación de Jaccard para datos de presencia/ausencia de caracteres morfológicos de individuos de <i>Astroblepus</i> , resaltando las especies taxonómicas con sus nombres y colores distintos.....	37

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE

**CARRERA DE INGENIERÍA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS
GENÉTICOS**

**TEMA: MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA DE LOS PECES DEL
GÉNERO *ASTROBLEPUS* EN LA CUENCA DEL RÍO INTAG, AL
NOROCCIDENTE DE ECUADOR: EXPLORANDO LA DIVERSIDAD
DEL GÉNERO A TRAVÉS DE ANÁLISIS COMPARATIVOS.**

AUTOR: Enrique Alexander Mendoza
Espinoza.

TUTOR: PhD. Ibon Tobes Sesma.

RESUMEN EJECUTIVO

Los astroblépidos son peces que se distribuyen en los Andes desde Panamá hasta Bolivia. Las especies del género *Astroblepus* son complejas para identificar debido a la alta variabilidad morfológica inter e intraespecífica. Esta investigación busca determinar si los rasgos morfológicos y morfométricos pueden contribuir a la identificación de las especies de este género. Se utilizaron 59 individuos de la cuenca del río Intag y dos microcuencas aledañas, parte de la cuenca del río Guayllabamba, en el noroccidente de Ecuador. Con claves taxonómicas se identificaron ocho especies potenciales: *A. eigenmanni* (22 indiv.), *A. regani* (10 indiv.), *A. fissidens* (9 indiv.), *A. theresiae* (7 indiv.), *A. cyclopus* (6 indiv.), *A. ubidiai* (3 indiv.), *A. simonsii* (1 indiv.) y *A. longifilis* (1 indiv.). Se seleccionaron 25 caracteres morfológicos y 25 medidas morfométricas para analizar las muestras. Se aplicó un Análisis de Correspondencia (CA) y un análisis de Clúster para conocer las agrupaciones de los individuos en función de los caracteres morfológicos, además de un Análisis de Componentes Principales con las medidas morfométricas. Los datos obtenidos se compararon con información obtenida mediante secuenciación genética que mostró la presencia de cuatro grupos bien diferenciados. Los resultados de los análisis morfológicos no señalaron patrones de agrupación claros que permitan diferenciar morfoespecies ni tampoco destacaron caracteres determinantes para su identificación. Al cruzar los resultados genéticos con las identificaciones taxonómicas y con la información morfológica tampoco se observaron agrupaciones claras. En cuanto al Análisis de Componentes Principales, las diferentes medidas morfométricas no reflejan diferencias significativas entre los peces ni patrones de agrupación. Estos resultados demuestran que las técnicas de identificación morfométrica y morfológica no son fiables para identificar especies del género *Astroblepus*, e indican que se trata de un género críptico para cuyo estudio se deberían incluir otros tipos de técnicas como las moleculares y/o análisis osteológicos.

PALABRAS CLAVE: *Astroblepus*, Cuenca del río Intag, Identificación, Morfometría, Morfología, Peces.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS
GENÉTICOS

**THEME: MORPHOLOGY AND MORPHOMETRY OF FISHES OF THE
GENUS *ASTROBLEPUS* IN THE INTAG RIVER BASIN, IN NORTHWEST
ECUADOR: EXPLORING THE DIVERSITY OF THE GENUS THROUGH
COMPARATIVE ANALYSIS.**

AUTHOR: Enrique Alexander Mendoza
Espinoza.

TUTOR: PhD. Ibon Tobes Sesma.

ABSTRACT

Astroblepids are fish that are distributed throughout the Andes from Panama to Bolivia. Species of the genus *Astroblepus* are morphologically complex to identify due to high inter- and intra-specific morphological variability. This research aims to determine if morphological and morphometric traits can contribute to the identification of species within this genus. Fifty-nine individuals from the Intag River basin and two adjacent micro-basins, part of the Guayllabamba River basin in northwestern Ecuador, were used. Using taxonomic keys, eight potential species were identified: *A. eigenmanni* (22 indiv.), *A. regani* (10 indiv.), *A. fissidens* (9 indiv.), *A. theresiae* (7 indiv.), *A. cyclopus* (6 indiv.), *A. ubidiai* (3 indiv.), *A. simonsii* (1 indiv.), and *A. longifilis* (1 indiv.). Twenty-five morphological characters and 25 morphometric measurements were selected for analysis. Correspondence Analysis (CA) and Cluster analysis were applied to understand the groupings of individuals based on morphological characters, along with Principal Component Analysis using morphometric measurements. The obtained data were compared with information obtained through genetic sequencing, revealing the presence of four well-differentiated groups. The results of morphological analyses did not show clear grouping patterns that allow for distinguishing morphospecies, nor did they highlight decisive characters for their identification. When crossing genetic results with taxonomic identifications and morphological information, clear groupings were also not observed. Regarding Principal Component Analysis, the different morphometric measurements did not reflect significant differences among the fish or grouping patterns. These results demonstrate that morphometric and morphological identification techniques are unreliable for identifying species of the genus *Astroblepus* and indicate that it is a cryptic genus for which other types of techniques such as molecular and/or osteological analyses should be included in studies.

KEYWORDS: *Astroblepus*, Identification, Intag River Basin, Fish, Morphology, Morphometry.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La familia Astroblepidae del orden Siluriformes posee un único género denominado *Astroblepus*, conocidos comúnmente como “preñadillas” o “climbing catfish” (Gloria, 1983). Esta familia es de gran interés para la biología y la ecología debido a su papel en el equilibrio ecológico de los organismos acuáticos, controlando las poblaciones de insectos y otros invertebrados acuáticos (Román-Valencia, 2001; Rodríguez, 2011). Además, son un componente importante de la fauna poco conocida de peces andinos, es posible que sea el único género nativo en gran parte de los Andes. Según Schaefer (2010) indica que son bioindicadores de la calidad de agua de las cabeceras de los ríos principales del Neotrópico. Esta especie es sensible a las perturbaciones acuáticas, terrestres y atmosféricas, es por ello que tienen un rol importante como bioindicadores en la dinámica del ecosistema acuático (Nugra, 2014).

Poseen un cuerpo alargado y aplanado, usualmente su talla varía entre los 10 a 30 cm (Schaefer, 2003). Se caracterizan por tener una boca succionadora carnosa y agrandada que les ayuda a sujetarse firmemente al sustrato, una aleta adiposa, una cintura pélvica que les permite moverse con facilidad al momento de escalar y moverse a través de arroyos de flujo rápido y alto gradiente los cuales caracterizan sus hábitats montanos, su aleta dorsal y anal se extienden a lo largo de su cuerpo y poseen piel desnuda (Rodríguez, 2015).

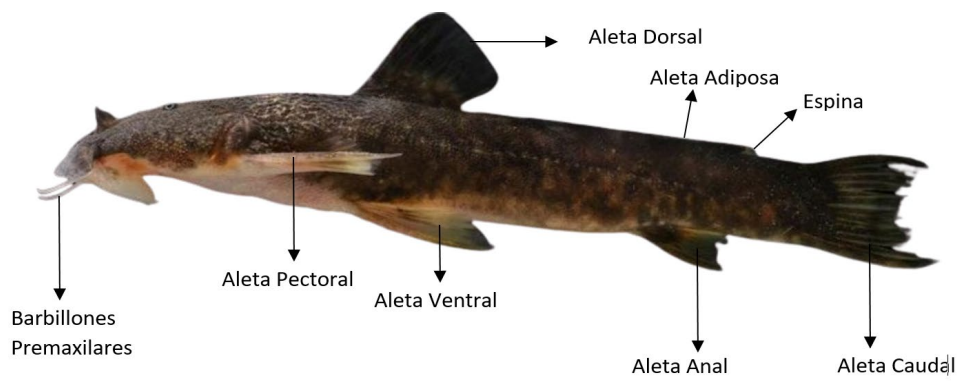


Fig 1. Imagen de la vista lateral del género *Astroblepus* con el nombre de sus partes. Tomada por Rivera (2023), modificada por Mendoza (2024).

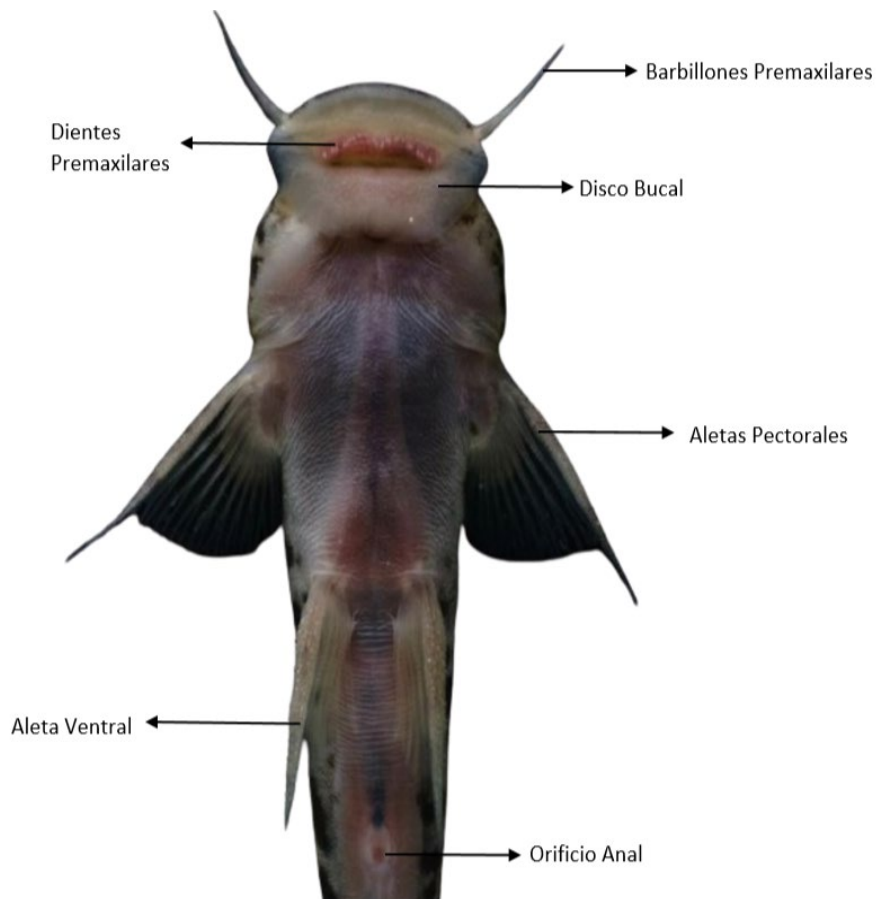


Fig 2. Imagen de la vista ventral del género *Astroblepus* con el nombre de sus partes. Tomada por Rivera (2023), modificada por Mendoza (2024)

Los astroblépidos son un grupo de peces de agua dulce que viven en ríos, quebradas, manantiales y lagunas a lo largo de los Andes de diferentes regiones de América del Sur, y se distribuyen desde Panamá, Colombia y Venezuela en el norte, hasta Ecuador, Perú y Bolivia en el sur, actualmente existen 92 especies de *Astroblepus* en el mundo (Rodríguez, 2011; Fishbase, 2023). La distribución de las especies de Astroblepidae se encuentra limitada en los cursos de agua de la Cordillera de los Andes y sus estribaciones, su altitud varía entre los 100 y 4.600 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), con mayor presencia entre los 500-2000 msnm, cuentan con un rango de temperatura que varía entre los 15-24 °C (Schaefer y Arroyave, 2010). Además, según Barriga (2012), hasta el momento existen 24 especies de *Astroblepus* registradas en Ecuador. Algunas de estas especies como *A. homodon* son migratorias, debido a su gran capacidad de adaptación a diferentes hábitats de zonas altas (Aguilar Gómez et al., 2020).

El conocimiento de la taxonomía, sistemática, morfología y ecología de la familia Astroblepidae es rudimentario, ya que no ha habido un estudio crítico de los Astroblépidos desde la descripción original de Humboldt (1905); (Schaefer, 2011). Los peces de esta familia son importantes para la conservación ya que cumplen roles muy importantes, forman parte esencial de la cadena alimenticia, ya que son presa de otros peces y animales acuáticos.

A pesar de su gran importancia ecológica, los peces del género *Astroblepus* enfrentan grandes amenazas que ponen en peligro su supervivencia. Una de las principales amenazas que enfrenta son los ríos contaminados, la presencia de componentes tóxicos que perjudican su desarrollo y capacidad de reproducción

(Valencia, 2001). Además, la introducción de especies invasoras provoca competencia entre ellas por alimento y hábitat (Restrepo Santamaría et al., 2022). La pérdida de hábitat por deforestación, urbanización, construcción de represas hidroeléctricas, sobrepesca y el cambio climático son otros factores que amenazan su supervivencia (Suarez et al., 2015).

Según la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), actualizada hasta el 2022, existen 52 especies de *Astroblepus* ingresadas en la plataforma, de las cuales 25 especies tienen datos insuficientes, 15 son de menor preocupación, 5 están casi amenazadas, 4 están vulnerables, 1 en peligro y 2 en peligro crítico (IUCN, 2023). Para Ecuador, existe una lista roja nacional de peces de agua dulce en donde 14 especies están catalogadas de la siguiente manera: 10 especies están con datos deficientes, 1 especies en menor preocupación, 2 están casi amenazadas y 1 especie está en peligro crítico que en este caso sería el *Astroblepus ubidiai* (Aguirre et al., 2023)

Según Schaefer et al. (2011) las dificultades en la identificación morfológica de las especies de *Astroblepus* provienen de su sobreposición entre ellas, es decir es difícil discernir entre especies debida a la forma en que se clasifican y definen. Esto se origina en gran parte por tener contraste de un solo carácter o por combinaciones de caracteres externos con altos niveles de variación inter e intraespecífica. Por ejemplo, tenemos a una especie de *Astroblepus* que se diferencia del resto de especies debido a un solo carácter. Las especies de *Astroblepus* comparten una morfología muy similar y los valores empleados

tradicionalmente para determinarlos son poco resolutivos, complicando la identificación taxonómica de las especies de *Astroblepus*.

1.1 Morfología y morfometría

La palabra morfometría proviene del griego “morphe” lo cual significa “forma” o “figura” y “metría” de “métrica” o “medición”, hace referencia al análisis cualitativo o cuantitativo de la forma; por lo tanto, es un concepto que incluye la forma y el tamaño. En el transcurso del tiempo, la morfometría ha ido transformándose desde un análisis descriptivo y teórico, pasando por una visión funcional a una evolutiva (Aguirre y Jiménez, 2018).

