

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA ZOOTECNISTA, AGRONEGOCIOS Y
BIOTECNOLOGÍA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ZOOTECNISTA

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ZOOTECNISTA**

**DIVERSIDAD DE ESPECIES DE BAGRE ALTOANDINO (*Trichomycterus spp.*)
UTILIZANDO MARCADORES MOLECULARES EN LA PROVINCIA DE
CHACHAPOYAS, PERÚ**

Autor: Bach. Smith Emanuel Aguilar Trauco

Asesora: Ph.D. Martha Steffany Calderón Ríos

Asesor: Ph.D. Danilo Edson Bustamante Mostajo

REGISTRO (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2023

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Aguilar Trauco Smith Emanuel
DNI N°: 70814407
Correo electrónico: 7081440771@untrm.edu.pe
Facultad: de Ingeniería Zootecnista, Agronegocios y Biotecnología
Escuela Profesional: de Ingeniería Zootecnista

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Facultad: _____
Escuela Profesional: _____

2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

Diversidad de especies de hongo atacamino (*Trichomyces* spp.) utilizando marcadores moleculares en la provincia de Chachapoyas, Perú.

3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Calderón Ríos Martha Steffany (Ph.D)
DNI, Pasaporte, C.E N°: 44990495
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0003-3611-140>

Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: Bustamante Mostajo Danilo Edson (Ph.D)
DNI, Pasaporte, C.E N°: 43496105
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0002-5979-6993>



4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Immunología)

https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html

Ciencias naturales - Biología - Bioquímica, Biología molecular

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 03 de enero de 2024

[Firma]
Firma del autor 1

[Firma]
Firma del Asesor 1

[Firma]
Firma del autor 2

[Firma]
Firma del Asesor 2

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por mantenerme con salud y estar a lado mío guiándome en todo el camino que llamamos vida.

A mis padres Rosa A. Trauco Ynga y Nixon Aguilar Rivera, a mi hermana Deyli Ll. Aguilar Trauco por todo su apoyo, consejos y compañía en todo el recorrido para lograr mis metas.

A todos mis amigos, compañeros, familiares que estuvieron a mi lado que me ayudaron de para seguir avanzando.

Smith E. Aguilar Trauco

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme durante todo el camino para poder adquirir el conocimiento a lado de las personas que compartieron su tiempo para mi formación profesional demostrando su compañerismo y solidaridad, proporcionándome un ejemplo para seguir y mejorar.

A mis asesores Ph.D. Martha S. Calderón Ríos y Ph.D. Danilo E. Bustamante Mostajo por su tiempo, guía, consejos y paciencia durante todo el proyecto de la tesis para que se desarrolle de la mejor manera.

Al Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados (PROCIENCIA) y Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) mediante el concurso de Tesis y Pasantías en Ciencia, Tecnología e Innovación por el financiamiento del proyecto de tesis “Diversidad de especies del bagre altoandino (*Trichomycterus* sp.) utilizando marcadores moleculares en para su potencial uso en acuicultura rural sostenible en la provincia de Chachapoyas, Perú” que hizo posible la ejecución del proyecto con el contrato N°PE501081717-2022.

Al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDESCES) y en especial al Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal (FISIOBEG) y al laboratorio de Biología Molecular por brindar el espacio y facilidades para la realización del proyecto.

A todas las personas que estuvieron ahí, compañeros y amigos que me ayudaron de distintas formas compartiendo su tiempo, conocimiento para el desarrollo del proyecto de la presente tesis.

Agradezco a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza- Amazonas por ser mi alma mater que me ha brindado educación, conocimiento, amigos y experiencias, entre muchas cosas más.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que se tomen el tiempo de leer el presente trabajo.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D. Jorge Luis Maicelo Quintana
RECTOR

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres
VICERRECTOR ACÁDEMICO

Dra. María Nelly Luján Espinoza
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS



ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Diversidad de especies de bagre atroadino (*Trichomyxterus* spp.) utilizando marcadores moleculares en la provincia de Chachapoyas, Perú.; del egresado Smith Emanuel Aguilar Trauco de la Facultad de Ingeniería Zootecnista, Agronegocios y Biotecnología Escuela Profesional de Ingeniería Zootecnista de esta Casa Superior de Estudios.



El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 24 de noviembre de 2023

Firma y nombre completo del Asesor

Martha Steffany Baldeón Ríos

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS



ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM ()/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Diversidad de especies de boque altoandino (*Trichomycterus spp.*) utilizando marcadores moleculares en la provincia de Chachapoyas, Perú. ; del egresado Smith Emanuel Aguilar Trauco de la Facultad de Ingeniería Zootecnista, Agronegocios y Biotecnología Escuela Profesional de Ingeniería Zootecnista de esta Casa Superior de Estudios.



El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 24 de noviembre de 2024

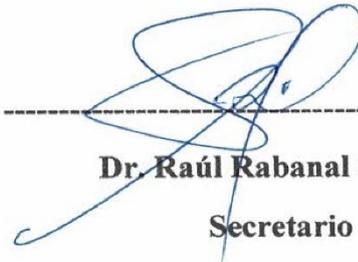

Firma y nombre completo del Asesor
David E. Bustamante Mostajo

JURADO EVALUADOR



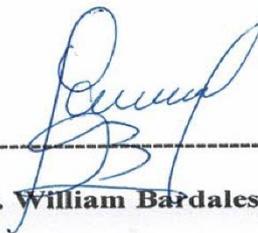
Ph.D. Ives Julian Yoplac Tafur

Presidente



Dr. Raúl Rabanal Oyarce

Secretario



M.Sc. William Bardales Escalante

Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Diversidad de especies de bagre altoandino (Trichomycterus spp)
utilizando marcadores moleculares en la provincia de Chachapoyas, Perú.
presentada por el estudiante ()/egresado (X) Borb. Smith Emanuel Aguilar Franco
de la Escuela Profesional de Ingeniería Zootecnista
con correo electrónico institucional 7081440771@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 13 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 06 de diciembre del 2023


SECRETARIO


VOCA


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-S

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 18 de diciembre del año 2023, siendo las 16:00 horas, el aspirante: Smith Emanuel Aguilar Trauco, asesorado por Ph.D. Martha Steffany Calderón Ríos y Ph.D. Danilo Edson Bustamante Astudillo defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: Diversidad de especies de bagre albondino (*Trichomycterus* spp) utilizando marcadores moleculares en la provincia de Chachapoyas, Perú., para obtener el Título Profesional de Ingeniero Zootecnista, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Ph.D. Iván Sulam Yoplac Tafur

Secretario: Dr. Raúl Rabanal Oyarce

Vocal: M.Sc. William Bordalet Escalante

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 17:00 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

ÍNDICE

RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
I. INTRODUCCIÓN	19
II. MATERIALES Y MÉTODOS	23
2.1. CAPTURA, PREPARACIÓN DE EJEMPLARES Y OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA ...	23
a. Lugares de Captura.....	23
b. Obtención de muestras de agua.....	23
c. Obtención de parámetros fisicoquímicos del agua.....	25
d. Preparación de los ejemplares de bagres andinos.....	26
e. Fotografiado y obtención de medidas morfométricas de los bagres	26
2.2. ANÁLISIS DE PCA DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LOS BAGRES Y FISICOQUÍMICOS DEL AGUA.....	27
2.3. EXTRACCIÓN, AMPLIFICACIÓN, PURIFICACIÓN Y SECUENCIAMIENTO DE ADN. .	28
a. Obtención de tejido para extracción de ADN.....	28
b. Extracción de ADN	28
c. Cuantificación cuantitativa.....	30
d. Amplificación de ADN	30
e. Purificación de amplicones	32
f. Secuenciamiento de ADN	34
2.4. ANÁLISIS FILOGENÉTICO.....	34
III. RESULTADOS	35
3.1. VALORES DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LAS MUESTRAS DE AGUA ..	35
3.2. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA) DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LAS MUESTRAS DE AGUA Y MORFOMÉTRICOS DE LOS BAGRES.	35
a. Análisis de componentes principales (PCA) para el género <i>Trichomycterus</i> . .	35
b. Análisis de componentes principales (PCA) para el género <i>Astroblepus</i>	39
3.3. ANÁLISIS DE ADN BARCODING DE BAGRES ANDINOS.....	43
a. Análisis filogenético para <i>Trichomycterus</i>	50
b. Análisis filogenético para los <i>Astroblepus</i>	54

IV. DISCUSIÓN	59
4.1. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA	59
4.2. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LOS BAGRES ALTOANDINOS Y PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA.....	59
4.3. ANÁLISIS FILOGENÉTICOS DE LOS BAGRES ALTOANDINOS E IDENTIFICACIÓN DE LINAJES.	61
V. CONCLUSIONES	64
VI. RECOMENDACIONES	65
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
VIII.ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información de los lugares de colecta de los bagres andinos.....	23
Tabla 2. Lista de parámetros morfométricos a evaluar en los géneros <i>Astroblepus</i> y <i>Trichomycterus</i>	27
Tabla 3. Condiciones de temperatura y tiempo para la amplificación del marcador COI mediante PCR.....	31
Tabla 4. Comparación de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua con los estándares de calidad de agua (ECA) mostrados en el DECRETO SUPREMO N°004-2017-MINAM.....	35
Tabla 5. Lista de secuencias descargadas del GenBank para el género <i>Trichomycterus</i>	43
Tabla 6. Lista de secuencias descargadas del GenBank para el género <i>Astroblepus</i>	46
Tabla 7. Especímenes que forman parte del nuevo linaje formado en el género <i>Trichomycterus</i> colectados en las Provincias de Chachapoyas y Rodríguez de Mendoza.....	50
Tabla 8. Especímenes que conforman los linajes conformados por los especímenes del género <i>Astroblepus</i> colectados en la Provincia de Chachapoyas.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los recursos hidrográficos y localidades donde se realizó la colecta de los ejemplares y <i>las muestras de agua</i>	24
Figura 2. Proceso de medición de parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua.	26
Figura 3. Vista ventral de especímenes de <i>Trichomycterus</i> (izquierda) y <i>Astroblepus</i> (derecha) para la toma de medidas morfométricas.....	26
Figura 4. Vista lateral de especímenes de <i>Trichomycterus</i> (izquierda) y <i>Astroblepus</i> (derecha) para la toma de medidas morfométricas.....	26
Figura 5. Vista dorsal de especímenes de <i>Trichomycterus</i> (izquierda) y <i>Astroblepus</i> (derecha) para la toma de medidas morfométricas.....	27
Figura 6. Lavado y procesamiento de los bagres colectados para obtención de tejido y almacenamiento.....	28
Figura 7. Proceso de extracción de ADN del tejido de los bagres andinos con el Kit de extracción Wizard® SV Genomic DNA Purification System Promega.	29
Figura 8. Proceso de cuantificación de ADN genómico extraído de bagres altoandino mediante espectrometría.	30
Figura 9. Proceso de amplificación de ADN genómico de bagre altoandino mediante PCR....	31
Figura 10. Proceso de purificación de los amplicones que mostraron bandas claras y anchas..	33
Figura 11. Análisis de componentes principales (PCA) de los parámetros morfométricos de los bagres del género <i>Trichomycterus</i> y parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua. Se resalta la formación de grupos correspondiente a cada población.	36
Figura 12. Análisis de componentes principales (PCA) que muestra la varianza total de cada dimensión (Dim), el grado de contribución y similitud de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua y morfológicos de los bagres del género <i>Trichomycterus</i>	37
Figura 13. Grado de contribución de los parámetros morfométricos de los bagres altoandinos del género <i>Trichomycterus</i> para la dimensión 1 del PCA. La línea base de color rojo fue estimada por el paquete de PCA que se usó en Rstudio.	37
Figura 14. Grado de contribución de los individuos de los bagres altoandinos del género <i>Trichomycterus</i> para la dimensión 1 del PCA. La línea base de color rojo fue estimada por el paquete de PCA que se usó en Rstudio.....	38
Figura 15. Grado de contribución de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua de los afluentes de los bagres altoandinos del género <i>Trichomycterus</i> para la dimensión 2 del PCA. La línea base de color rojo fue estimada por el mismo paquete que se usó para realizar los análisis de PCA. La línea base de color rojo fue estimada por el paquete de PCA que se usó en Rstudio.	38