Comparar las características anatómicas de los organismos ha sido una parte central de la taxonomía durante siglos (Adams y Funk, 1997). Históricamente, la clasificación taxonómica y la comprensión de la biodiversidad se han basado estructuralmente en descripciones morfológicas (Adams et al., 2004). A principios del siglo XX, la biología comparativa entró en una fase de transición entre un campo descriptivo y una ciencia cuantitativa, donde el análisis morfológico experimentó una revolución cuantitativa similar (Benítez & Püschel, 2014).

La morfología y la morfometría son campos de investigación que se enfocan en la descripción de especies y estudio del tamaño de los organismos. La morfometría tradicional es una técnica utilizada para realizar estudios sobre la forma y el tamaño de los organismos, mediante el uso de diferentes factores lineales, ángulos, índices y proporciones (Toro, 2010).

Dependiendo del enfoque y los métodos utilizados, la morfología y la morfometría son campos de investigación que pueden ser cuantitativos o cualitativos. Estas medidas se analizan estadísticamente para comparar las diferencias entre grupos o poblaciones, y para inferir aspectos funcionales, ecológicos o evolutivos (Toro, 2010). Si se utilizan medidas numéricas y estadísticas para analizar la forma de los organismos, la morfología y la morfometría pueden ser cuantitativas. Por otro lado, si se utilizan relatos, historias y explicaciones para describir la forma de los organismos, también pueden ser cualitativas (Toro Ibacache et al., 2010; Villalobos-Leiva et al., 2020).

El objetivo de esta investigación es establecer cómo varían de manera morfológica y morfométrica las especies del género *Astroblepus* en la cuenca del río Intag en los Andes noroccidentales de Ecuador.

1.2 Objetivo general

Determinar la variabilidad morfológica y morfométrica de los diferentes especímenes de peces del género *Astroblepus* y comprender su utilidad para la identificación de especies del género.

1.3 Objetivos específicos

- Registrar rasgos morfológicos clásicos importantes y hacer análisis comparativos para observar si estos pueden ayudar en la identificación de los especímenes.
- Realizar un análisis comparativo de la morfometría de diferentes especies de *Astroblepus* para determinar las diferencias presentes en cuanto a forma y tamaño de sus estructuras corporales.

- Elaborar una clave dicotómica para la identificación de las especies potenciales del género *Astroblepus* para la cuenca del río Intag.

CAPÍTULO II

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El valle Intag se ubica en la provincia de Imbabura, al norte de Ecuador. El valle se compone de la cuenca del río Intag y sus cuencas aledañas, que son parte de la cuenca del río Guayllabamba. Además, abarca siete parroquias rurales de los cantones Cotacachi y Otavalo (Geoparque Imbabura, 2024). Las montañas de los Andes y el Toisán rodean la región, siendo este último el límite natural de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas.

El valle de Intag es una región montañosa andina de 1,367 km² donde viven alrededor de 17,000 personas mestizas, negras e indígenas como los: Kichwa y Chachis (Intag, 2011). La principal actividad económica es la producción de café y productos hechos con la fibra de la planta de cabuya. La región de Intag se encuentra en la intersección de dos áreas naturales de gran biodiversidad: el Chocó y los Andes tropicales. Estas áreas son consideradas entre los hotspots de biodiversidad del mundo debido a su gran riqueza de especies y el grado de amenaza que enfrentan (*BirdLife Data Zone*, 2023). También es un área de importancia mundial para las aves, con más de 60,000 hectáreas de bosques primarios remanentes que alimentan 25 microcuencas de importancia estratégica para el abastecimiento de agua para uso humano y agropecuario (Intag, 2011).

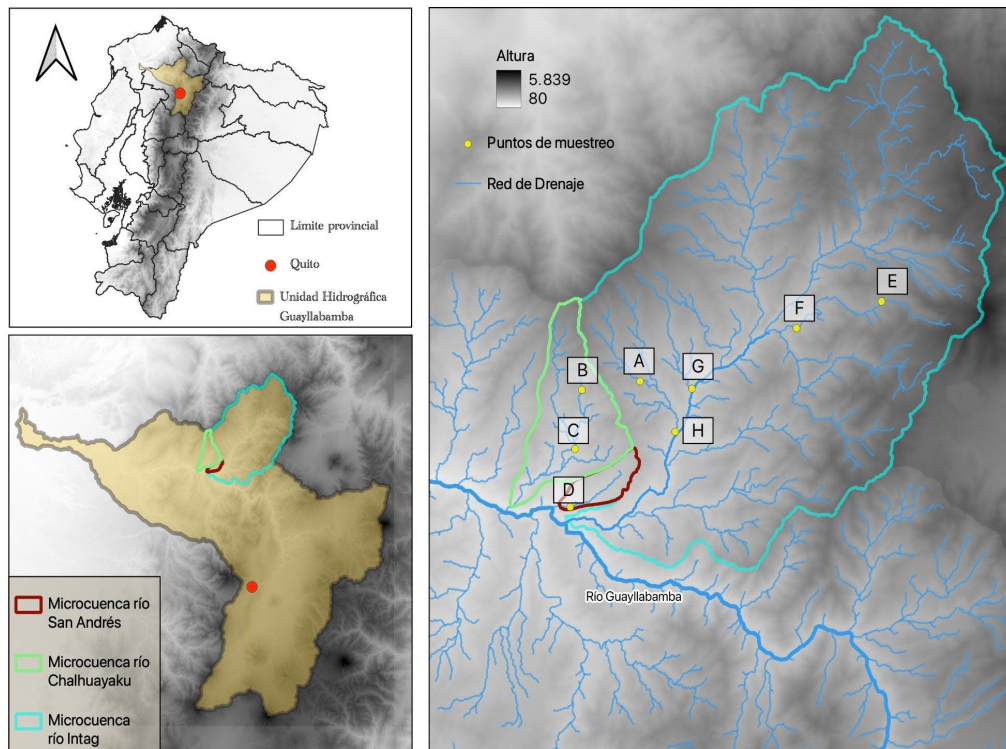


Fig 3. Mapa del área de estudio de la cuenca del río Intag y sus microcuencas aledañas

2.2 Recolección de especímenes

El muestreo se realizó en nueve puntos a lo largo de la cuenca del río Intag y dos microcuencas paralelas, mediante prospecciones de pesca, utilizando un equipo de pesca eléctrica de mochila (Hans Grassl modelo IG200/2D, 300–600 V, 0,2–2 A). Los peces recolectados fueron anestesiados con roxicaina, posteriormente se tomaron medidas de todos los individuos colectados y fueron identificados. Luego se extrajo el tejido de la aleta pectoral derecha y se conservó en alcohol al 96% para su análisis filogenético. Finalmente, los individuos destinados para la colección del Museo de Zoología de la Universidad Tecnológica Indoamérica (MZUTI), fueron conservados en formol y luego en alcohol.

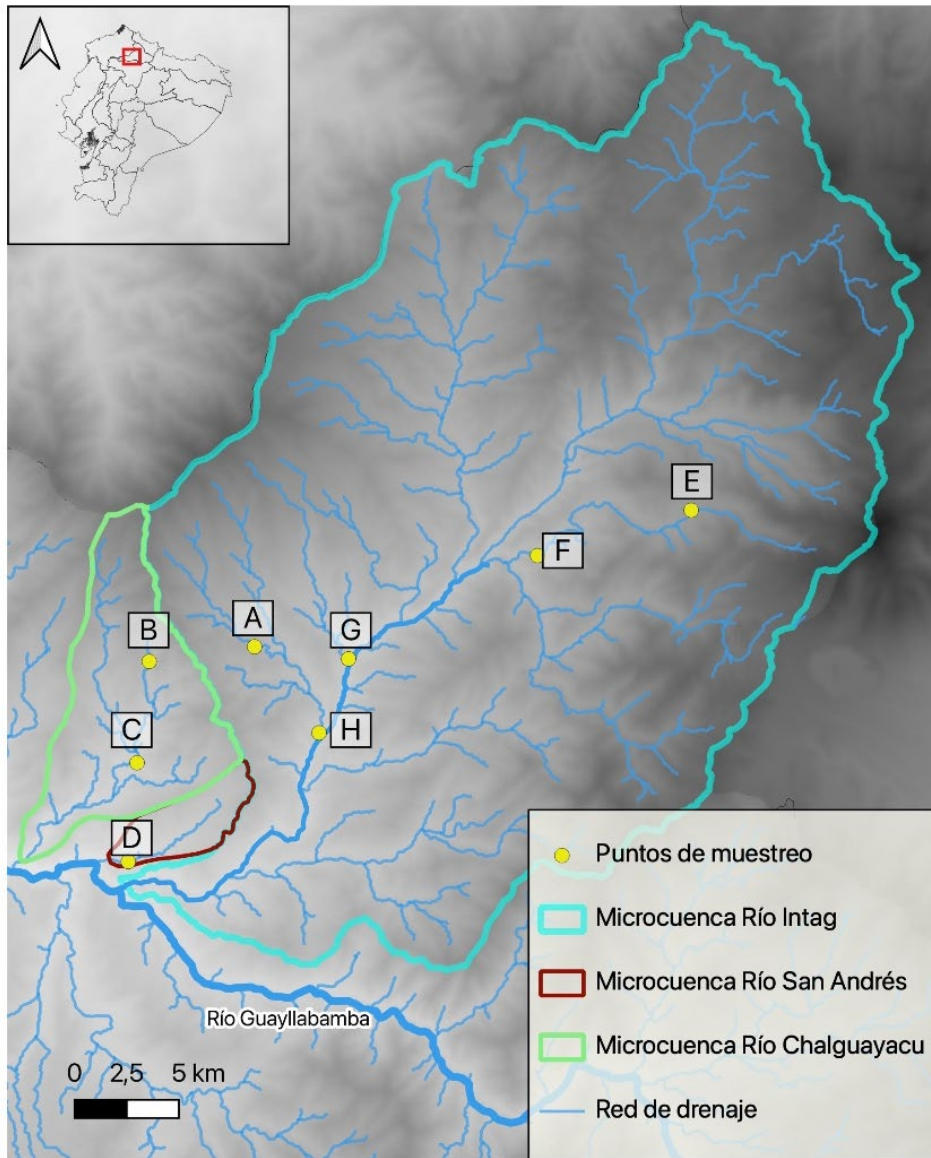


Fig 4. Mapa de los puntos de muestreo para la recolección de especies.

2.3 Selección de organismos y preparación de muestras

El primer paso en la aplicación de la morfología y morfometría clásica es la selección idónea de los organismos que se va a estudiar. Es importante tener un buen tamaño de muestras y escoger a los especímenes más representativos de la población de interés, los mismos que tienen que estar en óptimas condiciones. Los especímenes con los cuales se trabajó se encuentran depositados en la colección del Museo de Zoología de la Universidad Tecnológica Indoamérica los mismos que fueron recolectados en la cuenca del río Intag al noroccidente de Ecuador, con su correspondiente permiso de recolección MAATE-DBI-CM--2023-0288. Para el análisis de morfología clásica y morfometría geométrica de los especímenes a estudiar, se seleccionaron un total de 59 individuos.

Además, se hizo un análisis de correspondencia (CA) con estos mismos datos morfológicos para poder apreciar la relación entre los grupos genéticos, identificaciones y variables.

2.4 Morfología clásica observacional

Para su correspondiente identificación se utilizaron las claves de la “Guía de peces para aguas continentales en la vertiente occidental del Ecuador” (Jiménez-Prado et al., 2015). Además, se utilizaron rasgos morfológicos importantes empleados previamente en varios estudios (Jara, 2021; ACCB, 2015; Rodríguez, 2011; Rodríguez, 2015; Puetate, 2023). En total se seleccionaron siete rasgos morfológicos con sus respectivas variaciones (Tabla 1).

Tabla 1. Rasgos morfológicos con su correspondiente descripción.

Rasgo Morfológico	Descripción	Abreviatura
Aleta adiposa	Poco desarrollada: La aleta adiposa es pequeña o apenas visible.	PD
	Bien desarrollada: La aleta adiposa es prominente y claramente visible.	BD
Espina de la/Aleta adiposa	Sin espina: No hay una espina en la aleta adiposa.	SE
	Parcialmente embebida por la piel: La espina está parcialmente cubierta por la piel.	PEP
	Embebida completamente por la piel: La espina está completamente cubierta por la piel.	CEP
	Libre y móvil: La espina es independiente y puede moverse.	LM
Dentadura premaxilar	Incisivos: Unicúspides, los dientes son planos y afilados, como incisivos.	I
	Cónicos: Unicúspides, los dientes son cónicos y puntiagudos.	CN

	Tipo (Y): Bicúspides, la disposición de los dientes forma una estructura similar a la letra “Y”.	TY
	Tipo (Guante): Bicúspides, la disposición de los dientes se asemeja a un guante.	TG
Primer radio aleta pectoral	Igualado con membrana de aleta: La longitud del primer radio es similar a la membrana de la aleta.	IMA
	Algo alargado: El primer radio es ligeramente más largo.	AA
	Muy alargado: El primer radio es significativamente más largo.	PMA
Barbillones premaxilares	Abreviado: Los barbillones son cortos.	AB
	Longitud intermedia: Los barbillones tienen una longitud promedio.	LI
	Muy alargada: Los barbillones son notablemente largos.	BMA
Coloración del cuerpo	Manchas gruesas: El cuerpo presenta manchas grandes y notorias.	MCH

	Manchado con puntos finos: El cuerpo tiene pequeñas manchas o puntos.	P
	Sin manchas - claro: El cuerpo no tiene manchas y es de color claro.	CL
	Sin manchas - oscuro: El cuerpo no tiene manchas y es de color oscuro.	OS
Patrón de cuerpo	Mancha dorsal: Hay una mancha en la parte superior del cuerpo.	MD
	Banda de cola: Se observa una banda en la cola.	BC
	Sin marcas: El cuerpo no tiene ningún patrón o marca distintiva.	SM

2.5 Análisis estadístico-morfología clásica

Para el análisis estadístico de la morfología clásica se utilizó el software gratuito de “Past4proyect” versión 4.03. Para estudiar los sets de datos disponibles se hicieron análisis clúster, el cual es un conjunto de técnicas multivariantes que se usan para clasificar un conjunto de individuos en grupos que son homogéneos. El análisis Clúster necesita valores dicotómicos considerando la presencia/ausencia de

las variables morfológicas usando la ordenación de Jaccard que analiza sets de datos binarios como el de nuestro caso (Núñez & Escobedo, 2011). Con este análisis se podrá realizar una comparación de la morfometría de diferentes especies de *Astroblepus* para determinar las diferencias presentes en cuanto a forma y tamaño de sus estructuras corporales.

2.6 Morfometría clásica

Para el análisis de morfometría clásica se escogieron los mejores individuos, que en este caso fueron 59. Se seleccionaron 25 medidas morfométricas (Tabla 2 & Figura 3, 4 y 5) después de una revisión bibliográfica de otros estudios con astroblépidos que permitió establecer las medidas más habituales y que pudieran ser más útiles para diferenciar especies (Jara, 2021; ACCB, 2015; Rodríguez, 2011; Rodríguez, 2015; Cardona, 1994). Las medidas fueron tomadas con calibrador digital marca (Mitutoyo modelo CD-6" CSX) (ver anexo 1).

Tabla 2. Medidas morfométricas utilizadas en el presente estudio con sus correspondientes abreviaciones.

N°	Medidas	Abreviaciones
1	Longitud estándar	LT
2	Longitud total	LE
3	Altura del cuerpo/Profundidad del cuerpo	Alt
4	Longitud cabeza	Lcab
5	Ancho de cabeza	AnCab
6	Altura de cabeza	AltCab
7	Distancia interorbital	DisInt
8	Longitud ojo-orificio nasal	LOjOn
9	Longitud boca	Lboc
10	Longitud disco bucal	Ldisbu
11	Longitud predorsal	Lpredor
12	Longitud preanal	LPrAn
13	Longitud prepelvica	LPrePel

14	Longitud prepectoral	LPrePec
15	Longitud pedúnculo caudal	LPedCau
16	Longitud base aleta dorsal	LBasAlDor
17	Longitud base aleta anal	LBasAlAn
18	Longitud primer radio aleta dorsal	LRadAlDor
19	Longitud primer radio aleta pélvica	LRadAlPel
20	Longitud primer radio aleta pectoral	LRadAlPec
21	Longitud inicio aleta dorsal - final pedúnculo caudal	LAIDorPedCau
22	Longitud inicio aleta dorsal - inicio aleta anal	LAIDorAlAn
23	Longitud inicio aleta dorsal - inicio aleta pélvica	LAIDorAlPe
24	Longitud inicio aleta dorsal - inicio aleta pectoral	LAIDorAlPec
25	Altura pedúnculo caudal	AltPeCau

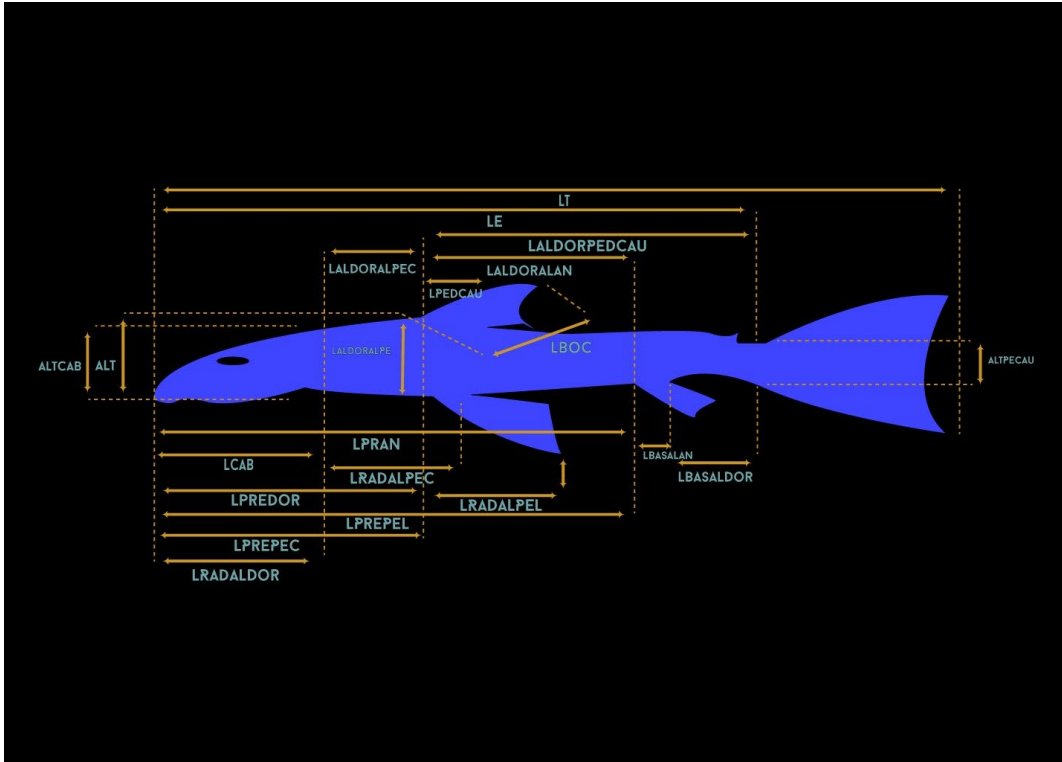


Fig 5. Diagrama con las medidas utilizadas en la morfometría tomado de Jara-Ortega (2021) y modificado por Mendoza (2024).

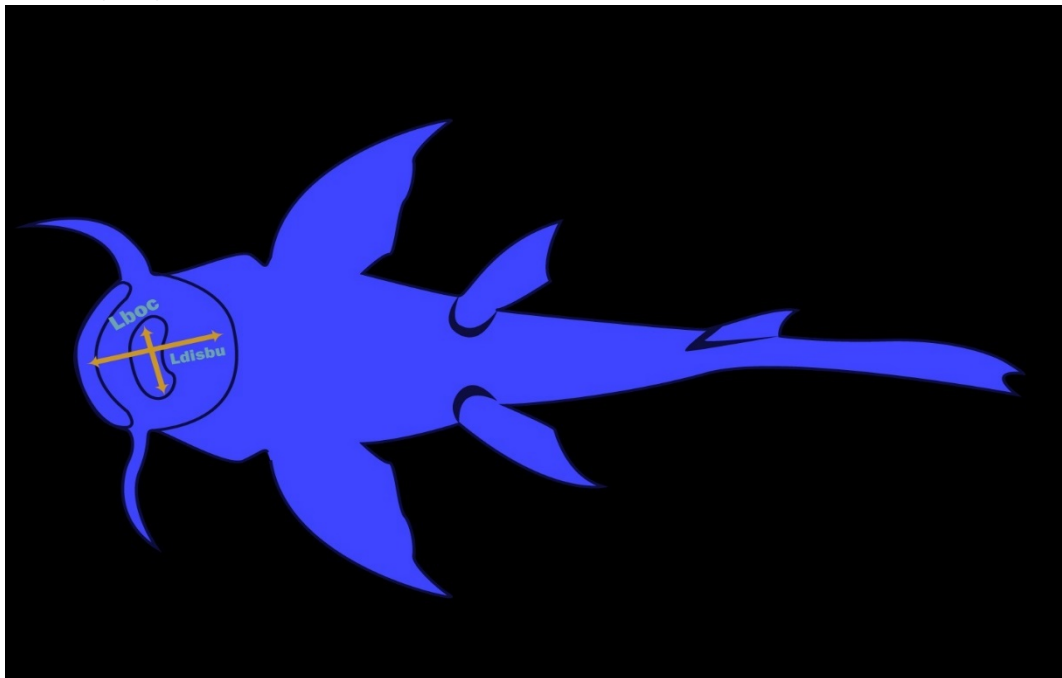


Fig 6. Diagrama de medidas utilizadas en la morfometría donde se encuentra longitud boca (Lboc) y longitud disco bucal (Ldisbu) tomada de Jara-Ortega (2021) modificada por Mendoza (2024)

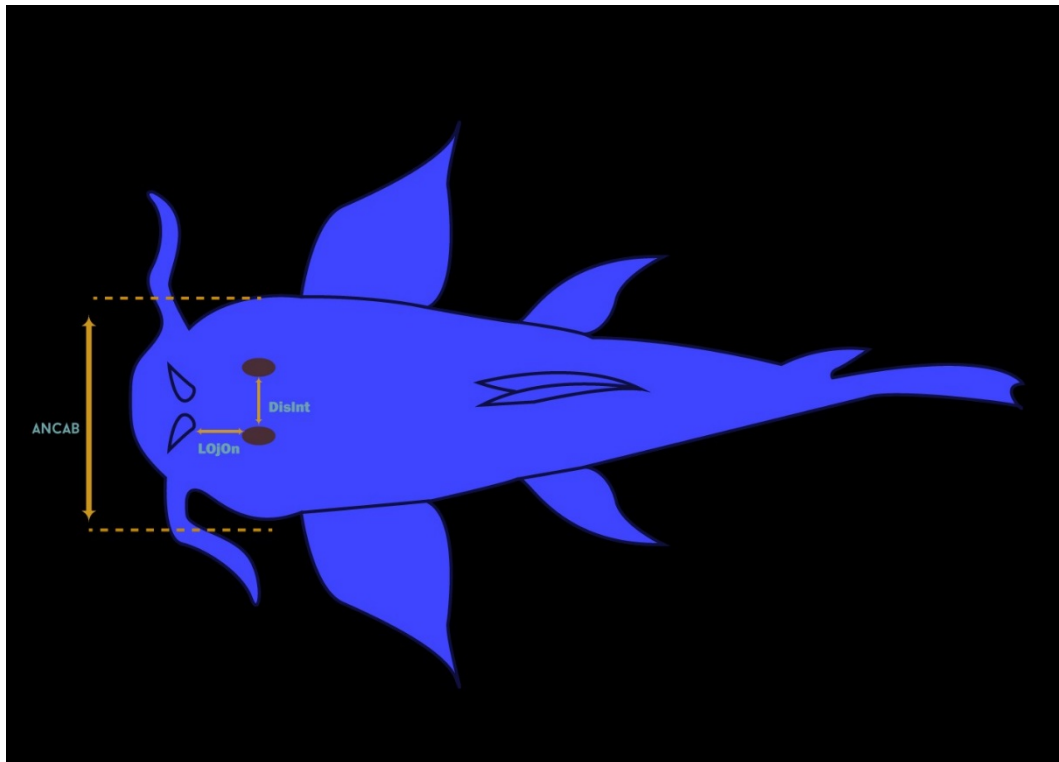


Fig 7. Diagrama de medidas ancho de cabeza (ANCAB), longitud ojo narina (LOjON), distancia inter-orbital (DisInt)

2.7 Análisis estadístico de los datos de morfometría clásica

Los datos morfométricos fueron analizados mediante Análisis de Componentes Principales (PCA), este análisis se usa con el fin de calcular matrices para las variables y de esta manera conocer la similitud que hay entre las diferentes variables. El Análisis de Componentes Principales se realizó con el objetivo de explorar posibles agrupaciones de individuos pertenecientes a las mismas especies morfológicas o a los grupos genéticos observados, utilizando datos con variables cuantitativas y así determinar la variabilidad morfológica y morfométrica de los

diferentes especímenes de peces del género *Astroblepus* y comprender su utilidad para la identificación de especies del género. Para aplicar el Análisis de Componentes Principales se debe tener en cuenta los siguientes preceptos: primero: el número de observaciones debe ser mayor o igual al número de caracteres independientes a analizar; segundo: los caracteres independientes se supondrán estadísticamente independientes; tercero: los caracteres independientes deben presentar distribuciones no gaussianas. Para ello se probaron cuatro tratamientos a los datos: usando los datos crudos, normalizándolos mediante una transformación logarítmica, dividiéndolos por su longitud estándar y estandarizándolos (centrando y escalando). Estos cuatro tratamientos buscan explorar los datos morfológicos considerando diferentes objetivos:

Datos crudos: Esta es la forma original de los datos, sin ninguna transformación aplicada. Permite explorar la morfología de forma directa, pudiendo detectar patrones vinculados, por ejemplo, al tamaño absoluto de las especies potenciales.

Estandarización (centrado y escalado): En este tratamiento, los datos se estandarizan restándoles la media aritmética y dividiéndolos por la desviación estándar. Esto se hace para asegurarse de que todas las variables tengan la misma escala y que las diferencias entre las variables se deban principalmente a diferencias en su forma, no en su escala. La estandarización es importante en el PCA para garantizar que las variables con unidades diferentes no dominen artificialmente el análisis debido a su mayor escala numérica.

División por longitud estándar: En este enfoque los datos se dividen por la longitud estándar de los peces. Esto es útil cuando se desea comparar la proporción de diferentes partes del cuerpo de los peces, independientemente de su tamaño absoluto. Al dividir las medidas por la longitud estándar, se obtienen medidas proporcionales que permiten comparaciones más directas entre individuos de diferentes tamaños.

Transformación logarítmica: La transformación logarítmica se aplica a los datos para reducir la asimetría y estabilizar la varianza. Esto puede ser útil cuando los datos están sesgados hacia la derecha, es decir, cuando hay una gran concentración de valores bajos y algunos valores muy altos. La transformación logarítmica ayuda a hacer que la distribución de los datos sea más simétrica y puede mejorar la interpretación de los resultados del PCA.

2.8 Análisis Genéticos

Para el análisis genético que realizó Rodríguez (2024) en un estudio no publicado, se siguieron las siguientes técnicas. La primera técnica que se realizó fue una extracción y secuenciación del ADN. Los tejidos fueron extraídos durante la salida de campo y conservados en alcohol al 96% en una ultra congeladora. Posteriormente se llevó a cabo la extracción secuenciación y ampliación del ADN genómico en el laboratorio molecular de la Universidad Tecnológica Indoamérica.

Para poder comparar las secuencias de nuestras muestras con otros *Astroblepus* se buscó en el GenBank un total de 25 secuencias de ADN ribosomal de Colombia, Perú y Ecuador. Se escogieron también tres especies de loricáridos *Farlowella nattereri*, *Loricaria simillima* y *Pterygoplichthys multiradiatus* debido

a que anteriores filogenias mostraban una relación cercana entre ellas y que iban a ser usados como grupo control.

Para la edición y alineación de secuencias se utilizó el programa Sublime Text para posteriormente alinear dichas secuencias en el programa Clustal Omega (Thomson et al., 1994) se guardó el documento en un archivo y se procedió a la edición manual.

Por último, en la parte de la filogenia se estimó un modelo de variación de nucleótidos usando jModelTest 2 (Darriba, 2012), RAxML (Stamatakis, 2014) luego se visualizó el árbol en el aplicativo FigTree (Drummond et al., 2007), se añadieron algunos valores de bootstrap y se editó el árbol para una mejor visualización. (Figura 6).