Figura 16. Grado de contribución de los individuos de los bagres del género <i>Trichomycterus</i> a la dimensión 2 del PCA. La línea base de color rojo fue estimada por el paquete de PCA que se usó en Rstudio.....	39
Figura 17. Análisis de componentes principales (PCA) de los parámetros morfométricos de los bagres del género <i>Astroblepus</i> , y parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua. Se resalta la formación de grupos correspondiente a cada población.	40
Figura 18. Análisis de componentes principales (PCA) que muestra la varianza total de cada dimensión (Dim), el grado de contribución y similitud de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua y morfológicos de los bagres del género <i>Astroblepus</i>	40
Figura 19. Grado de contribución de los parámetros morfométricos de los bagres altoandinos del género <i>Astroblepus</i> para la dimensión 1 del PCA. La línea base de color rojo fue estimada por el paquete de PCA que se usó en Rstudio.	41
Figura 20. Grado de contribución de los individuos de los bagres altoandinos del género <i>Astroblepus</i> para la dimensión 1 del PCA. La línea base de color rojo fue estimada por el paquete de PCA que se usó en Rstudio.	41
Figura 21. Grado de contribución de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua de los afluentes de los bagres altoandinos del género <i>Astroblepus</i> para la dimensión 2 del PCA. La línea base de color rojo fue estimada por el paquete de PCA que se usó en Rstudio.....	42
Figura 22. Grado de contribución de los individuos de los bagres altoandinos del género <i>Astroblepus</i> a la dimensión 2 del PCA. La línea base de color rojo fue estimada por el paquete de PCA que se usó en Rstudio.....	42
Figura 23. Árbol filogenético del orden de los siluriformes basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador mitocondrial COI. Valores de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. La escala indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Se marca en rojo la relación evolutiva de las familias de bagres altoandinos <i>Trichomycteridae</i> y <i>Astroblepidae</i> marcados en rojo.....	49
Figura 24. Mapa de calor (heatmap) de la divergencia genética por pares de bases (pairwise) del marcador mitocondrial COI para miembros de los géneros <i>Cambeva</i> , <i>Scleronema</i> y <i>Trichomycterus</i> . Divergencia genética elevada representada por el color rojo.	51
Figura 25. Árbol filogenético del género <i>Trichomycterus</i> basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador mitocondrial COI. Valores de soporte de máxima verosimilitud y probabilidad Bayesiana se indican encima de las ramas. La escala indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.....	52
Figura 26. Vista ventral, dorsal y lateral de los especímenes del género <i>Trichomycterus</i> colectados en los distritos de Cheto, Chachapoyas (A= BQc1, B= BQc2, C=BQc3, D=BQc4) y	

Mariscal Benavides, Rodríguez de Mendoza (E= BJn1, F= BJn2, G= BJn3, H=BJn4). Escala = 1 cm.	53
Figura 27. Mapa de calor (heatmap) de la divergencia genética por pares de bases (pairwise) del marcador mitocondrial COI para especímenes del género <i>Astroblepus</i> . Divergencia genética elevada representada por el color rojo.	55
Figura 28. Árbol filogenético del género <i>Astroblepus</i> basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador mitocondrial COI. Valores de soporte de máxima verosimilitud y probabilidad Bayesiana se indican encima de las ramas. La escala indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.....	56
Figura 29. Vista ventral, dorsal y lateral de los especímenes del género <i>Astroblepus</i> colectados en los siguientes distritos de la Provincia de Chachapoyas: San Isidro de Maino (Grupo 1: A = BMr1, B = BMr2); Chachapoyas (Grupo 2: C = BBc2, D = BBc9), (Grupo 3: E = BAj3, F = BAj4), (Grupo 4: G = BAj13, H = BAj5). Escala =1 cm.	57
Figura 30. Vista ventral, dorsal y lateral de los especímenes del género <i>Astroblepus</i> (Grupo 5) colectados en los distritos de Chachapoyas (I = BAj10) y Magdalena (J = BCd2). Escala = 1 cm.	58

Resumen

Los bagres altoandinos son peces de agua dulce ampliamente distribuidos en América del Centro y Sur, distribuyéndose desde afluentes a nivel de mar hasta a más de 4000 m.s.n.m. La provincia de Chachapoyas, posee afluentes ideales para el desarrollo de los bagres andinos. Este estudio evaluó la diversidad de bagres andinos utilizando el marcador mitocondrial citocromo c oxidasa I (COI) en la provincia Chachapoyas. Cada hábitat fue caracterizado fisicoquímicamente. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos demostraron que las aguas donde habitan los bagres son de calidad óptima, los valores de pH fluctuaron entre los rangos de 6,72 - 8,54; el Oxígeno disuelto (OD) de 7,09 - 9,8 mg/l; la conductividad eléctrica (CE) de 25,1 - 166 μ S/cm; los sólidos totales disueltos (STD) de 17,67 - 106,1 mg/L y la temperatura de 12°C - 18°C. Se realizó un ACP de los parámetros morfométricos de los bagres y fisicoquímicos de las muestras de agua de cada hábitat. Los resultados mostraron que los parámetros fisicoquímicos son mejores que los morfométricos (morfo-grupos) para distinguir poblaciones de bagres (eco-grupos). Los análisis filogenéticos mediante análisis máxima verosimilitud (ML) e inferencia Bayesiana (IB) determinaron que los bagres andinos se ubican en los géneros *Astroblepus* (cinco linajes) y *Trichomycterus* (un linaje). Además, los valores divergencia por pares de bases demuestran que la región de Amazonas posee una diversidad desconocida que podría incluir nuevas especies con candidatos a géneros nuevos. Esta investigación contribuye a conocer la diversidad de bagres andinos de la Provincia de Chachapoyas utilizando marcadores moleculares. Asimismo, el estudio muestra a los bagres altoandinos como posibles candidatos para la acuicultura e ideales como bioindicadores de calidad de agua. La diversidad de bagres y la buena calidad de las aguas que poseen los afluentes son ideales para su uso en la acuicultura rural.

Palabras clave: Análisis filogenéticos, *Astroblepus*, COI, divergencia, endemismos, PCA, *Trichomycterus*.

Abstract

The high Andean catfish are freshwater fish widely distributed in Central and South America, ranging from sea-level tributaries to altitudes exceeding 4000 meters above sea level. The province of Chachapoyas has ideal tributaries for the development of Andean catfish. This study assessed the diversity of Andean catfish using the mitochondrial marker cytochrome c oxidase I (COI) in the Chachapoyas province. Each habitat was characterized physicochemically. The results of physicochemical parameters demonstrated that the waters where the catfish inhabit are of optimal quality, with pH values ranging from 6.72 to 8.54; dissolved oxygen (DO) from 7.09 to 9.8 mg/l; electrical conductivity (EC) from 25.1 to 166 $\mu\text{S}/\text{cm}$; total dissolved solids (TDS) from 17.67 to 106.1 mg/L, and a temperature of 12°C to 18°C. A Principal Component Analysis (PCA) of morphometric parameters of the catfish and physicochemical parameters of water samples from each habitat was conducted. The results showed that physicochemical parameters are better than morphometric parameters (morpho-groups) in distinguishing catfish populations (eco-groups). Phylogenetic analyses through Maximum Likelihood (ML) and Bayesian Inference (BI) determined that Andean catfish belong to the genera *Astroblepus* (five lineages) and *Trichomycterus* (one lineage). Furthermore, pairwise base divergence values demonstrate that the Amazonas region harbors unknown diversity that could include new species with candidates for new genera. This research contributes to understanding the diversity of Andean catfish in the Chachapoyas Province using molecular markers. Additionally, the study presents high Andean catfish as potential candidates for aquaculture and ideal as water quality bioindicators. The diversity of catfish and the good quality of waters in tributaries are suitable for use in rural aquaculture.

Keywords: *Astroblepus*, COI, divergence, endemism, PCA, Phylogenetic analysis *Trichomycterus*.

I. INTRODUCCIÓN

Los bagres altoandinos pertenecen al orden de los siluriformes y está compuesto predominantemente por los géneros *Trichomycterus* y *Astroblepus*. Estos bagres son comúnmente llamados peces gato, peces de agua dulce con distribución en toda América del centro y sur, incluyendo la Patagonia Argentina, en los ríos, afluentes de la cordillera andina y también en los bosques atlánticos (Fernandez et al., 2021). Estos peces habitan una gran variedad de ecosistemas acuáticos a lo largo de todo el territorio, principalmente en las quebradas de nivel primario y secundario de las vertientes andinas (Ochoa et al., 2020). Se pueden encontrar esporádicamente en altitudes desde el nivel del mar hasta sobrepasar los 4000 m.s.n.m. pero con una mayor presencia entre los 500-2000 m.s.n.m. (Hernández et al., 2018). Su alta adaptabilidad a las diferentes condiciones de los afluentes andinos tales como altitud, pendiente, cobertura vegetativa, caudal, profundidad, presencia de invertebrados, aislamiento y características fisicoquímicas del agua permite la adaptabilidad de estas especies generando altos niveles de endemismos (Miranda-chumacero, 2006; Schaefer et al., 2011; Costa et al., 2023)

Dentro de los bagres altoandinos, el género *Trichomycterus* presenta una mayor diversidad de especies que el género *Astroblepus*. El género *Trichomycterus* está compuesto por 250 especies (Costa, 2021), y la mayoría son originarias de las punas argentinas (Andreoli et al., 2021). También se han descrito nueve especies de *Trichomycterus* de los ríos Grande, Amazonas y Paraná en Brasil (Costa, 2021; Costa, et al., 2022b). En Perú, existen algunos reportes de especies de este género a lo largo de la cordillera (Ortega et al., 2012). Por otro lado, el género *Astroblepus* está compuesto por 82 especies que han sido descritas principalmente en Bolivia, Colombia, Ecuador, Panamá, Perú y Venezuela (Velez, 2004; Hernández et al., 2018; Ochoa et al., 2020). La diversidad de especies de ambos géneros aún está lejos de ser totalmente entendida y es de vital importancia caracterizarla, especialmente en regiones altoandinas del Perú, como la región Amazonas.

Las especies del género *Trichomycterus* se caracterizan por poseer una boca subterminal, con un cuerpo largo en forma de cilindro, cabeza triangular ancha que va disminuyendo hacia la cola, ojos en posición dorsal a la mitad de la cabeza, odontoides en el opérculo que les permite aferrarse y avanzar en la corriente (Guillermo et al., 2020). Asimismo, estas especies poseen dos barbillas nasales, dos maxilares y dos submaxilares, su color

varia en tonos de marrón con presencia de una franja negra a lo largo del cuerpo (Guillermo et al., 2020). Por otro lado, las especies del género *Astroblepus* son peces desnudos que presentan una boca succionadora con labios dilatados y dos bigotes, ojos en la posición dorsal, aletas pectorales muy móviles ideal para avanzar contra corriente y escalar con mayor facilidad (Hernández et al., 2018). Su presencia en afluentes es indicador de la buena calidad de las aguas (Schaefer et al., 2011). La coloración de estas especies presenta numerosas variaciones, inclusive dentro de la misma población debido a la ontogenia propia de los individuos, por lo que la identificación de especies mediante descripciones morfológicas es insuficiente y poco confiable (Ochoa et al., 2020). La principal diferencia morfológica entre las especies de los géneros *Astroblepus* y *Trichomycterus* es el tamaño y forma del cuerpo, posición y tipo de la boca, relación de la posición de las aletas en su cuerpo y la coloración (Ardila Rodríguez, 2016; Guillermo et al., 2020; Ochoa et al., 2020; Costa et al., 2022b).

Las especies del género *Trichomycterus* son de hábitos nocturnos y omnívoros, siendo la base de su alimentación los macroinvertebrados (mayormente en sus estadios larvarios), crustáceos, moluscos y plantas en menor cantidad, variando en volumen y amplitud de las especies que consumen según la época de lluvias, periodo de desove y el nicho trófico que ocupan (Scott et al., 2007; Ibarra, 2023). Los *Astroblepus* son omnívoros, de hábitos diurnos y nocturnos y su alimentación es a base de insectos (larvas), crustáceos, moluscos y plantas en menor proporción. La variedad y volumen de su alimentación va a cambiar según los periodos de lluvia y desove (Román, 2001). Las especies de *Astroblepus* comparten hábitat con especies del género *Trichomycterus*, generando un impacto sobre ellas al depredar sus huevos y alevinos (Román, 2001).