Para los análisis se llevaron a cabo diferentes tipos análisis, entre ellos: PCA (análisis de componentes principales) para la morfometría, CA (análisis de correspondencia) y el análisis de Clúster usando la ordenación de Jaccard para obtener datos de presencia / ausencia de caracteres morfológicos de individuos de *Astroblepus*. Los tres análisis se usaron para conocer que caracteres comparten los grupos morfológicos.



Fig 8. Árbol filogenético Rodríguez y Tobes (2024)

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS

3.1 Morfología clásica observacional

A nivel morfológico y según las claves dicotómicas de Jiménez-Prado et al. (2015), en el trabajo del laboratorio se identificaron ocho especies de *Astroblepus* para la cuenca del río Intag y sus dos microcuencas aledañas: *A. eigenmanni* (22 indiv.), *A. regani* (10 indiv.), *A. fissidens* (9 indiv.), *A. theresiae* (7 indiv.), *A. cyclopus* (6 indiv.), *A. ubidiai* (3 indiv.), *A. simonsii* (1 indiv.) y *A. longifilis* (1 indiv.) (Figura 2).

Según los resultados obtenidos en la morfología clásica observacional, los *A. fissidens* (Figura 7) tienen una aleta adiposa poco desarrollada y sin espina observable, sus dientes en la premaxila son todos bicúspides de dos formas “Tipo Y” y “Tipo guante” el primer radio pectoral está igualado con la membrana de la aleta, la longitud de sus barbillones premaxilares varían desde una longitud intermedia a una muy alargada, los patrones de coloración que presentaron fueron: Sin manchas-oscuros, manchados puntos finos y manchados puntos gruesos estos se asimilan a los de otras especies de *Astroblepus*.



Fig 9. Fotografía de *Astrolepus fissidens*. Foto: Jordi Rivera-Albuja.

Por su parte, *A. eigenmanni* (Figura 8) tiene una aleta adiposa poco desarrollada con espina libre y móvil, sus dientes en la premaxila mayoritariamente unicúspides, el primer radio pectoral está mayoritariamente igualado con la membrana de su aleta, la longitud de sus barbillones premaxilares suele ser variante entre una longitud intermedia a una muy alargada, la mayoría de veces su patrón de coloración suele ser manchado con puntos finos.



Fig 10. Fotografía de *Astroblepus eigenmanni*, Foto: Jordi Rivera-Albuja

Contrario a esto, *Astroblepus thesiae* (Figura 9) tiene una aleta adiposa bien desarrollada con una espina completamente embebida por la piel, la mayoría de sus dientes premaxilares son unicúspides en algunos casos presentan dientes bicúspides, el primer radio pectoral se encuentra de algo alargado a muy alargado, los barbillones premaxilares suelen tener de una longitud intermedia a una muy alargada, con respecto a la coloración del cuerpo la mayoría son manchados con puntos finos, patrón de cuerpo sin marca distintiva.



Fig 11. Fotografía de *Astroblepus theresiae*. Foto: Jordi Rivera-Albuja

Astroplebus cyclopus (Figura 10) tiene una aleta adiposa poco desarrollada con una espina libre y móvil, sus dientes premaxilares todos unicúspides, su primer radio pectoral igualado con la membrana de la aleta, sus barbillones maxilares tienen una longitud que va entre abreviada a una intermedia, su coloración suele ser manchada con puntos finos, suelen presentar una mancha en la parte dorsal.



Fig 12. Fotografía de *Astroblepus cyclopus*, Foto: Jordi Rivera-Albuja

De igual, forma *A. regani* ver (Figura 11) tiene una aleta adiposa poco desarrollada con una espina libre y móvil, sus dientes en la premaxila son todos unicúspides, su primer radio pectoral igualado con la membrana de aleta, sus barbillones maxilares van desde una longitud abreviada a una muy alargada, presentan manchas puntos finos en su coloración, algunos presentan banda en la cola y otros no.



Fig 13. Fotografía de *Astroblepus regani*. Foto: Jordi Rivera-Albuja

Finalmente, *A. ubidai* ver (Figura 12) posee una aleta adiposa poco desarrollada con espina libre y móvil, sus dientes premaxilares son todos unicúspides, el primer radio pectoral se encuentra igualado con la membrana de su aleta, sus barbillones maxilares son abreviados, su coloración varía entre claro y oscuro sin manchas. Además, algunos individuos poseen una banda clara a la altura del pedúnculo caudal.



Fig 14. Fotografía de *Astroblepus ubidai*. Foto: Jordi Rivera-Albuja

En la figura 13 se muestra un mapa con los puntos en donde se realizó la recolección de especímenes. En el Punto A se recolectaron cinco individuos *A. eigenmanni*, cuatro individuos *A. regani* y un individuo *A. longifilis*; en el Punto B se recolectaron diez individuos *A. eigenmanni*; en el Punto C se recolectaron cinco individuos *A. cyclopus*, tres individuos *A. thesaie* y un individuo *A. regani*; en el Punto D se recolectaron cinco individuos *A. fissidens*; en el Punto E se recolectaron tres individuos de *A. fissidens*; en el Punto F se recolectaron cinco individuos *A. eigenmanni*, un individuo *A. regani*, un individuo *A. simonsii* y un individuo *A. thesaie*; en el Punto G se recolectaron cuatro individuos *A. regani*, un individuo *A. ubidai*, un individuo *A. eigenmanni* y un individuo *A. thesaie*; en el Punto H se recolectaron dos individuos *A. ubidai*, dos individuos *A. fissidens*, un individuo *A. thesaie* y un individuo *A. regani*.

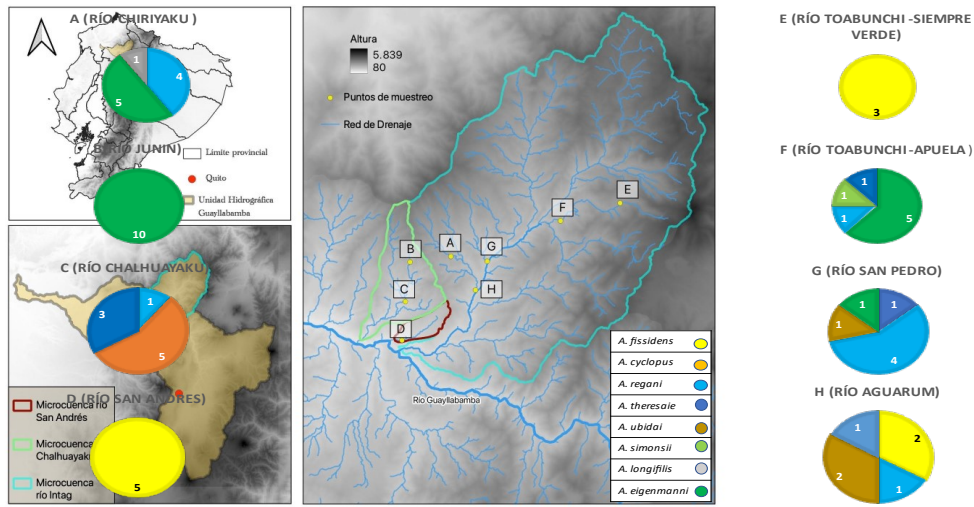


Fig 15. Puntos de muestreo y especies taxonómicas en cada población encontradas por punto de muestreo.

3.2. Análisis estadísticos de Morfología clásica

Una vez realizado los PCA para los 4 set de datos, datos crudos, estandarización, división por longitud estándar, transformación logarítmica se obtuvo que, en el caso de los datos crudos (tabla 3) los primeros nueve componentes mostraron valores Eigenvalues (valores propios) superiores a 1, estos nueve componentes explican el 99,21% de variación en los datos. Los dos primeros componentes son los más significativos con un porcentaje de variación del 96,44%, estos componentes hacen referencia a Longitud estándar y Longitud total. A continuación, se presentan las gráficas de los cuatro PCA llevados a cabo con los datos morfométricos para los distintos tratamientos de datos.

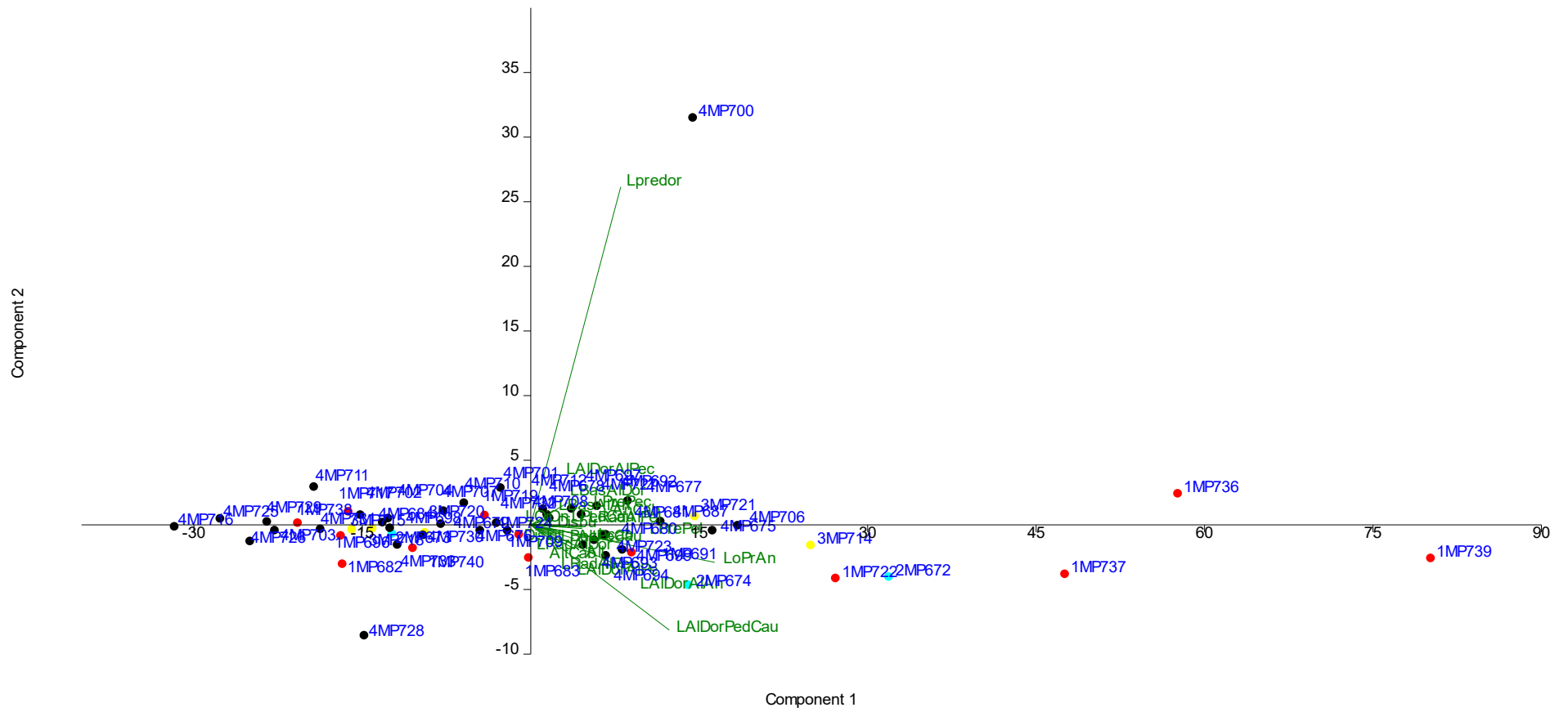


Fig16. Análisis de Componentes Principales Datos usando los datos morfométricos crudos. Los vectores (en verde) se corresponde con las medidas morfométricas. Cada punto representa un pez, y los colores se corresponden a los cuatro grupos genéticos: rojo = grupo rojo = grupo 1; celeste = grupo 2; amarillo = grupo 3; negro = grupo 4.

Tabla 3. Porcentajes de variación y valores propios "Eigenvalue" (Datos crudos) de los componentes principales.

PC	Eigenvalue	% variance
1	910.196	94.194
2	21.764	2.2523
3	8.2272	0.85141
4	5.46848	0.56592
5	4.38537	0.45383
6	2.60864	0.26996
7	2.44583	0.25311
8	1.87034	0.19356
9	1.74517	0.1806

Por otro lado, los datos transformados a logaritmo en la tabla 4, no presentan valores Eigenvalues superiores a 1 y los primeros nueve componentes muestran un porcentaje de variación de 95,79%; a pesar de ello, los dos primeros componentes son los más significativos con un porcentaje de 85,47% de variación los mismos que pertenecen a Longitud total y Longitud estándar.

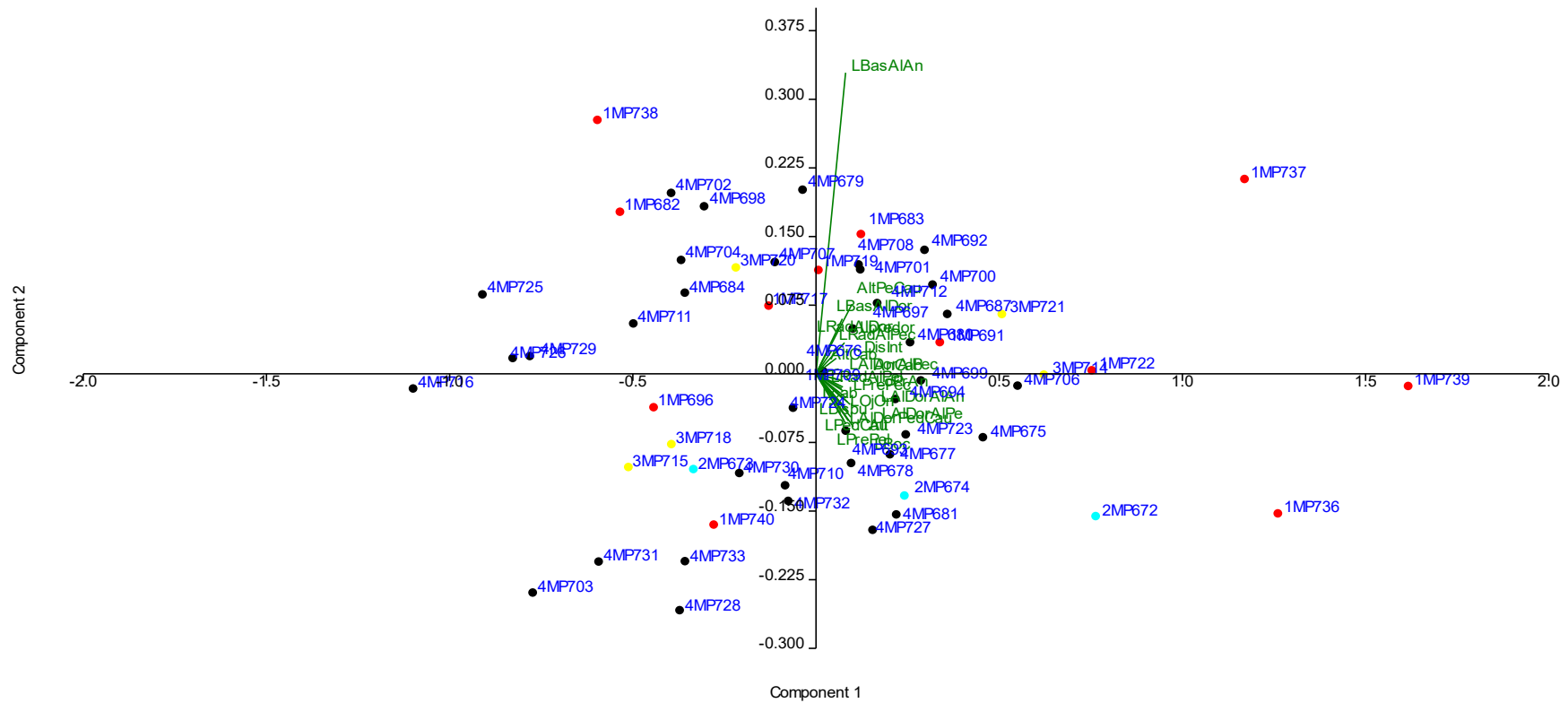


Fig 17. Análisis de Componentes Principales usando la transformación logarítmica. Los vectores (en verde) se corresponde con las medidas morfométricas. Cada punto representa unpez, y los colores se corresponden a los cuatro grupos genéticos: rojo = grupo 1; c celeste = grupo 2; amarillo = grupo 3; negro = grupo 4.