En los Andes peruanos, más de 80 especies de peces han sido reportadas, de las cuales más de 50 están representadas por los del género *Trichomycterus*, *Astroblepus* y *Orestias*, reportadas entre los 1000 m.s.n.m. y 4000 m.s.n.m., donde la actividad humana (agricultura, ganadería y turismo) es el principal peligro para sus hábitats (Chocano, 2005; Orteaga et al., 2012). Una especie endémica de posible importancia comercial para el Perú es *Trichomycterus punctulatus*, un pez que se encuentra en el fondo de los cuerpos del agua, distribuyéndose en la mayoría de los afluentes occidentales del Perú (Arabe et al., 2013). Esta especie fue cultivada con el fin de volverse una fuente proteica para la acuicultura, donde la crianza en altas densidades favorece a su mejor desarrollo fisiológico. La crianza del *T. punctulatus* llegó a tener para la talla y peso de 10,53 cm y 12,13

gramos (Rivera, 2021) estos valores son muy similares y óptimos a los recomendados para trucha para la talla de 10,5 cm y 14 gramos (FAO, 2014). Otra especie de bagre utilizada en acuicultura es *T. rivulatus*, con buenos rendimientos de producción, principalmente de supervivencia siendo casi del 100% (Loayza, 2017; Mamani et al., 2022). Esto sugiere que las especies del género *Trichomycterus* podrían tener potencial para la acuicultura rural y ahí la importancia de entender la diversidad presente en la Región Amazonas. Para el caso del género *Astroblepus*, se han desarrollado estudios de acuicultura de conservación para medir el periodo de reproducción y crecimiento de *Astroblepus ubidiai* con la finalidad de recabar datos de su reproducción para luego ser liberados en lugares donde su población está amenazada (Vélez, 2003). Asimismo, se ha demostrado que las especies de *Astroblepus* logran adaptarse a las condiciones de cautiverio y alimentación establecida (Molina, 2022).

La caracterización de la diversidad de los bagres altoandinos han sido desarrollados tradicionalmente con taxonomía clásica y recientemente esta predominando el uso de marcadores moleculares (Costa et al., 2021). Los principales marcadores moleculares de origen nuclear utilizados para la caracterización de esta diversidad son los genes de la proteína activadora de la recombinación del gen 2 (RAG2), cadena pesada de miosina 6 (MYH6) e histona 3 (H3). Por otro lado, los marcadores de origen mitocondrial más utilizados son el gen citocromo oxidasa c subunidad I (COI), gen ribosomal 12S (12S), gen ribosomal 16S (16S), citocromo b (*Cytb*) y el gen de la proteína ND4 (ND4) (Ochoa et al., 2020; Fernandez et al., 2021; Costa et al., 2022b; Costa et al., 2023). El uso de estos marcadores moleculares ha confirmado la parafilia del género *Trichomycterus* y la monófila del género *Astroblepus*. Asimismo, estos marcadores ha definido la descripción de nuevas especies mediante la construcción de filogenias multilocus (Schaefer et al., 2011; Ochoa et al., 2017; Fernandez et al., 2021).

La acuicultura de la región Amazonas es precaria y poco desarrollada, ya que la mayoría de las actividades acuícolas son de nivel familiar y de subsistencia (Maco et al., 2010). En las provincias de Utcubamba, Bagua y Condorcanqui, la acuicultura ha tenido buena recepción por parte de la población rural (Alcántara et al., 2004; Maco et al., 2010). Sin embargo, la principal especie utilizada en acuicultura es la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). A pesar de que se han reportado especies de bagres altoandinos, tales como *Trichomycterus taczanowskii*, en la provincia de Rodríguez de Mendoza (Región Amazonas) (Maco et al., 2010), estas especies no han sido utilizadas en acuicultura por la

ausencia de estudios que confirmen su utilidad. La presencia de bagres altoandinos en otros afluentes de la región Amazonas no está documentada ni verificada, sin embargo, su presencia en afluentes de los distritos de San Isidro de Maino, Magdalena, Cheto, Chachapoyas y Mariscal Benavides está respaldada por pobladores.

Es de vital importancia identificar peces endémicos con potencial acuícola en la región Amazonas, tales como los bagres altoandinos (*Astroblepus* spp. y *Trichomycterus* spp.), para diversificar y aumentar la producción acuícola de la región. La crianza de estos peces se vería facilitado por la adaptabilidad, rusticidad, biología y condiciones ambientales a las que están adaptadas. En este sentido, el presente estudio busca determinar la diversidad de especies de bagre altoandino utilizando marcadores moleculares en la provincia de Chachapoyas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Captura, preparación de ejemplares y obtención de muestras de agua

a. Lugares de Captura

Los ejemplares de bagres andinos capturados provinieron de distintas vertientes andinas de la provincia de Chachapoyas (Distritos de Chachapoyas, Magdalena, Cheto, San Isidro de Maino) y Rodríguez de Mendoza (Distrito Mariscal Benavides), se asignó un código a cada punto de muestreo para la posterior identificación e etiquetado de cada ejemplar capturado que llevarán el código del lugar con un número de orden, así mismo estos mismos códigos serán utilizados en todos los análisis del estudio (**Tabla 1,**

Figura 1). Las vertientes donde se realizaron las capturas se ubicaron entre los 1500 - 2700 m.s.n.m. Estas vertientes se caracterizan por tener zonas de corrientes fuertes y caídas de aguas en todo su recorrido y también zonas con corrientes lentas formando pozas, siendo estos los sitios donde se asientan los bagres. Se colectaron un total de 55 ejemplares. Para su captura se usó técnicas de pesca tradicionales como la pesca con anzuelos y malla metálica (Román, 2001; Costa, et al., 2022c). Se capturaron individuos con características morfológicas variables con el fin de obtener una mayor diversidad fenotípica.

b. Obtención de muestras de agua

Se tomaron 3 muestras de agua en botellas de 300 mL en tres puntos diferentes a lo largo del trayecto de las vertientes (Velez, 2004) al mismo tiempo que se realizaba las capturas. Asimismo, la temperatura del agua se tomó *in situ* haciendo uso de un termómetro digital para agua (Fisherbrand™ Termómetros digitales Traceable™).

Tabla 1. Información de los lugares de colecta de los bagres andinos

Provincia	Distrito	Vertiente	Código del lugar	Altitud (m.s.n.m)	Coordenadas UTM (18M)	
					Este	Sur
Chachapoyas	Chachapoyas	El Atajo	BAj	2080	186301.84	9311150.13
		Barretacucho	BBc	2477	184906.02	9307232.87
	Cheto	Lejia	BQc	2043	204564.00	9300202.00
	Magdalena	Río Yuya	BCd	1813	179207.307	9296682.281
	San Isidro de Maino	Maripampa	BMr	2614	188400.44	9293573.73
Rodríguez de Mendoza	Mariscal Benavides	Jabonera	BJn	2206	222941.1	9304588.3

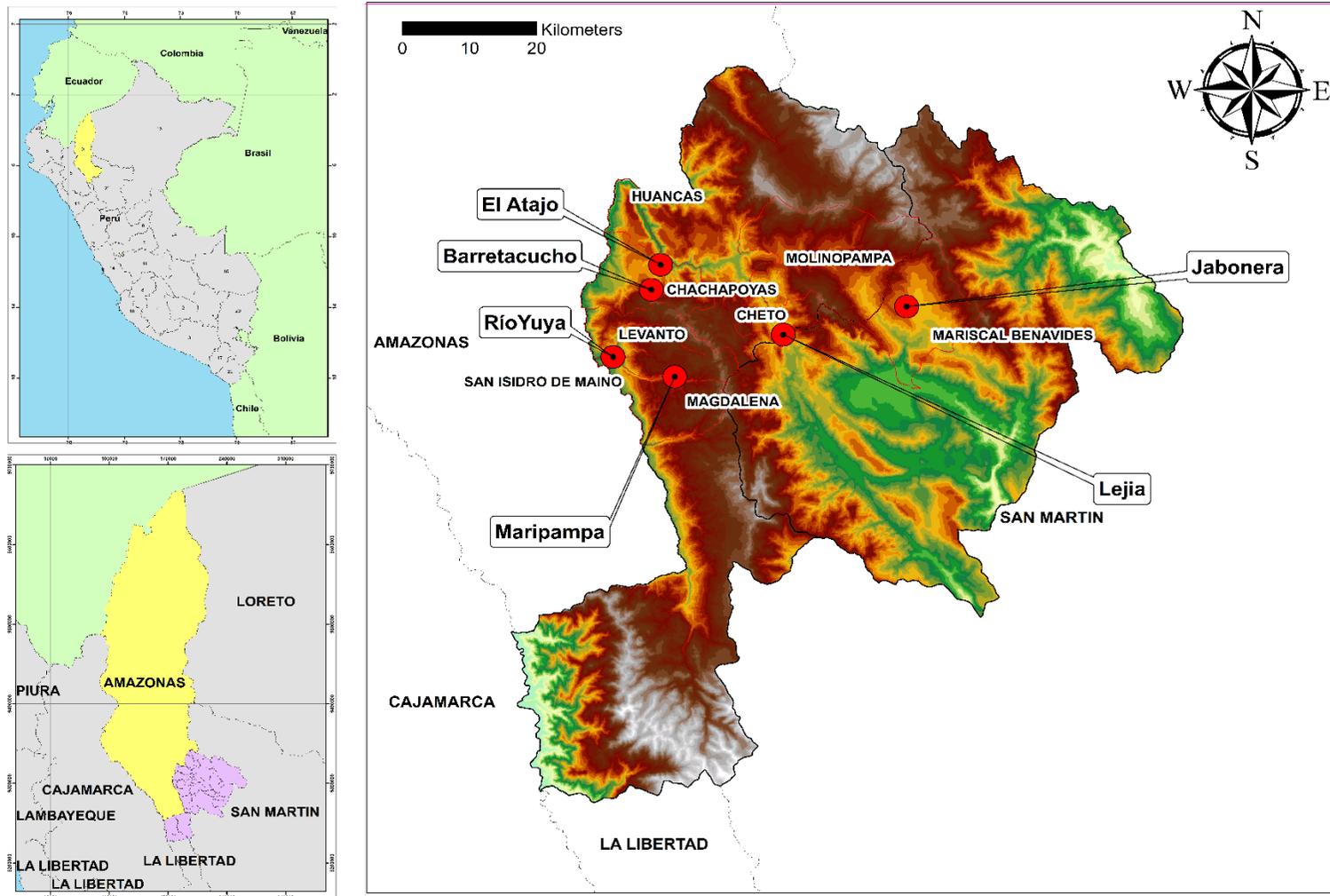


Figura 1. Ubicación de los recursos hidrográficos y localidades donde se realizó la colecta de los ejemplares y las muestras de agua.

c. Medición de parámetros fisicoquímicos del agua

Las muestras de agua colectadas fueron llevadas en cadena de frío al Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas (LABISAG) de la UNTRM. Ahí se obtuvieron mediciones de los valores de oxígeno Disuelto (OD), pH, conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales disueltos (STD) usando el uso del equipo multiparámetro HACH (modelo HQ4Dd) (Figura 2).