Tabla 4. Porcentajes de variación y valores propios "Eigenvalue" (Transformada a logaritmo) de los componentes principales.

PC	Eigenvalue	% variance
1	0.295044	81.166
2	0.0156964	4.3181
3	0.00870901	2.3958
4	0.00698391	1.9213
5	0.00524713	1.4435
6	0.0050981	1.4025
7	0.00418633	1.1516
8	0.00411515	1.1321
9	0.00325284	0.89485

Para los datos divididos por la longitud estándar de la tabla 5 los resultados fueron: los dos primeros componentes mostraron valores Eigenvalue superiores a 1, los nueve componentes a continuación representan el 99,99% en donde los dos primeros componentes son los más significativos en cuanto a variación.

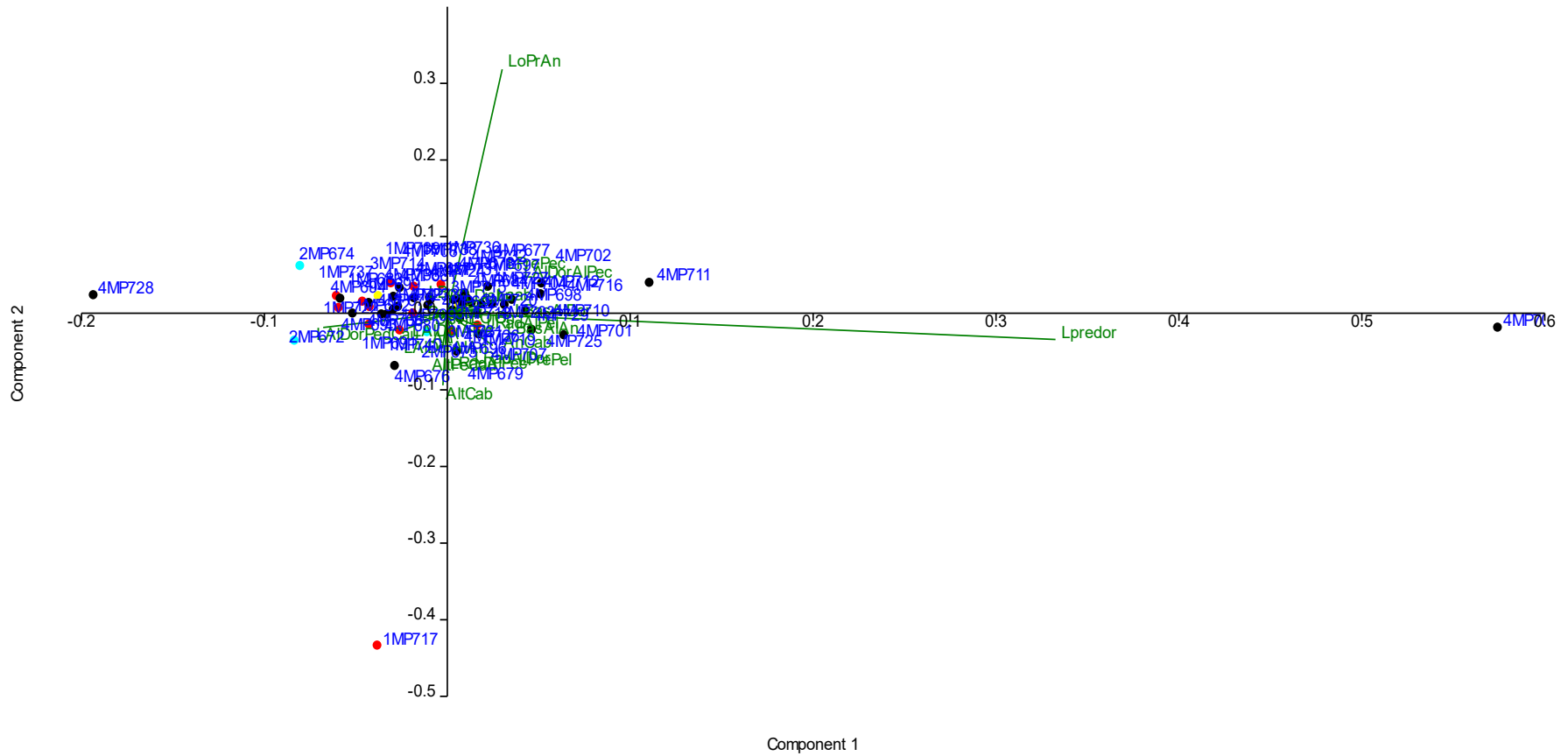


Fig 28. Análisis de Componentes Principales Divididos por longitud estándar. Los vectores (en verde) se corresponde con las medidas morfológicas. Cada punto representa un pez, y los colores se corresponden a los cuatro grupos genéticos: rojo = grupo 1; celeste = grupo 2; amarillo = grupo 3; negro = grupo 4.

Tabla 5. Porcentajes de variación y valores propios "Eigenvalue" (Div. Longitud estándar) de los componentes principales.

PC	Eigenvalue	% variance
1	502.114	99.712
2	1.42811	0.2836
3	0.00752373	0.0014941
4	0.00381118	0.00075684
5	0.00228714	0.00045419
6	0.0017128	0.00034014
7	0.00119188	0.00023669
8	0.000881462	0.00017504
9	0.000611024	0.00012134

Por último, en el caso de los datos estandarizados en la tabla 6, los dos primeros componentes presentan valores Eigenvalue superiores a 1 y la sumatoria de los primeros nueve componentes muestran un porcentaje de 99.99% resaltando los dos primeros componentes que son más significativos hablando con respecto al porcentaje de variación.

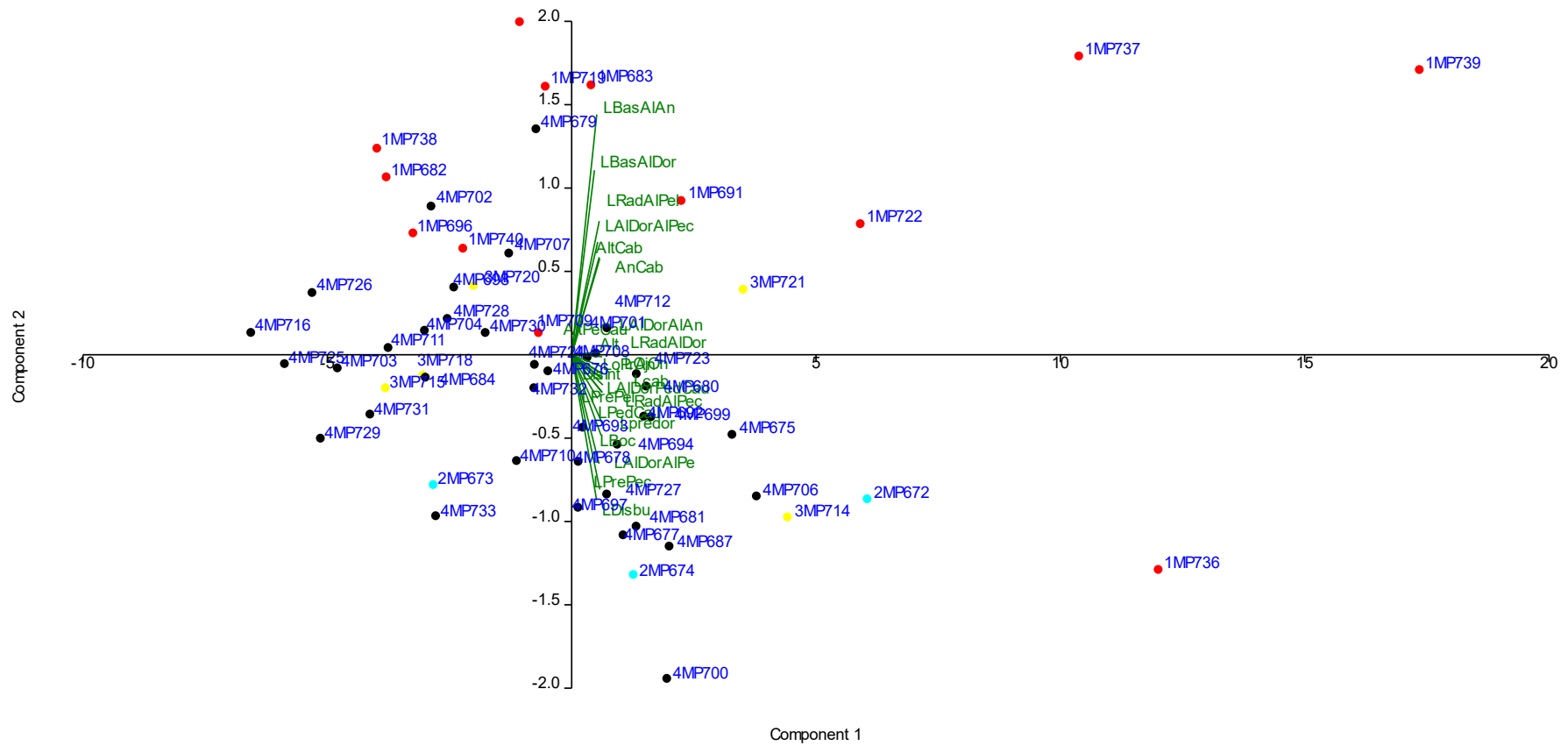


Fig 19. Análisis de Componentes Principales Estandarizados. Los vectores (en verde) se corresponde con las medidas morfológicas. Cada punto representa un pez, y los colores se corresponden a los cuatro grupos genéticos: rojo = grupo 1; celeste = grupo 2; amarillo = grupo 3; negro = grupo 4.

Tabla 6. Porcentajes de variación y valores propios "Eigenvalue" (Estandarizados) de los componentes principales.

PC	Eigenvalue	% variance
1	17.827	81.032
2	0.737159	3.3507
3	0.6123	2.7832
4	0.47109	2.1413
5	0.396969	1.8044
6	0.327997	1.4909
7	0.315259	1.433
8	0.25083	1.1401
9	0.198073	0.90033

Los Análisis de Componentes Principales (PCA) ejecutados con los datos morfológicos para los cuatro tratamientos de datos no mostraron patrones de diferenciación de las muestras ni por grupos taxonómicos (las identificaciones de especies) ni tampoco por grupos genéticos (Figura 17, 18, 19 y 20).

3.3.Análisis genético

Los análisis genéticos dieron como resultado un árbol filogenético dividido en 4 grupos genéticos claramente diferenciados que indican la presencia de cuatro especies diferentes (Figura 6) (Rodríguez, 2024). Estos resultados no corresponden

a las identificaciones taxonómicas que se realizó con la “Guía de peces para aguas continentales en la vertiente occidental del Ecuador” (Jiménez-Prado et al., 2015).

Como se puede observar en el árbol filogenético, existe un grupo con las identificaciones solidas el grupo genético #2 donde solo están presentes *A. fissidens* por otro lado, tenemos al grupo genético #1 donde existen tres individuos *A. fissidens*, *A. theresiae*, *A. longifilis*, mientras que en el grupo genético #3 existen cuatro *A. cyclopus* y un *A. regani* el grupo genético que más especies de *Astroblepus* tiene según las identificaciones taxonómicas es el #4 dentro de este grupo se encuentran *A. eigenmanni*, *A. regani*, *A. ubidai*, *A. fissidens*, *A. cyclopus* y *A. simonsii*.

3.4.Comparación de resultados genéticos y morfológicos

En la Tabla 3 se muestran aquellos rasgos morfológicos que comprenden un 100% de cumplimiento de todas las especies por grupo, es decir que todas las especies de ese grupo contienen dichos caracteres. En el caso del grupo genético #2 que comprenden las especies MP-674, MP 672 y MP-673 identificadas como *A. fissidens*, los caracteres morfológicos que se cumplen son: Aleta adiposa poco desarrollada, sin espina adiposa presente y primer radio de la aleta pectoral (PRAP) igualado con membrana de aleta.

Tabla 7. Tabla de los rasgos morfológicos compartidos entre individuos Astroblepus recolectados. La primera columna incluye el nombre de las especies taxonómicas; la segunda columna contiene el grupo genético al que pertenecen; en la tercera columna está el código de cada individuo y en la cuarta columna está el código

abreviado para cada individuo y en la quinta columna se incluyen los rasgos morfológicos que se cumplen al cien por ciento en cada grupo genético. Realizado por: Mendoza, 2024.