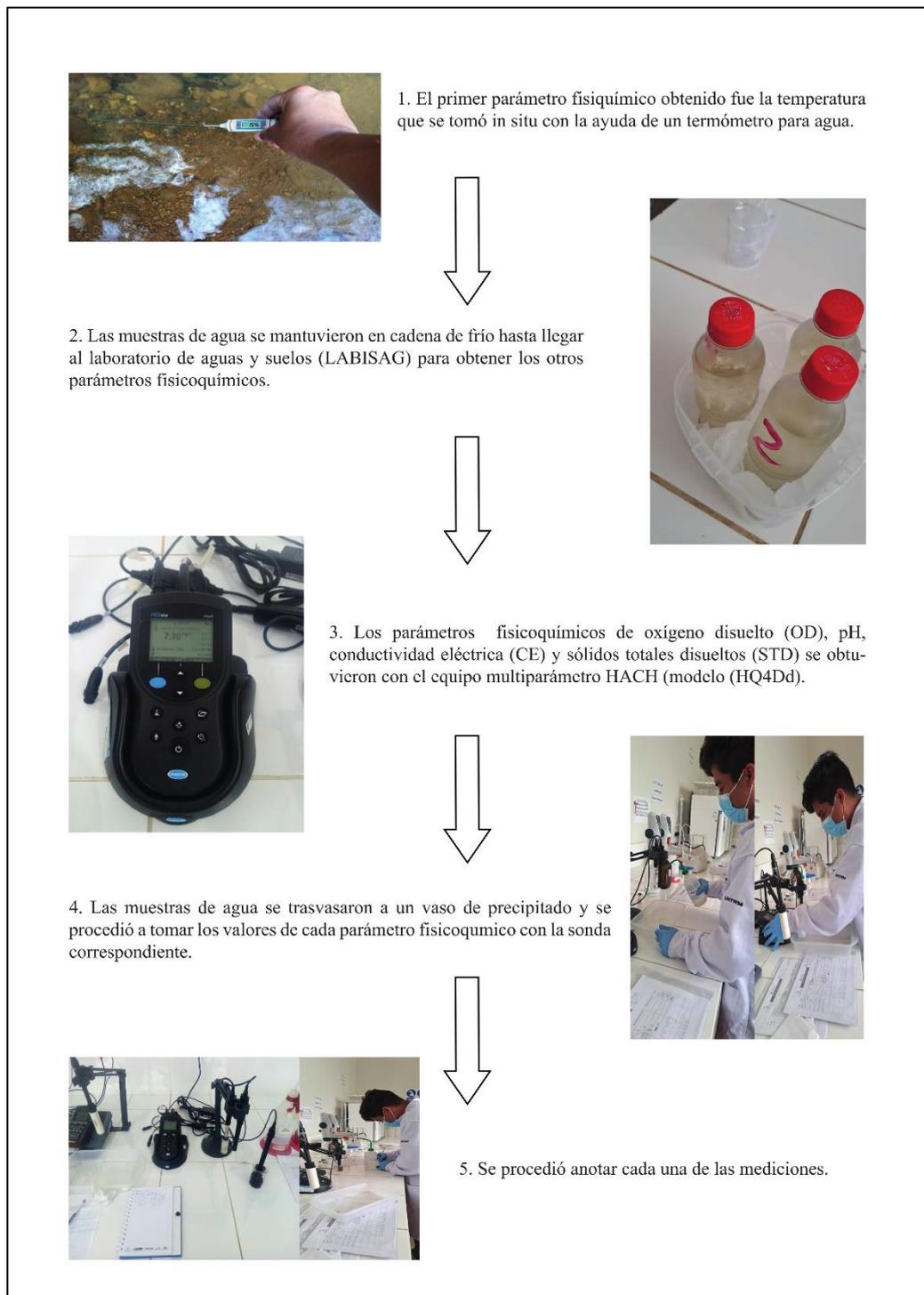


Figura 2. Proceso de medición de parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua.

d. Preparación de los ejemplares de bagres andinos

Los ejemplares capturados se llevaron al área de Biología Molecular y Genómica del Laboratorio Fisiología y Biotecnología Vegetal (FISIOBVEG) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Amazonas (UNTRM). Se procedió a lavarlos con agua destilada para eliminar contaminantes que hayan traído consigo.

e. Fotografiado y obtención de medidas morfométricas de los bagres

A todos los ejemplares colectados se realizó la toma de fotografías en la posición dorsal, lateral y ventral sobre un fondo blanco y rodeado de reglas (**Figuras 3-5**). Se usó el programa Imagen J (Hartig, 2013) para la obtención de las medidas de 13 parámetros morfométricos recomendados por Guillermo et al., (2020) y Jara, (2021) (**Tabla 2**).

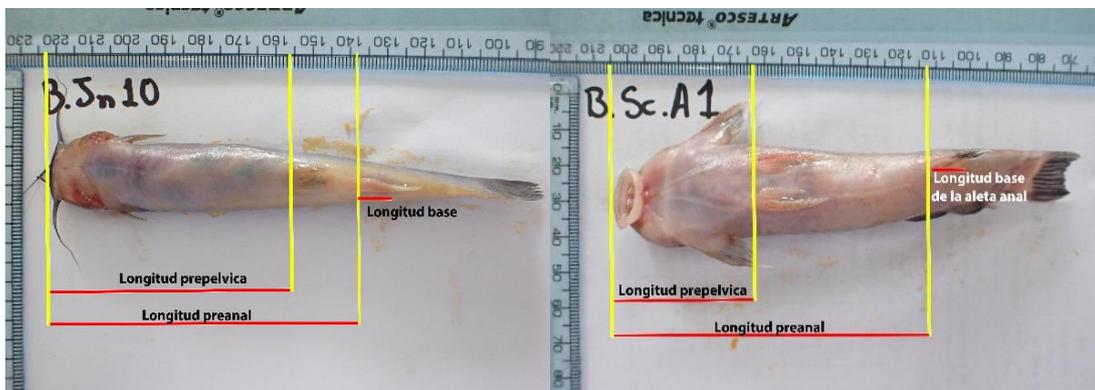


Figura 3. Vista ventral de especímenes de *Trichomycterus* (izquierda) y *Astroblepus* (derecha) para la toma de medidas morfométricas.

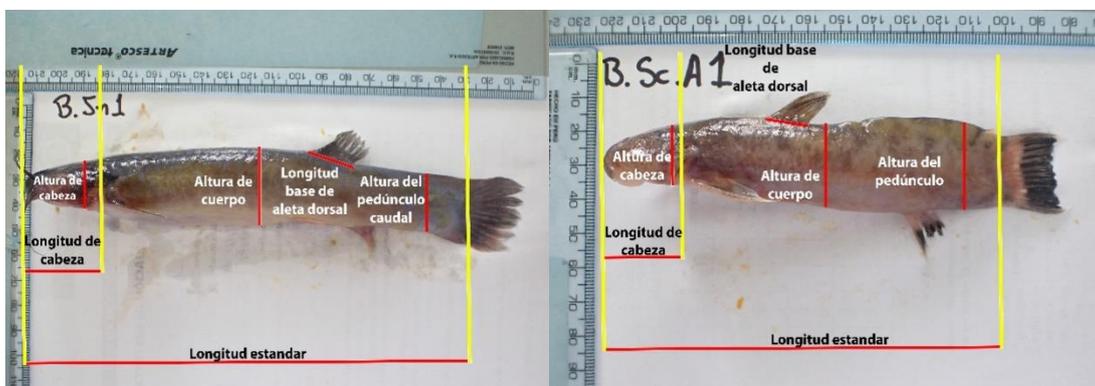


Figura 4. Vista lateral de especímenes de *Trichomycterus* (izquierda) y *Astroblepus* (derecha) para la toma de medidas morfométricas.



Figura 5. Vista dorsal de especímenes de *Trichomycterus* (izquierda) y *Astroblepus* (derecha) para la toma de medidas morfométricas.

Tabla 2. Lista de parámetros morfométricos a evaluar en los géneros *Astroblepus* y *Trichomycterus*

N°	Parámetro morfométrico	Abreviatura
1	Altura cabeza (cm)	AlCa
2	Altura de cuerpo (cm)	AlCu
3	Altura pedúnculo caudal (cm)	AlPeCa
4	Ancho de cabeza (cm)	AnCa
5	Longitud base aleta anal (cm)	LBaE
6	Longitud base aleta dorsal (cm)	LBaAD
7	Longitud cabeza (cm)	LCa
8	Longitud estándar (cm)	LE
9	Longitud preanal (cm)	LPrA
10	Longitud predorsal (cm)	LPrD
11	Longitud prepélvica (cm)	LPrP
12	Longitud total (cm)	LT
13	Peso (gr)	Peso

2.2. Análisis de PCA de los parámetros morfométricos de los bagres y fisicoquímicos del agua

Se realizó el análisis de componentes principales (PCA siglas del inglés) para reducir la dimensionalidad de los datos (Guillermo et al., 2020; Jara, 2021) de los parámetros morfométricos y fisicoquímicos. Para ello se usó el paquete Tydiverse (Wickham, 2016) en el programa Rstudio (R 4.2.3) (Vargas & Mesa, 2021).

2.3. Extracción, amplificación, purificación y secuenciamiento de ADN

a. Obtención de tejido para extracción de ADN

Fracciones de tejido (aleta y músculo) fueron obtenidas usando la vestimenta y herramientas adecuadas (pinzas, tijeras, bisturís estériles), ubicadas en el área de biología molecular del laboratorio Fisiología y Biotecnología Vegetal (FISIOBVEG). La mesa de trabajo fue desinfectada y los ejemplares fueron lavados con agua destilada para eliminar posibles contaminantes. El tejido se obtuvo de las aletas pectorales, ventrales y tejido de muscular (Costa et al., 2021), el tamaño fue de 0.5 cm x 1 cm, siendo depositados en tubos de 2 mL. Las muestras posteriormente se almacenaron en alcohol al 70% (**Figura 6**).

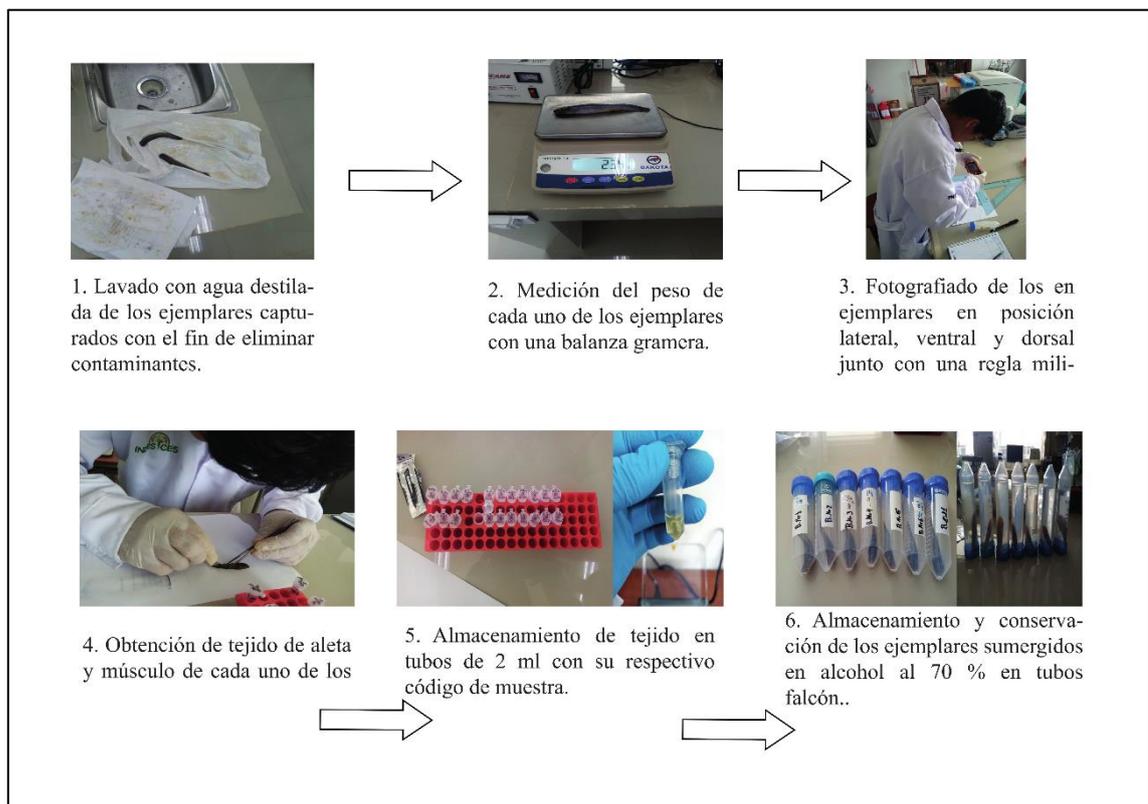


Figura 6. Lavado y procesamiento de los bagres colectados para obtención de tejido y almacenamiento.

b. Extracción de ADN

La extracción de ADN de cada muestra de tejido se realizó utilizando el Kit de extracción Wizard® SV Genomic DNA Purification System Promega (Madison, EE.UU.), según las instrucciones del fabricante (Zabala, 2022) (**Figura 7**).



Kit de extracción Wizard® SV Genomic DNA Purification System Promega.



1. Incubación y lisis:

- Se agrega 300 μ L de Nuclei Lysis Solution y 100 μ L de 0.5M EDTA.
- Se deja incubar a 65°C por 24 horas.



2. Filtrado:

- A la muestra incubada se agrega 250 μ L de Wizard SV lysis Buffer (reposar por 2 minutos).
- Se centrifuga a 9000 rpm x 4 minutos.
- Transferir solo el líquido a una minicolumna Wizard SV.
- Centrifugar a 13000 rpm x 3 minutos.
- Descartar el líquido filtrado.



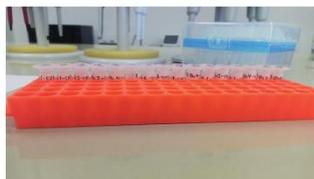
3. Lavado:

- Se coloca la minicolumna Wizard SV a un tubo de colección de 2 mL nuevo.
- Se agrega 650 μ L de Wash Solution.
- Centrifugar a 13000 rpm x 1 minuto.
- Descartar líquido filtrado (Repetir 4 veces)
- Secar la minicolumna Wizard SV a 13000 rpm x 2 minutos.



4. Elución:

- Se transfiere la minicolumna Wizard SV a un tubo de colección de 1.5 mL nuevo.
- Se agrega 50 μ L de Nuclease Free Water.
- Incubar a temperatura ambiente po 2 minutos.
- Centrifugar a 11000 rpm x 3 minutos. (Repetir 2 veces).
- Descartar la minicolumna.



5. Etiquetado:

- Se etiqueta cada tubo con la extracción de ADN con su respectivo código.

Figura 7. Proceso de extracción de ADN del tejido de los bagres andinos con el Kit de extracción Wizard® SV Genomic DNA Purification System Promega.

c. Cuantificación de ADN:

Para conocer la calidad y pureza del ADN extraído de los tejidos de bagre andino se usó el equipo Eppendorf bio Spectrofotometer® basic, mediante la cuantificación de 1 μL de ADN en una cubeta (**Figura 8**). Los resultados de concentración de ADN se presentan en $\text{ng}/\mu\text{L}$, basado en los valores de absorbancia de ondas en relaciones a A260/A280 (contaminación con proteínas y fenoles) y A260/A230 (contaminación con fenoles, sales, carbohidratos).

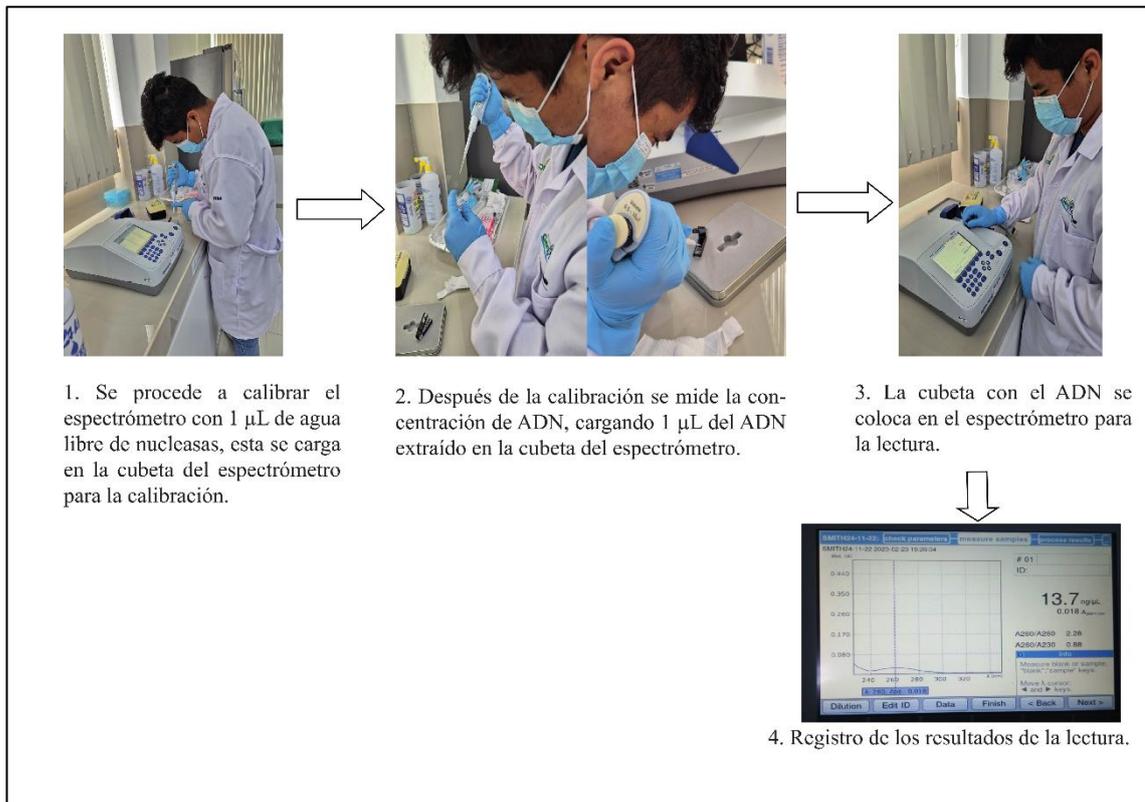


Figura 8. Proceso de cuantificación de ADN genómico extraído de bagres altoandino mediante espectrometría.

d. Amplificación de ADN

La amplificación del ADN genómico se realizó utilizando el marcador mitocondrial subunidad I del citocromo c oxidasa (COI). Los primers utilizados fueron los COI-FishF1 (5'-TCAACCAACCACAAAGACATTGGCAC-3') y COI FishR1 (5'-TAGACTTCTGGGTGGCCAAAGAATCA-3') (Fernandez et al., 2021). La reacción en cadena de la polimerasa se realizó para un volumen total de 10 μL , conformado por 5 μL de Master Mix, 2.6 μL de agua libre de nucleasas, 0.4 μL de primers y 2 μL ADN genómico (Aguilar, 2022). Los tubos se colocaron en el termociclador (T100™ Thermal

Cycler- Biorad, USA) siguiendo las condiciones de temperatura y tiempo de la (**Tabla 3;** **Figura 9**).

Tabla 3. Condiciones de temperatura y tiempo para la amplificación del marcador COI mediante PCR

Marcador	Fase	Condiciones		Ciclos
		Temperatura °C	Tiempo	
COI	Pre-desnaturalización	95°C	5'	1
	Desnaturalización	95°C	30"	
	Alineamiento	46°C – 54°C	1'	40
	Extensión	72°C	1'	
	Extensión Final	72°C	10'	

Los productos de la amplificación se confirmaron mediante electroforesis en gel de agarosa al 1 % (Agarosa 1,44 g, 150mL TAE 1X, 6µL de 0,02 µL/mL de SYBR® Safe DNA Gel Stain), sumergido en una solución tampón al 1 % de Tris-Borato. Este proceso estuvo sometido a 12 minutos de corriente a 100 voltios. La visualización del gel se realizó en el foto-documentador (OMNIDOC Cleaver Scientific, Reino Unido).

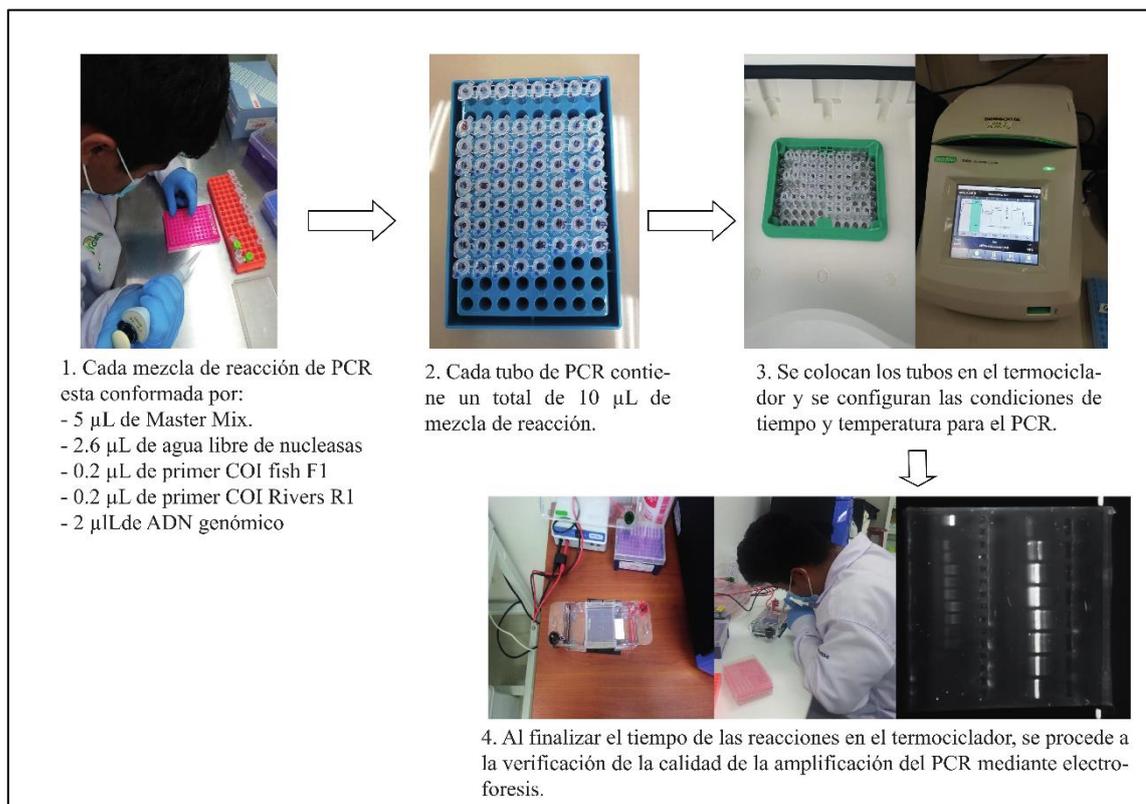


Figura 9. Proceso de amplificación de ADN genómico de bagre altoandino mediante PCR.

e. Purificación de amplicones

Las reacciones que mostraron bandas claras en el gel de agarosa fueron purificadas con el Kit NucleoSpin Gel and PCR clean-up (Macherey-Nagel, Düren, Alemania) (Calderón et al., 2021) siguiendo los pasos (**Figura 10**):

1. Se agregó 5 μL de NTI por cada 1 μL de volumen de muestra de PCR, se homogenizó con la pipeta con 5 succiones de la misma mezcla.
2. Se colocó el filtro NucleoSpin Gel and Clean-up Column en un tubo de colección de 2 mL.
3. Se traspasó la mezcla del paso 1 al filtro NucleoSpin Gel and Clean-up Column, y se centrifugó a 11000 rpm x 3 minutos el líquido filtrado.
4. Se lavó la membrana de sílice del filtro con 700 μL de Buffer NT3, se centrifugó a 11000 rpm x 3 minutos, se descarta el fluido filtrado; este paso se repitió 2 veces.
5. Se secó la membrana de sílice a 11000 rpm x 1 minuto.
6. Se colocó el filtro NucleoSpin Gel and Clean-up Column en un tubo de colección nuevo de 1.5 mL.
7. Se agregó 9 μL de Buffer NE para eluir el ADN, se centrifugó 11000 rpm x 1 minuto, este paso se repitió 2 veces para obtener un volumen total de 18 μL de ADN eluido.

Los amplicones purificados se confirmaron cualitativamente en gel de agarosa al 1 % (Agarosa 1,44 g, 150mL TAE 1X, 6 μL de 0,02 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de SYBR® Safea DNA Gel Stain), sumergido en una solución tampón al 1 % de Tris-Borato. Este proceso estuvo sometido a 12 minutos de corriente a 100 voltios. La visualización del gel se realizó en el foto-documentador (OMNIDOC Cleaver Scientific, Reino Unido).



Kit NucleoSpin Gel and PCR clean-up (Macherey-Nagel, Düren, Alemania)

1. Se realiza de una mezcla de 5 μ L de Buffer NTI por cada 1 μ L de PCR.



2. Se traspasa la mezcla de Buffer NTI y PCR a una columna NucleoSpin Gel and PCR clean up previamente ensamblada en un tubo de colección de 2 mL.