Identificación	Grupo #	Cod	Código abreviado	Rasgos solidos con 100% de cumplimiento
<i>A. fissidens</i>	Grupo#2	MP-674	B1	<ul style="list-style-type: none"> • Aleta adiposa poco desarrollada • Sin espina adiposa presente • PRAP igualado con membrana de aleta
<i>A. fissidens</i>		MP-672	B2	
<i>A. fissidens</i>		MP-673	B3	
<i>A. regani</i>	Grupo#3	MP-714	C1	<ul style="list-style-type: none"> • Aleta adiposa poco desarrollada • Espina adiposa libre y móvil • Dientes unicúspides • PRAP igualado con membrana de aleta
<i>A. cyclopus</i>		MP-721	C2	
<i>A. cyclopus</i>		MP-720	C3	
<i>A. cyclopus</i>		MP-718	C4	
<i>A. cyclopus</i>		MP-715	C5	
<i>A. longifilis</i>	Grupo#1	MP-696	A1	<ul style="list-style-type: none"> • Aleta adiposa bien desarrollada
<i>A. theresiae</i>		MP-682	A2	
<i>A. theresiae</i>		MP-719	A3	
<i>A. theresiae</i>		MP-722	A4	
<i>A. theresiae</i>		MP-717	A5	
<i>A. theresiae</i>		MP-691	A6	
<i>A. theresiae</i>		MP-683	A7	
<i>A. theresiae</i>		MP-709	A8	
<i>A. fissidens</i>		MP-736	A9	
<i>A. fissidens</i>		MP-737	A10	
<i>A. fissidens</i>		MP-738	A11	
<i>A. fissidens</i>		MP-739	A12	
<i>A. fissidens</i>		MP-740	A13	
<i>A. eigenmanni</i>	Grupo#4	MP-733	D1	<ul style="list-style-type: none"> • Aleta adiposa poco desarrollada
<i>A. eigenmanni</i>		MP-731	D2	
<i>A. eigenmanni</i>		MP-723	D3	
<i>A. eigenmanni</i>		MP-724	D4	
<i>A. eigenmanni</i>		MP-725	D5	
<i>A. eigenmanni</i>		MP-726	D6	
<i>A. eigenmanni</i>		MP-727	D7	
<i>A. eigenmanni</i>		MP-728	D8	
<i>A. eigenmanni</i>		MP-729	D9	
<i>A. eigenmanni</i>		MP-730	D10	
<i>A. eigenmanni</i>		MP-675	D11	
<i>A. eigenmanni</i>		MP-676	D12	
<i>A. eigenmanni</i>		MP-678	D13	
<i>A. eigenmanni</i>		MP-679	D14	
<i>A. eigenmanni</i>		MP-680	D15	
<i>A. eigenmanni</i>		MP-710	D16	
<i>A. eigenmanni</i>	MP-698	D17		
<i>A. eigenmanni</i>	MP-700	D18		
<i>A. eigenmanni</i>	MP-701	D19		

<i>A. eigenmanni</i>	MP-702	D20
<i>A. eigenmanni</i>	MP-703	D21
<i>A. eigenmanni</i>	MP-732	D22
<i>A. regani</i>	MP-707	D23
<i>A. regani</i>	MP-697	D24
<i>A. regani</i>	MP-699	D25
<i>A. regani</i>	MP-704	D26
<i>A. regani</i>	MP-687	D27
<i>A. regani</i>	MP-692	D28
<i>A. regani</i>	MP-708	D29
<i>A. regani</i>	MP-711	D30
<i>A. regani</i>	MP-712	D31
<i>A. regani</i>	MP-681	D32
<i>A. ubidai</i>	MP-684	D33
<i>A. ubidai</i>	MP-694	D34
<i>A. ubidai</i>	MP-706	D35
<i>A. fissidens</i>	MP-693	D36
<i>A. cyclopus</i>	MP-716	D37
<i>A. simonsii</i>	MP-677	D38

Por otro lado, para el grupo genético #3, encontramos los siguientes especímenes MP-721, MP-720, MP-718 y MP-715 identificados como *A. cyclopus*, a excepción de MP-714 que fue identificado como *A. regani*. Los caracteres que se cumple son: aleta adiposa poco desarrollada, espina adiposa libre y móvil, dientes unicúspides y primer radio de la aleta pectoral igualado con membrana.

Para el grupo genético #1 se encuentran los siguientes individuos: MP-682, MP-719, MP-722, MP-717, MP-691, MP-683, MP-709 identificados como *A. theresiae*, y por otro lado, MP-736, MP-737, MP-738, MP-739, MP-740 se identifican como *A. fissidens*. Por último, dentro de este mismo grupo genético se encuentra MP-696 identificado como *A. longifilis*. El único carácter solido compartido por todos los especímenes de este grupo es una aleta adiposa bien desarrollada.

Por último, el grupo genético #4 se encuentra formado por los siguientes individuos: MP-733, MP-731, MP-723, MP-724, MP-725, MP-726, MP-727, MP-728, MP-729, MP-730, MP-675, MP-676, MP-678, MP-679, MP-680, MP-710, MP-698, MP-700, MP-701, MP-702, MP-703 y MP-732, *identificados* como *A. eigenmanni*; MP-707, MP-697, MP-699, MP-704, MP-687, MP-692, MP-708, MP-711, MP-712 y MP-681 identificados como *A. regani*; MP-684, MP-694 y MP-706 como *A. ubidai*; MP-693 como *A. fissidens*; MP-716 como *A. cyclopus*; MP-677 como *A. simonsii*. Todos los individuos comparten como carácter distintivo una aleta adiposa poco desarrollada.

3.5. Análisis de correspondencia (CA)

Una vez realizados los análisis de correspondencia (CA) se pudo determinar las agrupaciones vinculadas a los caracteres y el peso, de esta manera se crearon agrupaciones de individuos que eran similares. Las gráficas realizadas para el análisis se dividieron en dos, la primera para destacar los grupos genéticos (Figura 13) y la segunda resaltó la identificación taxonómica (Figura 14). Para una mayor apreciación de las variables y especímenes en la gráfica se realizó una abreviación de los nombres (Tabla 1).

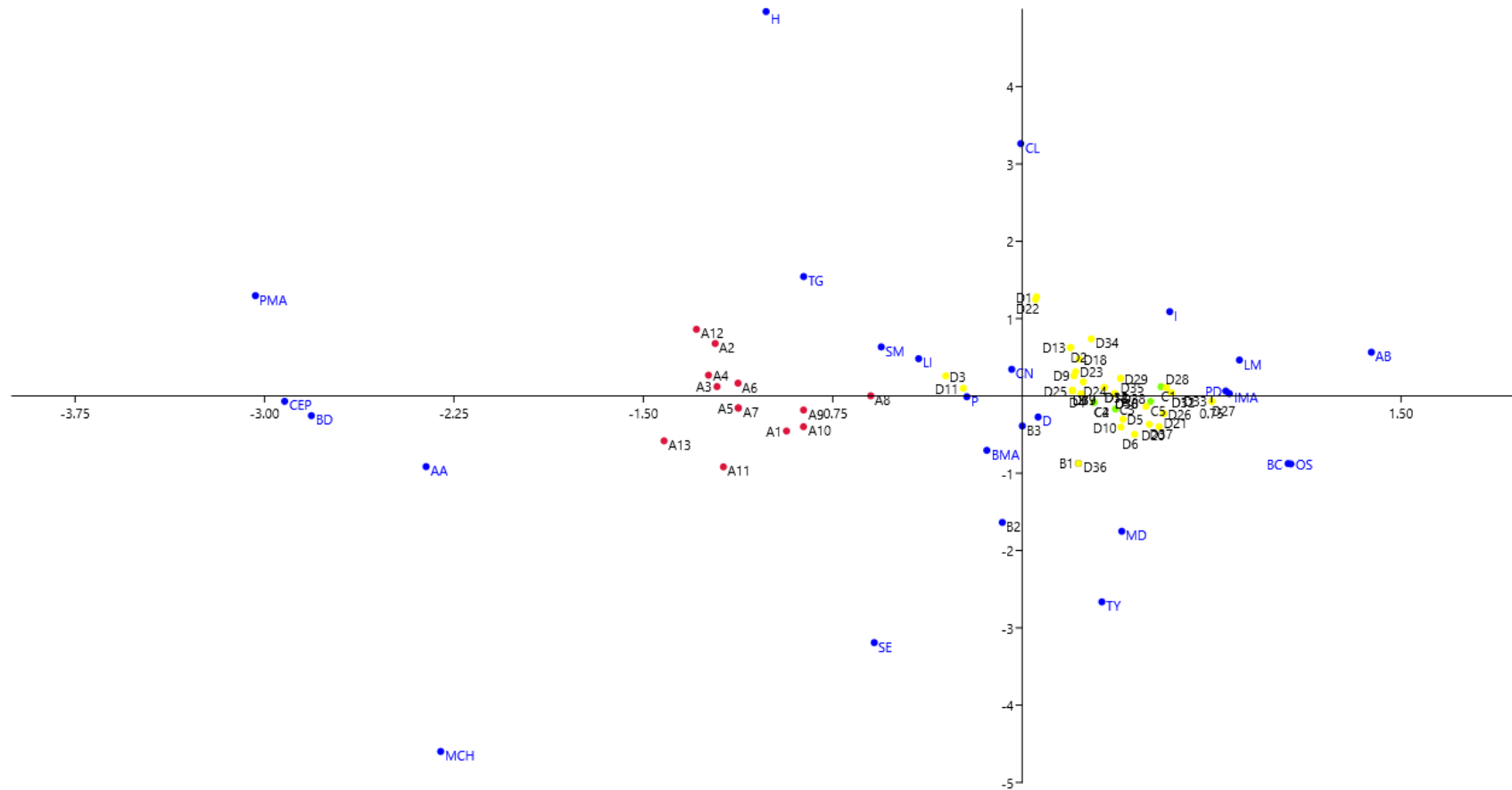


Fig 20. Análisis de correspondencia de caracteres morfológicos e individuos de *Astroblepus* por grupos genético. Puntos de colores indican grupos genéticos: rojo = grupo #1 (A); azul = grupo #2 (B); verde = grupo #3; amarillo = grupo #4.

En este análisis se tuvo como resultado una relación entre los caracteres morfológicos como, el primer radio de la espina pectoral muy alargado (PMA) o algo alargada (AA), espina de la adiposa bien desarrollada (BD), espina adiposa completamente embebida por la piel (CEP) y un patrón de coloración con manchas gruesas (MCH), que agrupó a los individuos del grupo genético “A” (#1) hacia la izquierda de la gráfica, señalando estos caracteres como distintivos de este grupo genético. Por otra parte, se observa que existe una sobreposición entre los individuos correspondientes a los grupos genéticos “D” y “C” (#4 y #3) y vinculados a caracteres como barbillones premaxilares abreviados (AB), un patrón de coloración con banda en la cola (BC) pero oscuro y sin manchas en el resto del cuerpo (OS). Esto sugiere que la variación morfológica entre los peces de estos dos grupos es mínima compartiendo también otros caracteres como la hendidura del labio inferior derecha (D), una aleta adiposa poco desarrollada (PD), la espina pectoral abreviada (IMA). En el caso del grupo genético “B” (#2) las características morfológicas que agruparon a estos peces abajo en el centro de la gráfica son: patrón de coloración con mancha dorsal (MD), aleta adiposa sin espina evidente (SE), y dientes bicúspides con una estructura similar a la de la letra “Y” (TY). Aunque este grupo también parece mostrar caracteres distintivos, y agrupa a los tres peces pertenecientes al grupo genético “B” (#2), entre ellos se incluye un individuo del grupo genético “D” (#4) que muestra mismos patrones morfológicos.

La Figura 12 muestra este mismo análisis CA, pero resaltando las especies taxonómicas con colores diferenciados. Cada pez que se corresponde a un punto coloreado según las ocho especies identificadas taxonómicamente: amarillo= *A.*

fissidens, celeste= *A. regani*, anaranjado= *A. cyclopus*, gris= *A. longifilis*, azul= *A. theresiae*, verde= *A. eigenmanni*, granate= *A. ubidai*, verde claro= *A. simonsii*. Como se puede observar en el gráfico, las características morfológicas hacen que las diferentes especies se mezclen, por ejemplo, a la derecha de la gráfica se pueden ver agrupados y mezclados los individuos identificados como *A. regani*, *A. cyclopus*, *A. eigenmanni* y *A. ubidai*. Por otro lado, a la izquierda de la gráfica se agrupan los *A. theresiae* con unos individuos de *A. fissidens* y un *A. longifilis*.

Por último, el análisis clúster demuestra una clara distinción entre dos grandes grupos (Figura 13). Por un lado, se diferencian claramente del resto los peces pertenecientes al grupo genético A (#1) (rojo). El otro gran grupo está formado por un lado por un subgrupo que se diferencia del resto que incluye a los tres peces del grupo B (#2) (azul), junto con un individuo del grupo D (#4) (amarillo). El resto de los peces forman un gran grupo en el que se mezclan los identificados dentro del grupo genético D (#4) (amarillo) con el grupo genético C (#3) (verde). Solo un pez, el D12 (amarillo), se encuentra separado del resto en este gran grupo.

Al analizar este cluster considerando las especies taxonómicas la gráfica nos muestra una distribución de especies bastante dispersa (Figura 14). En el grupo correspondiente a los peces del grupo genético #2 ubicado en la parte superior de la gráfica, vemos que agrupa a todos los peces identificados con *A. theresiae* (siete), mezclados con cinco *A. fissidens* y otro individuo clasificado como *A. longifilis*. Por otro lado, tenemos otro grupo ubicado abajo en la gráfica, compuesto por cuatro peces identificados taxonómicamente como *A. fissidens*, siendo tres de ellos parte del grupo genético #2 y otro del grupo genético #4. El tercer gran grupo de la gráfica

es una mezcla del resto de las especies, donde no están las mencionadas en los dos grupos anteriores.

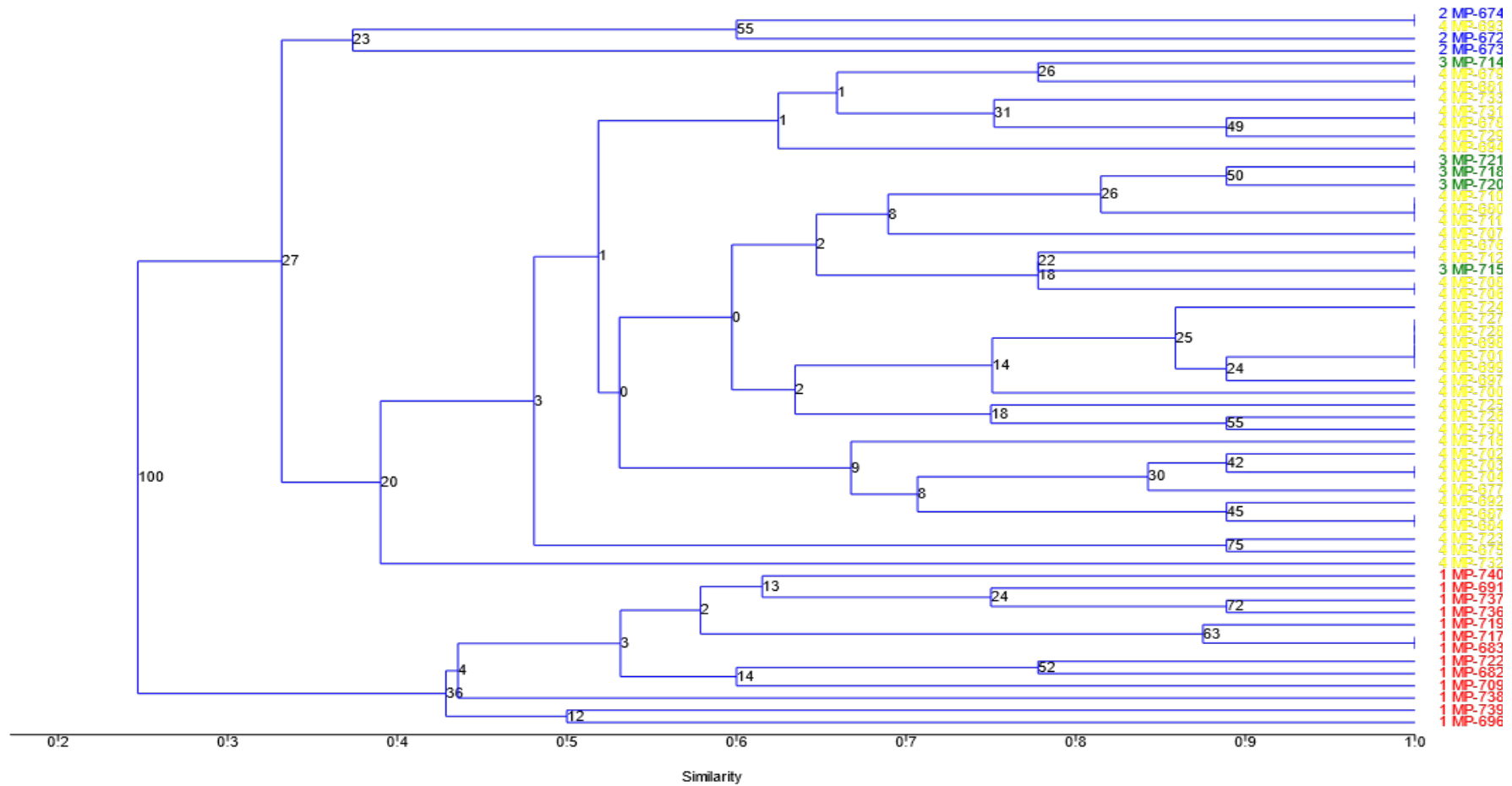


Fig 2115. Análisis clúster usando la ordenación de Jaccard para datos de presencia/ausencia de caracteres morfológicos de individuos de *Astroblepus*, resaltando los grupos genéticos con colores: rojo = grupo #1 (A); azul = grupo #2 (B); verde = grupo #3; amarillo

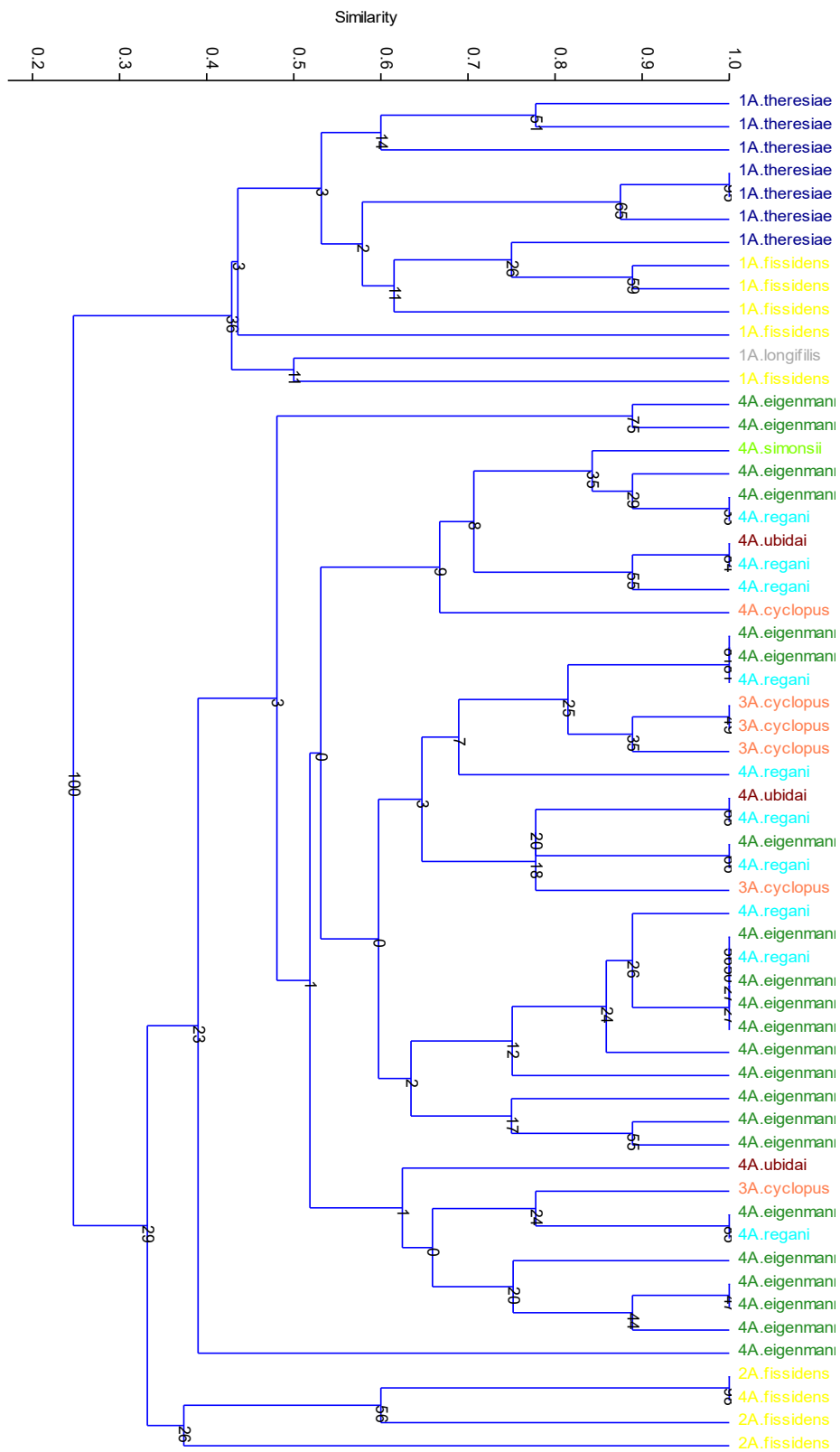


Fig 2224. Análisis clúster usando la ordenación de Jaccard para datos de presencia/ausencia de caracteres morfológicos de individuos de *Astroblepus*, resaltando las especies taxonómicas con sus nombres y colores distintos4.

CAPÍTULO IV

4. DISCUSIÓN

La morfología y morfometría clásica son instrumentos importantes para entender la diversidad biológica, la evolución del género y la adaptación que tienen sobre el hábitat. Estudios morfométricos como el de (Jara-Ortega, 2021; Reis et al. 2016) indican que existe diferencias significativas en los caracteres morfológicos entre las diferentes especies y poblaciones del género *Astroblepus*. Además (López-Fernández et al., 2005) indica que la morfología y morfometría del género *Astroblepus* son claves para el manejo y conservación de estas especies, ya que contribuyen a la delimitación de especies y el estado de conservación de las poblaciones. Asimismo, Winemiller (1993) dice que la morfología funcional puede brindar información importante para restaurar hábitats y reintroducir especies en peligro de extinción. Sin embargo, no sucedió lo mismo en nuestra investigación, los resultados de los diferentes análisis demuestran que los caracteres morfológicos pueden ser significativos, pero no definitorios.

De acuerdo con los resultados obtenidos tras las identificaciones taxonómicas, existen ocho especies identificadas morfológicamente, *A. fissidens*, *A. regani*, *A. eigenmanni*, *A. cyclopus*, *A. simonsii*, *A. theresiae*, *A. longifilis* y *A. ubidai*. Estos resultados difieren de los análisis filogenéticos (Figura 6) realizados por Rodríguez y Tobes (2024), en los cuales se encontraron cuatro grupos genéticos para las mismas muestras analizadas en este estudio. Esta diferencia entre ambos estudios es consecuencia de la confusa identificación de las especies de este género, ya que los rasgos morfológicos considerados habitualmente suelen ser compartidos.

Schaefer et al., (2011) señalan que, por ello, la distinción entre las especies de *Astroblepus* a nivel morfológico es compleja. Es así que, otros trabajos que han empleado técnicas moleculares han sugerido la sobreestimación de especies del género a nivel morfológico, lo que quiere decir que la genética ha mostrado menos especies de las que muestra la identificación taxonómica (Schaefer et al., 2011; Hernandez-Zapata et al., 2018), tal y como ha ocurrido en nuestro estudio.

Una de las razones para la sobreestimación de especies dentro de la familia Astroblepidae mediante análisis morfológicos podría ser consecuencia de una gran variabilidad a nivel intra e interespecífico, por ejemplo, como se puede observar el individuo 4MP-693 perteneciente al grupo genético # 4 (D) (amarillo) se mezcla con los individuos 2MP-674, 2MP-672 Y 2MP-673 identificados como *A. fissidens* dentro del grupo genético # 2 (B) (azul). Esto se debe a que comparten caracteres morfológicos (Figura 13) como: aleta adiposa poco desarrollada, sin espina adiposa evidente, dientes bicúspides tipo (Y), primer radio de la aleta pectoral igualado con membrana de aleta y barbillones maxilares muy alargados. Lo mismo sucede con los grupos genéticos # 3(C) y 4(D) que se mezclan entre sí, compartiendo rasgos morfológicos como aleta adiposa poco desarrollada, espina libre y móvil, dientes unicúspides cónicos y primer radio de aleta pectoral igualado con membrana, como lo muestra el clúster de la (Figura 15). Por otro lado, el grupo genético # 1 (A) (rojo) es el único grupo que no presenta ninguna especie de otro grupo genético. Además, también contribuye a esta confusión el vacío de información que existe en la literatura siendo escasos los estudios taxonómicos del grupo, limitándose a trabajos puntuales en áreas geográficas concretas como Ecuador, Perú, Colombia (Schaefer et al., 2011; Hernandez-Zapata et al., 2018; Jara-Ortega, 2021; Guerra-Astudillo,

2022). Los recursos utilizados en este estudio para determinar la morfológica son contundentes, sin embargo, para realizar un estudio morfológico de esta especie no existe una descripción clara y única para cada carácter; por ello la descripción de dichos caracteres puede llegar a ser subjetiva debido a la interpretación que puede dar cada investigador.

Según el CA (Figura 13), si bien existe algo de correspondencia entre algunos caracteres como el primer radio de la espina pectoral muy alargado (PMA) o algo alargada (AA), espina de la adiposa bien desarrollada (BD), espina adiposa completamente embebida por la piel (CEP) y un patrón de coloración con manchas gruesas (MCH), que agrupó a los individuos del grupo genético “A”. También existen otros caracteres que producen una sobreposición entre los diferentes individuos como los grupos genéticos “D” y “C” (#4 y #3) como barbillones premaxilares abreviados (AB), un patrón de coloración con banda en la cola (BC) pero oscuro y sin manchas en el resto del cuerpo (OS). Sin embargo, Esto sugiere que la variación morfológica entre los peces de estos dos grupos es mínima compartiendo también otros caracteres como la hendidura del labio inferior derecha (D), una aleta adiposa poco desarrollada (PD), la espina pectoral abreviada (IMA). Por otro lado, en el caso del grupo genético “B” (#2) las características morfológicas que agruparon a estos peces abajo en el centro de la gráfica son: patrón de coloración con mancha dorsal (MD), aleta adiposa sin espina evidente (SE), y dientes bicúspides con una estructura similar a la de la letra “Y” (TY). Lo que quiere decir que características morfológicas analizadas en este estudio no son definitivas para la identificación de los distintos grupos genéticos de *Astroblepus*. Se puede apreciar que algunos individuos se diferenciaron del resto (1MP739, 1MP736,

1MP737, 4MP700), pero pertenecen a morfoespecies distintas y grupos genéticos distintos, por lo que es posible que su singularidad sea una cuestión vinculada con características del individuo y no un patrón compartido. El resto de las muestras aparecieron mezcladas y superpuestas denotando que la morfometría no es útil a la hora de identificar las distintas especies o grupos genéticos del género *Astroblepus*.

El análisis de componentes principales PCA ha sido utilizado para examinar la variación morfométrica dentro y entre diferentes especies de peces. Investigaciones sobre la morfometría sustentados en PCA han consentido las identificaciones de patrones con respecto a la forma y tamaño (Adams y Collyer, 2009). Asimismo, los PCA han sido utilizados para investigar sobre el comportamiento de comunidades de peces en relación con las características morfológicas o ecológicas (Jackson y Harvey, 1997). Sin embargo, según los resultados obtenidos de los análisis de PCA donde indican que a pesar de que existen individuos que se separan del resto como: 1MP-736, 1MP-737, 1MP-739 y 4MP-700 estos pertenecen a grupos genéticos y morfoespecies distintos por lo que es posible que su peculiaridad del individuo en si y no un patrón compartido. Además, el resto de muestras aparecieron mezclados entre sí lo que quiere decir que la morfometría no es útil para identificar especies o grupos genéticos del género *Astroblepus*.

La morfología y la morfometría clásica tal como lo plantea (Jara-Ortega, 2021) no son idóneas para la identificación taxonómica del género *Astroblepus* como lo muestran los resultados, por otro lado, los análisis filogenéticos sin una

base de información genética robusta muestran un agrupamiento de especies, mas no se identifica de manera concisa las especies del género (Rodríguez, 2024). Esto quiere decir que uso de técnicas morfológicas pueden ser útil, pero no arrojan resultados objetivos para la identificación de esta especie que comparte varios caracteres morfológicos.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La identificación de los peces del género *Astroblepus* mediante la aplicación de técnicas como la morfología y morfometría no es suficiente. Es por eso que no se podría realizar una clave morfológica ya que los rasgos morfológicos entre las diferentes especies se solapan demasiado, además las descripciones de dichos caracteres pueden llegar a ser no tan claras e interpretarse de manera subjetiva y diferente por cada investigador.