- Se procede a centrifugar a 11000 rpm x 30 segundos.
- Se descarta el líquido filtrado.



3. Se lava la membrana de la columna NucleoSpin Gel and PCR clean up agregando 700 μ L de Buffer NT3-

- Se centrifuga a 11000 rpm x 30 segundos.
- Se descarta el líquido filtrado. (Repetimos el paso 2 veces)



4. Se seca la membrana de la columna 11000 rpm x 1 minuto

5. La elución del ADN se realiza agregando 10 μ L de Buffer NE a la columna NucleoSpin Gel and PCR clean up y se deja incubar a temperatura ambiente por 1 minuto.

Se repite el paso para obtener un total 20 μ L de ADN eluido.



6. Se realiza una electroforesis de la purificación para verificar la calidad de las amplificaciones purificadas.

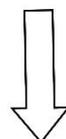
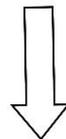
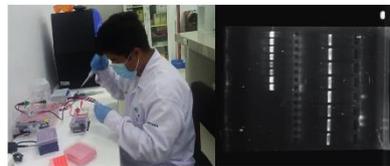


Figura 10. Proceso de purificación de los amplicones que mostraron bandas claras y anchas.

f. Secuenciamiento de ADN

Los amplicones purificados fueron enviados a la empresa Macrogen (Seúl, Corea del Sur) para su secuenciamiento comercial con los mismos primers usados en el proceso de amplificación (Perez, 2021).

2.4. Análisis Filogenético

Las secuencias del gen COI obtenidas se editaron con el software Chromas 2.6.6 (Technelysium DNA sequencing software). Posteriormente, las secuencias generadas en este estudio se alinearon manualmente junto con otras secuencias similares descargadas del Genbank con el algoritmo MUSCLE del programa MEGA 11 (Tamura et al., 2021). Los análisis filogenéticos se realizaron para los grupos del género *Trichomycterus* y *Astroblepus*. Para el grupo del género *Trichomycterus* se utilizó un total de 125 secuencias conformadas por 103 descargadas del Genbank y 22 generadas en el presente estudio. Para el grupo del género *Astroblepus* se utilizó un total de 108 secuencias conformadas por 75 secuencias descargadas del Genbank y 33 secuencias generadas en el presente estudio. En ambos grupos la longitud del alineamiento de nucleótidos fue de 671 pb. El mejor modelo de sustitución de nucleótido y de evolución para cada grupo se seleccionó usando el programa PartitionFinder v2.1.1 (Lanfear et al., 2016). Para la generación de los árboles filogenéticos se utilizó el método de Máxima Verosimilitud usando el programa RAxML GUI v2.0.0 (Klein et al., 2019) para un Bootstrap de 1000 réplicas con el modelo GTR GAMMAI (Bustamante et al., 2021). Por otro lado, para la determinación de la Inferencia Bayesiana se usó el programa MrBayes v3.2.5 (Ling et al., 2016) con el modelo GTR+ Γ +I con 4 millones de generaciones (Bustamante et al., 2021).

Los valores de distancia genética por pares de bases (pairwise) se obtuvieron con el programa MEGA 11 (Tamura et al., 2021). Para ello, se utilizó el paquete pheatmap (Kolde, 2019) del programa Rstudio (R 4.2.3) para generar el mapa de calor (Heatmap) usando una escala de color de azul a rojo.

III. RESULTADOS

3.1. Valores de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua

Los valores de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua mostraron rangos óptimos basados en el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM (MINAM 2017) para aguas destinadas a la acuicultura (**Tabla 4**). Las aguas de las vertientes cumplieron con los requisitos para ser usadas en la acuicultura facilitando así la implementación de centros de crianza.

Tabla 4. Comparación de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua con los estándares de calidad de agua (ECA) mostrados en el DECRETO SUPREMO N°004-2017-MINAM

Parámetros Fisicoquímicos	Estándares de calidad de agua (ECA)	Vertientes hidrográficas					
		El Atajo	Barretacucho	Lejía	Río Yuya	Maripampa	Jabonera
pH	6.0-9.0	8.47	7.60	7.57	7.15	7.40	6.87
OD (mg/L)	≥ 5	7.75	8.38	8.38	7.25	8.23	7.89
CE (μS/cm)	1500-1600	144.60	35.90	26.70	60.60	80.53	80.90
STD (mg/L)	1000-1500	68.97	24.60	18.91	39.90	49.52	56.13
Temperatura (°C)	Δ ³	16.20	12.63	15.93	14.93	15.79	17.03

El símbolo Δ (delta) indica el rango variación de la temperatura promedio.

3.2. Análisis de componentes principales (PCA) de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua y morfométricos de los bagres

El análisis de componentes principales (PCA) se aplicó para un total de 18 variables (13 parámetros morfométricos y 5 fisicoquímicos). Los datos obtenidos fueron exportados y organizados en una tabla Excel para su posterior análisis en el programa Rstudio (R v4.2.3).

a. Análisis de componentes principales (PCA) para el género *Trichomycterus*

En el gráfico de análisis de componentes principales para el género *Trichomycterus* se observó la agrupación y separación de los individuos según la vertiente de origen (**Figura 11**). Se reveló que los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua son ideales para separar las poblaciones de una misma especie.

La **Figura 12** mostró la distribución de las variables con las dimensiones obtenidas por el PCA y su contribución. Los parámetros morfométricos tuvieron la tendencia alinearse

y agruparse hacia la parte derecha de la dimensión 2 (15.1% de la varianza total). Por otro lado, los parámetros fisicoquímicos se distribuyeron entre la dimensión 1 (78% de la varianza total) y la dimensión 2.

Las variables de mayor contribución para la dimensión 1 fueron: longitud predorsal (LPrD), ancho de cabeza (AnCa), altura del pedúnculo caudal (AlPeCa), longitud estándar (LE), longitud prepélvica (LPrP), longitud total (LT), peso, longitud preanal (LPrA), altura de cuerpo (AlCu), longitud de la cabeza (LCa) y altura de cabeza (AlCa). En el caso de los individuos cuyas variables tuvieron una mayor contribución a la formación de los grupos fueron los siguientes especímenes: B.Jn1, B.Jn6, B.Qc2, B.Jn4, B.Qc1 y B.Qc5 (**Figura 13; Figura 14**).

Las variables de mayor influencia para la dimensión 2 fueron: los parámetros fisicoquímicos (Temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto). Para el caso de los individuos fueron: B.Jn10, B.Jn7, B.Jn11, B.Jn1, B.Jn9, B.Jn7, B.Jn6, B.Qc7, B.Qc8 y B.Qc1 (**Figura 15; Figura 16**).

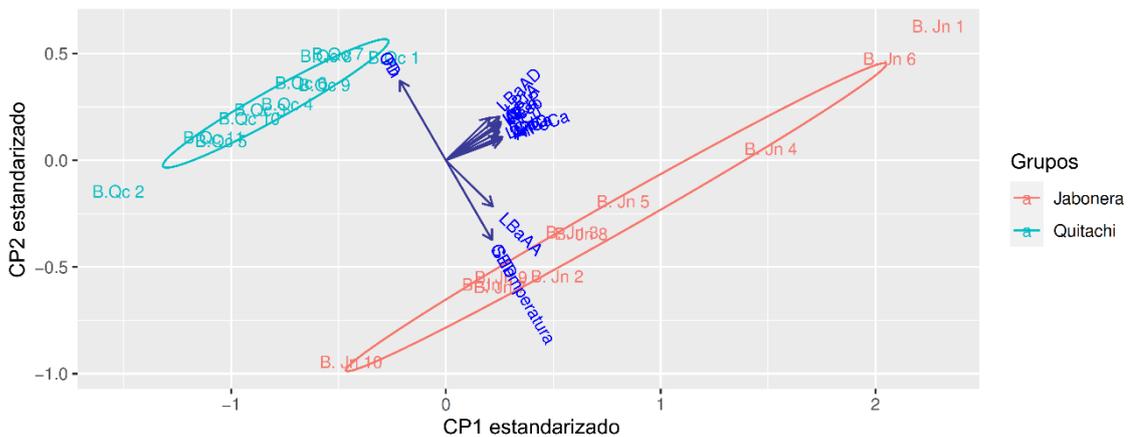


Figura 11. Análisis de componentes principales (PCA) de los parámetros morfométricos de los bagres del género *Trichomycterus* y parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua. Se resalta la formación de grupos correspondiente a cada población.

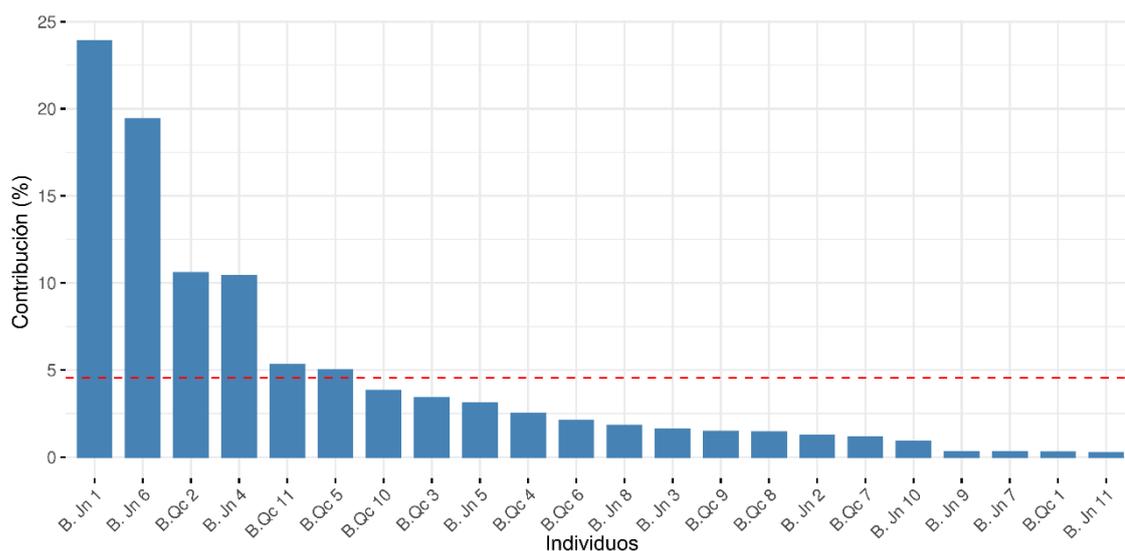


Figura 14. Grado de contribución de los individuos de los bagres altoandinos del género *Trichomycterus* para la dimensión 1 del PCA. La línea base de color rojo indica el límite de cuales variables se consideran que han tenido mayor contribución.

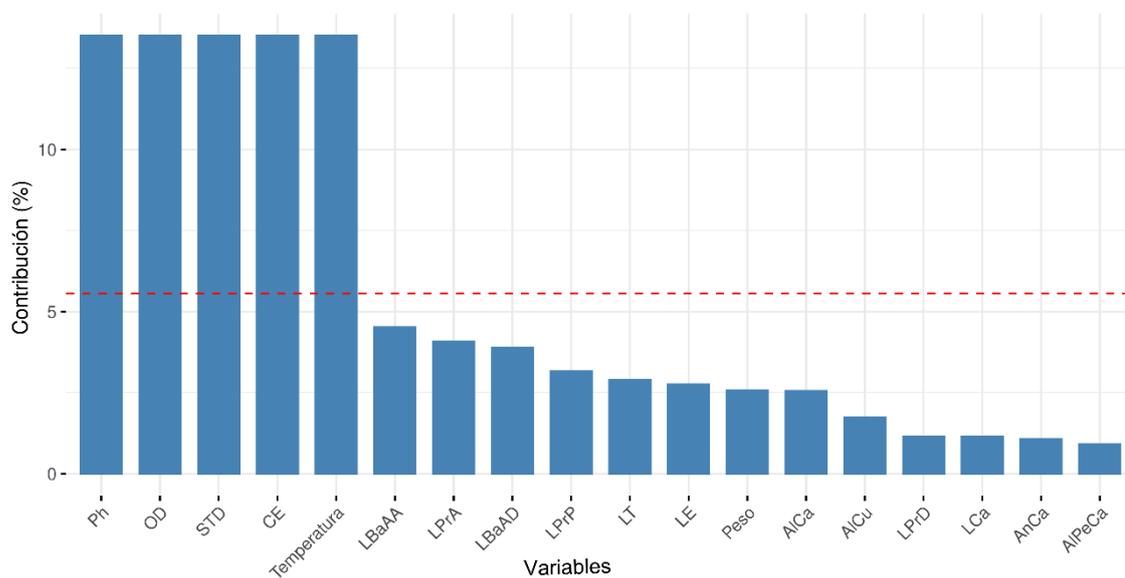


Figura 15. Grado de contribución de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua de los afluentes de los bagres altoandinos del género *Trichomycterus* para la dimensión 2 del PCA. La línea base de color rojo fue estimada por el mismo paquete que se usó para realizar los análisis de PCA. La línea base de color rojo indica el límite de cuales variables se consideran que han tenido mayor contribución.