Los resultados de los análisis PCA (análisis de componentes principales para la morfometría), CA (análisis de correspondencia) y Clúster que se realizaron para la morfología no muestran diferencias morfológicas y morfométricas significativas para cada uno de los individuos, esto podría ser resultado de la subjetividad con la que se ejecutaron los estudios morfológicos de los individuos.

Es por ello que se recomienda trabajar con análisis osteológicos para determinar de manera objetiva los caracteres para la identificación de especies. De esta forma facilitar y garantizar un buen proceso en las identificaciones del género *Astroblepus*.

6. LITERATURA CITADA

- Adams, D. C., y Funk, D. J. (1997). Morphometric inferences on sibling species and sexual dimorphism in *Neochlamisus bebbianae* leaf beetles: Multivariate applications of the thin-plate spline. *Systematic Biology*, 46(1).
<https://doi.org/10.1093/sysbio/46.1.180>
- Adams, D. C., Rohlf, F. J., y Slice, D. E. (2004). Geometric morphometrics: Ten years of progress following the 'revolution.' *Italian Journal of Zoology*, 71(1).
<https://doi.org/10.1080/11250000409356545>
- Adams, D. C., Rohlf, F. J., y Slice, D. E. (2013). A field comes of age: Geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix*, 24(1).
<https://doi.org/10.4404/hystrix-24.1-6283>
- Adams, D. C., & Collyer, M. L. (2009). A general framework for the analysis of phenotypic trajectories in evolutionary studies. *Evolution*, 63(5), 1143-1154.
- Aguiar Gómez, W., Sánchez Garcés, G. C., y Bonilla, P. A. (2020). Ictiofauna del río Manso (Caldas, Colombia). *Biota Colombiana*, 21(1).
<https://doi.org/10.21068/c2020.v21n01a03>
- Aguirre W, Anaguano-Yancha F, Burgos-Morán R, Carrillo-Moreno C, Guarderas L, Jácome-Negrete I, Jiménez-Prado P, Laaz E, Nugra F, Revelo W, Rivadeneira J, Utreras V, Valdiviezo-Rivera J (2023). Lista Roja Nacional de peces de agua dulce de Ecuador. Version 1.2. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica - Ecuador. Checklist dataset. <https://doi.org/10.60545/hihummm>

- Aguirre W y Jiménez-Prado P. (2018). *Guía práctica de Morfometría Geométrica. Aplicaciones en la Ictiología*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE). Esmeraldas, Ecuador. 104 pp
- Ardila Rodriguez, Carlos. (2015). *Astroblepus ortegai y Astroblepus quispei* DOS NUEVAS ESPECIES DE LOS ANDES DEL PERÚ.
- Barriga, R. (2012). Lista de peces de agua dulce e intermareales del Ecuador.
- Benítez, H. A., y Püschel, T. A. (2014). Modelando la varianza de la forma: Morfometría geométrica aplicaciones en biología evolutiva. *International Journal of Morphology*, 32(3). <https://doi.org/10.4067/S0717-95022014000300041>
- BirdLife International. (2024). Important Bird Area factsheet: Intag-Toisán. Recuperado de <https://datazone.birdlife.org/site/factsheet/intag-tois%C3%A1n-iba-ecuador/text> el 08 de febrero del 2024
- Buitrago-Suarez, U. A., Mojica, J. I., y Bonneau, L. K. (2015). Habitat perturbation and survival strategies of the Andean catfish *Astroblepus mariae* (Fowler, 1919). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(150), 36-41.
- Cardona, L., y Guerao, G. (1994). *Astroblepus riberae*, una nueva especie de siluriforme cavernícola del Peru (Osteichthyes: Astroblepidae). *Mem. Biospeleol*, 12, 21-24.
- Cinco nuevas especies de peces Astroblépidos para los Andes Colombianos. (2015). REVISTA DE LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS, 1(27). Recuperado a partir de <https://www.revistaaccb.org/r/index.php/accb/article/view/110>

- Darriba D T. (2012). jModelTest 2: more models, new heuristics and parallel computing. *Nature Methods*, 9(8), 772.
- De Crop, W., Pauwels, E., Van Hoorebeke, L., y Geerinckx, T. (2013). Functional morphology of the Andean climbing catfishes (Astroblepidae, Siluriformes): Alternative ways of respiration, adhesion, and locomotion using the mouth. *Journal of Morphology*, 274(10), 1164-1179.
- Drummond, A. J., & Rambaut, A. (2007). BEAST: Bayesian evolutionary analysis by sampling trees. *BMC Evolutionary Biology*, 7(1), 214. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-7-214>
- Eschmeyer, W. N., Fricke, R., y van der Laan, R. (2013). *Catalog of Fishes*. California Academy of Sciences.
- Gloria, A. F. (1983). Preferencias de hábitat de peces siluriformes de aguas continentales de Chile (Fam. Diplomystidae y Trichomycteridae). *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 18(4). <https://doi.org/10.1080/01650528309360637>
- Gosline, W. A. (1945). Catálogo dos nematognatos de água-doce da América do Sul e Central. *Bol. Mus. Nac. Ser. Zool.*, 33, 1-138.
- Guerra Astudillo, P. J. (2022). Análisis de morfometría geométrica de peces de las regiones biogeográficas del Ecuador (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Hernández-Zapata, M., Ochoa-Orrego, L. E., & Jiménez-Segura, L. F. (2018). Métodos de ADN Barcode revelan diversidad de especies de *Astroblepus* en la cuenca del río Porce, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 40(108), 59-71.

- Huertas-Rodríguez, J. C., Sanín-Acevedo, C., y Cataño, A. (2018). Los peces y sus servicios ecosistémicos en la cuenca del río Porce. *Actualidades Biológicas*, 40(108), 72-84.
- Intag. (2011, August 17). Corporación Toisán. <https://toisanintag.wordpress.com/intag/>
- Jackson, D. A., & Harvey, H. H. (1997). Qualitative and quantitative sampling of diel variation in a fish assemblage of a North American stream. *Journal of Fish Biology*, 51(2), 366-377.
- James Rohlf, F., y Marcus, L. F. (1993). A revolution morphometrics. In *Trends in Ecology and Evolution*, 8(4). [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(93\)90024-J](https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90024-J)
- Jara Ortega, J. P. (2021). *Revisión morfológica de Astroblepus whymperei (Boulenger 1890), Astroblepus eigenmanni (Regan 1904), Astroblepus theresiae (Steindachner 1907) y Astroblepus mindoensis (Regan 1916), registradas en la cuenca alta del río Esmeraldas* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Jiménez Prado, P. (2015). Guía de peces para aguas continentales en la vertiente occidental del Ecuador.
- López-Fernández, H., Winemiller, K. O., & Honeycutt, R. L. (2005). Multilocus phylogeny and rapid radiations in Neotropical cichlid fishes (Perciformes: Cichlidae: Cichlinae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 36(1), 154-168.
- Mena-Valenzuela P, Valdiviezo-Rivera J. (2016). Leucismo en *Astroblepus ubidiai* (Pellegrin 1931) (Siluriformes: Astroblepidae), de la provincia de Imbabura, Ecuador. *Biota Colombiana*, 17(1):131–136. doi:10.21068/c2016v17r01a10.

- Miranda-Chumacero G. (2006). Distribución altitudinal, abundancia relativa y densidad de peces en el Río Huarinilla y sus tributarios (Cotapata, Bolivia). *Ecología en Bolivia*. 41(1):79–93.
- Narváez Verdesoto, K. V. (2023). Delimitación molecular de las especies de *Astroblepus mindoensis* y *Astrobepus theresiae* presentes en los sistemas fluviales de tres localidades de la cuenca alta del río esmeraldas (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Nugra, F. (2014). “Caracterización de la ictiofauna dentro de la sub cuenca del río Ilaviuco”. Universidad Politécnica Salesiana.
- Núñez-Colín, C. A., & Escobedo-López, D. (2011). Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agronomía mesoamericana*, 22(2), 415-427.
- Puetate, C., y Paúl, K. (2023). DNA Barcoding de tres morfoespecies de *Astroblepus* (Siluriformes: Astroblepidae) del noroccidente de Pichincha-Ecuador (Bachelor's thesis).
- Restrepo-Santamaria, D., Herrera-Pérez, J., Muñoz-Duque, S., Ospina-Pabón, J. G., Londoño, J. P., Loaiza-Santana, C. A., ... Y Jiménez-Segura, L. (2022). Inventarios de peces en la cuenca del río Magdalena (Colombia) como herramienta para la gestión de su conservación. *Caldasia*, 44(2), 356-367.
- Reis, R. E., Albert, J. S., Di Dario, F., Mincarone, M. M., Petry, P., & Rocha, L. A. (2016). Fish biodiversity and conservation in South America. *Journal of Fish Biology*, 89(1), 12-47.

Rodríguez, C. A. A. (2011). *Astroblepus cacharas* (Teleostei: Siluriformes: Astroblepidae), nueva especie del río Cáchira, cuenca del río Magdalena, Colombia. *Dahlia*, 11, 23-33

Román-Valencia, C. (2001). Ecología trófica y reproductiva de *Trichomycterus caliense* y *Astroblepus cyclopus* (Pisces: Siluriformes) en el río Quindío, Alto Cauca, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 49(2).

Schaefer, S. A., y Arroyave, J. (2010). Rivers as islands: Determinants of the distribution of Andean astroblepid catfishes. *Journal of Fish Biology*, 77(10).
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02822.x>

Schaefer, S. A., Chakrabarty, P., Geneva, A. J., y Sabaj Pérez, M. H. (2011). Nucleotide sequence data confirm diagnosis and local endemism of variable morphospecies of Andean astroblepid catfishes (Siluriformes: Astroblepidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 162(1), 90–102.

Schaefer, S. A. (2003). Family Astroblepidae. *Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America. Porto Alegre: Edipucrs*, 312–317.

Stamatakis, A. (2014). RAxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies. *Bioinformatics*, 30(9), 1312–1313.
<https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu033>

The IUCN red list of threatened species. IUCN Red List of Threatened Species.
<https://www.iucnredlist.org/es/search/stats?query=astroblepus&searchType=species>

Thompson J, Higgins D, & Gibson T. (1994). CLUSTAL W (improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice). In *Encyclopedia of Genetics, Genomics, Proteomics and Informatics* (pp. 376–377). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6754-9_3188

Toro Ibacache, M. V., Manríquez Soto, G., y Suazo Galdames, I. (2010). Morfometría Geométrica y el Estudio de las Formas Biológicas: De la Morfología Descriptiva a la Morfología Cuantitativa. *International Journal of Morphology*, 28(4), 977–990. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022010000400001>

GEOPARQUE IMBABURA. VALLE DE INTAG. IMBABURA GEOPARQUE MUNDIAL Recuperado el 25 de enero del 2024. <https://geoparque.imbabura.gob.ec/index.php/geoproductos/valle-de-intag/>

Villalobos-Leiva, A., Benítez, H. A., Villalobos-Leiva, A., y Benítez, H. A. (2020). Morfometría Geométrica y sus Nuevas Aplicaciones en Ecología y Biología Evolutiva. Parte 2. *International Journal of Morphology*, 38(6), 1818–1836. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022020000601818>

Von Humboldt, A. (1805). *Essai sur la géographie des plantes: accompagne d'un tableau physique des régions équinoxiales, fondé sur des mesures exécutées, depuis le dixième degré la latitude boréale jusqu'au dixième degré de latitude australe, pendant les années 1799, 1800, 1801, 1802 et 1803 par Al. de Humboldt et A. Bonpland.* chez Levrault, Schoell et Cie..

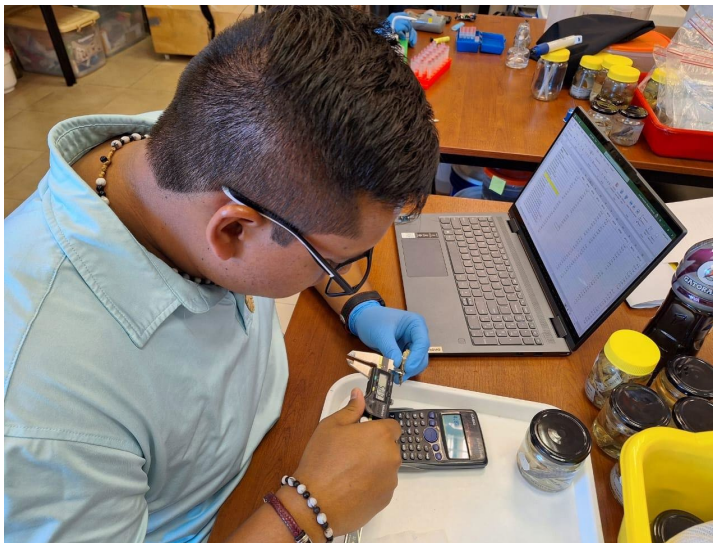
Winemiller, K. O. (1993). Reproductive biology of fishes in tropical rainforests.
Environmental Biology of Fishes, 38(1-3), 219-238.

7. ANEXOS

Anexo 1: Calibrador digital marca (Mitutoyo modelo CD-6"CSX)



Anexo 2: Evidencia, toma de medidas morfométricas.



Anexo 2: Tabla de código de espécimen con su abreviación por grupo genético.
Donde la letra A corresponde al grupo genético# 1, la B al grupo genético# 2, la C al grupo genético# 3 y la D al grupo genético# 4.

Código completo	Código abreviado
2MP-674	B1
2MP-672	B2
2MP-673	B3
3MP-714	C1
3MP-721	C2
3MP-720	C3
3MP-718	C4
3MP-715	C5
1MP-696	A1
1MP-682	A2
1MP-719	A3
1MP-722	A4
1MP-717	A5
1MP-691	A6
1MP-683	A7
1MP-709	A8
1MP-736	A9
1MP-737	A10
1MP-738	A11
1MP-739	A12
1MP-740	A13
4MP-733	D1
4MP-731	D2
4MP-723	D3
4MP-724	D4
4MP-725	D5
4MP-726	D6
4MP-727	D7
MP-728	D8
4MP-729	D9
MP-730	D10
4MP-675	D11
4MP-676	D12
4MP-678	D13
4MP-679	D14
4MP-680	D15
4MP-710	D16
4MP-698	D17
4MP-700	D18
4MP-701	D19
4MP-702	D20
4MP-703	D21
4MP-732	D22
4MP-707	D23

4MP-697	D24
4MP-699	D25
4MP-704	D26
4MP-687	D27
4MP-692	D28
4MP-708	D29
4MP-711	D30
4MP-712	D31
4MP-681	D32
4MP-684	D33
4MP-694	D34
4MP-706	D35
4MP-693	D36
4MP-716	D37
4MP-677	D38