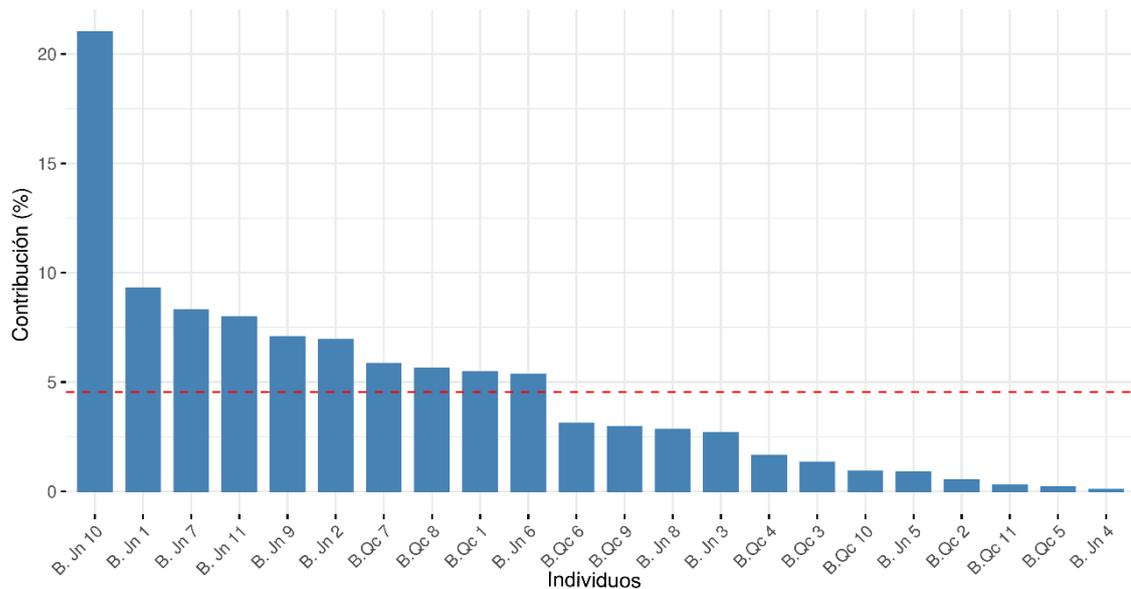


Figura 16. Grado de contribución de los individuos de los bagres del género *Trichomycterus* a la dimensión 2 del PCA. La línea base de color rojo indica el límite de cuales variables se consideran que han tenido mayor contribución.

b. Análisis de componentes principales (PCA) para el género *Astroblepus*

En el gráfico de análisis de componentes principales para el género *Astroblepus* (**Figura 17**) se observó la agrupación y separación de los individuos de acuerdo a la vertiente de origen. Se mostró que los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua son ideales para separar poblaciones de una misma especie.

La **Figura 18** mostro la distribución de las variables con las dimensiones obtenidas. Se observó que los parámetros morfométricos tendieron alinearse y agruparse hacia la parte derecha de la dimensión 2 (13.8% de la varianza total). Además, los parámetros fisicoquímicos se distribuyeron entre la dimensión 1 (69.1% de varianza total) y la dimensión 2.

Las variables de mayor contribución para la dimensión 1 fueron: longitud total (LT), ancho de cabeza (AnCa), longitud estándar (LE), altura del pedúnculo caudal (AlPeCa), longitud preanal (LPrA), peso, longitud prepélvica (LprPe), longitud predorsal (LPrD), longitud de cabeza (Lca) y altura de cuerpo. En el caso de los individuos cuyas variables tuvieron una mayor contribución a la formación de los grupos fueron los siguientes especímenes: B.At2, B.Ac2, B.Bc4, B.At1, B.Bc6, B.At4, B.Bc1, B.Bc3, B.Bc5, B.At6, B.At8, B.At3, B.At11 y B.Bc7 (**Figura 19; Figura 20**).

Las variables de mayor contribución para la dimensión 2 fueron: cuatro de los cinco parámetros fisicoquímicos (Conductividad eléctrica, pH, sólidos totales disueltos, temperatura). Por otro lado, los individuos de mayor contribución a esta dimensión fueron: B.Bc9, B.Bc8, B.At16, B.At10, B.At13, B.At9, B.Cd2, B.At15, B.At14, B.Bc7 (Figura 21; Figura 22).

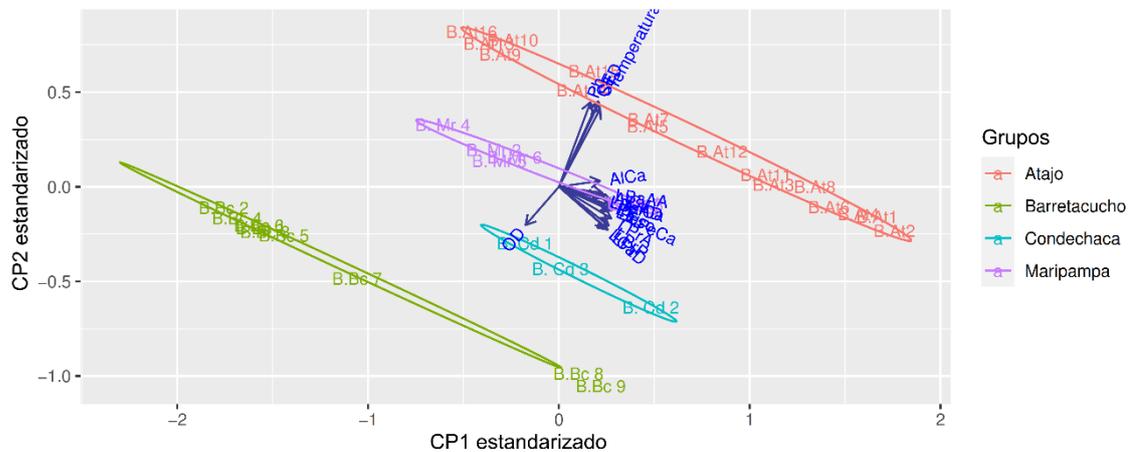


Figura 17. Análisis de componentes principales (PCA) de los parámetros morfométricos de los bagres del género *Astroblepus*, y parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua. Se resalta la formación de grupos correspondiente a cada población.

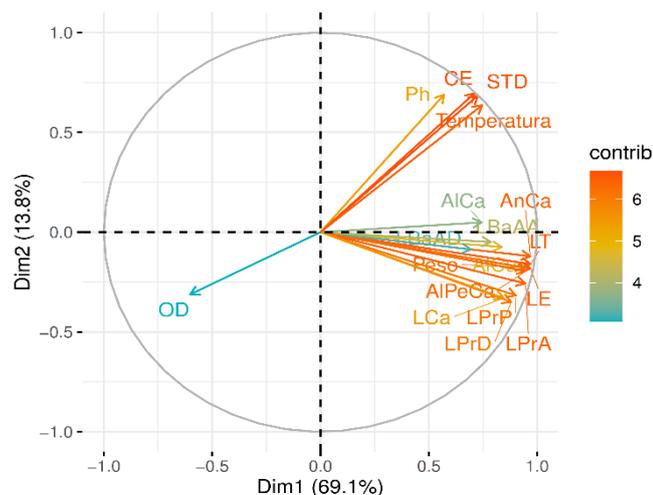


Figura 18. Análisis de componentes principales (PCA) que muestra la varianza total de cada dimensión (Dim), el grado de contribución y similitud de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua y morfológicos de los bagres del género *Astroblepus*.

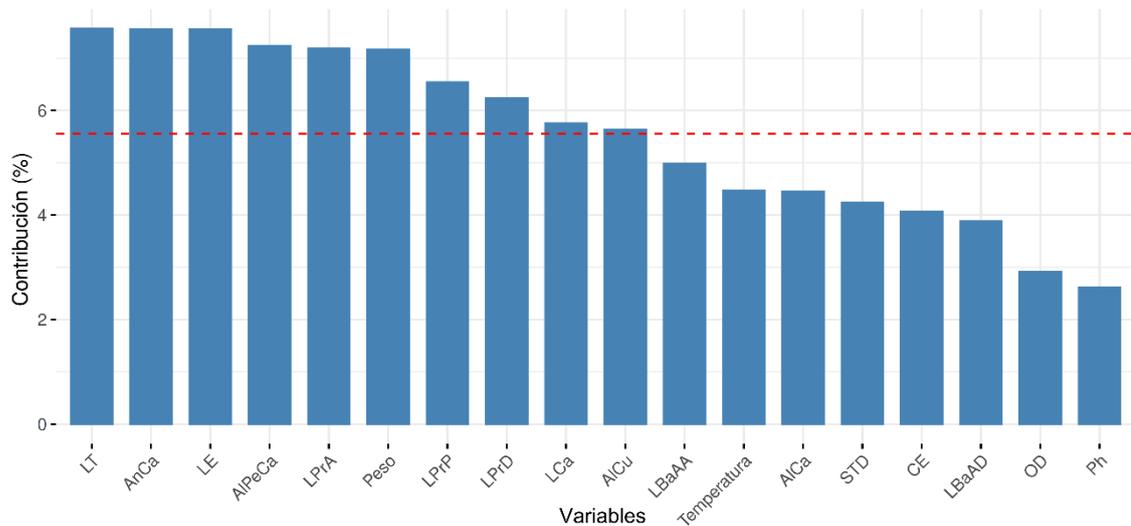


Figura 19. Grado de contribución de los parámetros morfométricos de los bagres altoandinos del género *Astroblepus* para la dimensión 1 del PCA. La línea base de color rojo indica el límite de cuales variables se consideran que han tenido mayor contribución.

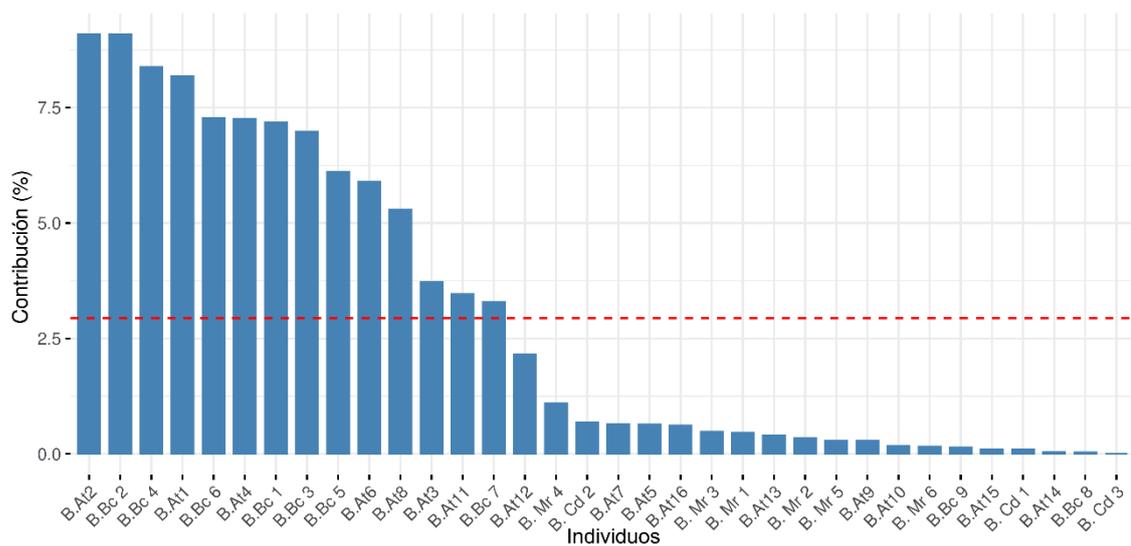


Figura 20. Grado de contribución de los individuos de los bagres altoandinos del género *Astroblepus* para la dimensión 1 del PCA. La línea base de color rojo indica el límite de cuales variables se consideran que han tenido mayor contribución.

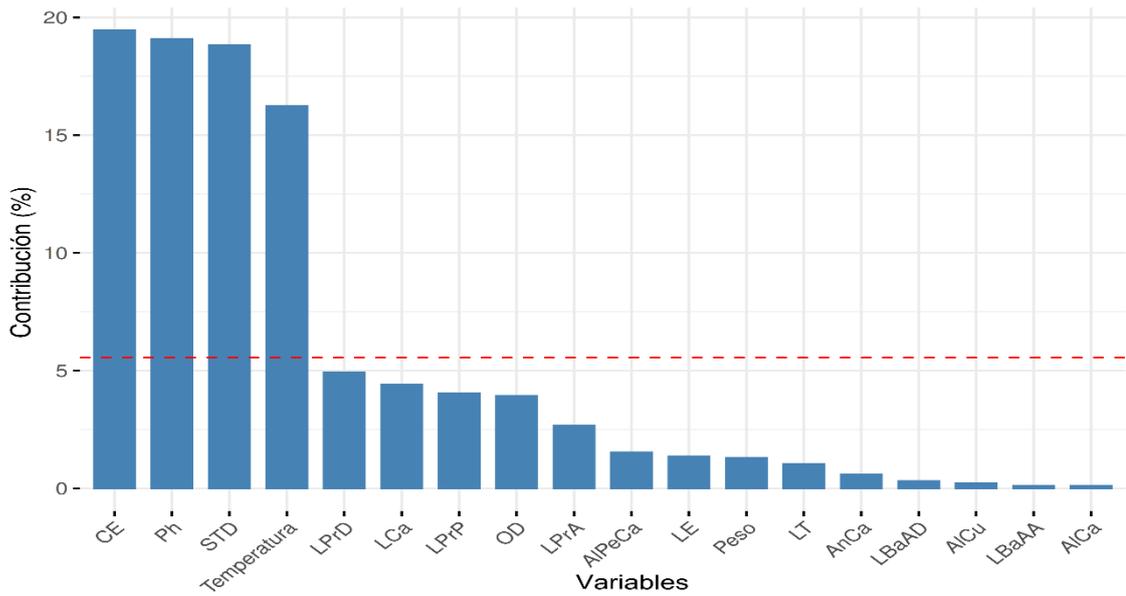


Figura 21. Grado de contribución de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua de los afluentes de los bagres altoandinos del género *Astroblepus* para la dimensión 2 del PCA. La línea base de color rojo indica el límite de cuales variables se consideran que han tenido mayor contribución.

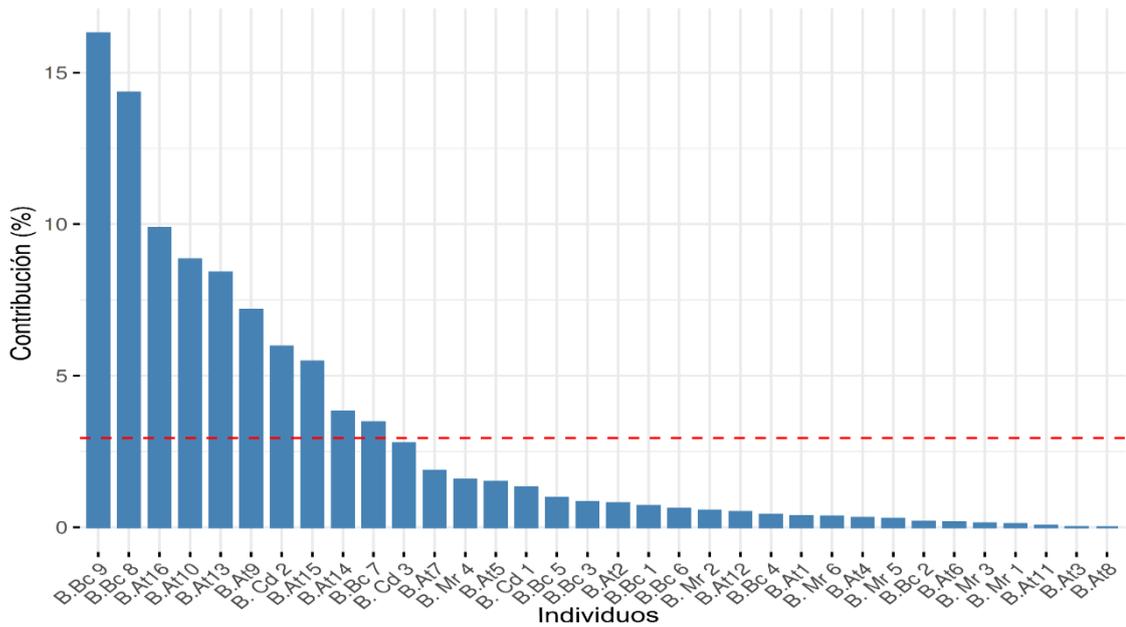


Figura 22. Grado de contribución de los individuos de los bagres altoandinos del género *Astroblepus* a la dimensión 2 del PCA. La línea base de color rojo indica el límite de cuales variables se consideran que han tenido mayor contribución.

3.3. Análisis de ADN barcoding de bagres andinos.

Los análisis filogenéticos se basaron en 671 pb del marcador COI. Este estudio generó un total de 22 secuencias para el género *Trichomycterus* y 33 secuencias para el género *Astroblepus* de especímenes provenientes de las provincias de Chachapoyas y Rodríguez de Mendoza. A estos datos generados se incorporaron 103 secuencias para el género *Trichomycterus* y 74 secuencias para el género *Astroblepus* provenientes del Genbank (Tabla 5; Tabla 6). En la Figura 23 se pudo observar la relación filogenética de las familias de los bagres andinos Trichomycteridae y Astroblepidae.

Tabla 5. Lista de secuencias descargadas del GenBank para el género *Trichomycterus*

Nº	Nombre Científico	Código de GenBank	País	Referencia
1	<i>Cambeva balios</i>	MN995680	Uruguay	Donin et al., (2020)
2	<i>Cambeva balios</i>	MN995686	Uruguay	Donin et al., (2020)
3	<i>Cambeva balios</i>	MN995687	Uruguay	Donin et al., (2020)
4	<i>Cambeva balios</i>	MN995681	Brasil	Donin et al., (2020)
5	<i>Cambeva balios</i>	MN995681	Brasil	Donin et al., (2020)
6	<i>Cambeva balios</i>	MT002665	Brasil	Donin et al., (2020)
7	<i>Cambeva balios</i>	MN995683	Brasil	Donin et al., (2020)
8	<i>Cambeva balios</i>	MN995678	Brasil	Donin et al., (2020)
9	<i>Cambeva balios</i>	MN995692	Brasil	Donin et al., (2020)
10	<i>Cambeva balios</i>	MN995684	Brasil	Donin et al., (2020)
11	<i>Cambeva barbosa</i>	MN995709	Brasil	Donin et al., (2020)
12	<i>Cambeva barbosa</i>	MN995716	Brasil	Donin et al., (2020)
13	<i>Cambeva brachykechenos</i>	MN995669	Brasil	Donin et al., (2020)
14	<i>Cambeva cubataonis</i>	MN995723	Brasil	Donin et al., (2020)
15	<i>Cambeva cubataonis</i>	MN995726	Brasil	Donin et al., (2020)
16	<i>Cambeva cubataonis</i>	MN995722	Brasil	Donin et al., (2020)
17	<i>Cambeva davis</i>	MN995729	Brasil	Donin et al., (2020)
18	<i>Cambeva diabola</i>	JN989257	Brasil	Pereira et al. (2013)
19	<i>Cambeva diabola</i>	JN989255	Brasil	Pereira et al. (2013)
20	<i>Cambeva diatropoporos</i>	KY857996	Brasil	Ochoa et al., (2017)
21	<i>Cambeva guaraquessaba</i>	MN995662	Brasil	Donin et al., (2020)
22	<i>Cambeva naipi</i>	MN995699	Brasil	Donin et al., (2020)
23	<i>Cambeva perkos</i>	MN995663	Brasil	Donin et al., (2020)
24	<i>Cambeva poikilos</i>	MN995694	Brasil	Donin et al., (2020)
25	<i>Cambeva poikilos</i>	MN995695	Brasil	Donin et al., (2020)
26	<i>Cambeva poikilos</i>	MN995693	Brasil	Donin et al., (2020)
27	<i>Cambeva poikilos</i>	MN995696	Brasil	Donin et al., (2020)
28	<i>Cambeva sp.</i>	MN995704	Brasil	Donin et al., (2020)
29	<i>Cambeva sp.</i>	MN995700	Brasil	Donin et al., (2020)
30	<i>Cambeva sp.</i>	MN995698	Brasil	Donin et al., (2020)

31	<i>Cambeva</i> sp.	MN995697	Brasil	Donin et al., (2020)
32	<i>Cambeva</i> sp.	MN995672	Brasil	Donin et al., (2020)
33	<i>Cambeva stawiarSKI</i>	MN995732	Brasil	Donin et al., (2020)
34	<i>Cambeva stawiarSKI</i>	MN995720	Brasil	Donin et al., (2020)
35	<i>Cambeva taroba</i>	MN995708	Brasil	Donin et al., (2020)
36	<i>Cambeva tropeiro</i>	MN995675	Brasil	Donin et al., (2020)
37	<i>Cambeva tupinamba</i>	MN995657	Brasil	Donin et al., (2020)
38	<i>Cambeva tupinamba</i>	MN995658	Brasil	Donin et al., (2020)
39	<i>Cambeva tupinamba</i>	MN995659	Brasil	Donin et al., (2020)
40	<i>Cambeva zonata</i>	MN995707	Brasil	Donin et al., (2020)
41	<i>Cambeva zonata</i>	MN995705	Brasil	Donin et al., (2020)
42	<i>Cambeva zonata</i>	MN995706	Brasil	Donin et al., (2020)
43	<i>Ituglanis boitata</i>	KY857994	Brasil	Ochoa et al., (2017)
44	<i>Trichomycterus albinotatus</i>	MN813007	Brasil	Donin et al., (2020)
45	<i>Trichomycterus alternatus</i>	ON036867	Brasil	Reis & Pinna, (2022)
46	<i>Trichomycterus anaisae</i>	MT941784	Brasil	Costa & Katz, (2021)
47	<i>Trichomycterus areolatus</i>	KY857964	Chile	Ochoa et al., (2017)
48	<i>Trichomycterus areolatus</i>	KY857963	Chile	Ochoa et al., (2017)
49	<i>Trichomycterus auroguttatus</i>	MT435135	Brasil	Costa & Katz, (2021)
50	<i>Trichomycterus brasiliensis</i>	HM404917	Brasil	Carvalho et al., (2011)
51	<i>Trichomycterus brasiliensis</i>	HM404937	Brasil	Carvalho et al., (2011)
52	<i>Trichomycterus brasiliensis</i>	GU701475	Brasil	Pereira et al., (2011)
53	<i>Trichomycterus brasiliensis</i>	GU701478	Brasil	Pereira et al., (2011)
54	<i>Trichomycterus brunoi</i>	MW196751	Brasil	Costa, (2021)
55	<i>Trichomycterus caipora</i>	MN813008	Brasil	Costa et al., (2020)
56	<i>Trichomycterus candidus</i>	KY857965	Brasil	Ochoa et al., (2017)
57	<i>Trichomycterus caudofasciatus</i>	MN813006	Brasil	Donin et al., (2020)
58	<i>Trichomycterus claudiae</i>	MW196754	Brasil	Costa, (2021)
59	<i>Trichomycterus fuliginosus</i>	MW196750	Brasil	Costa, (2021)
60	<i>Trichomycterus funebris</i>	MT941786	Brasil	Costa & Katz, (2021)
61	<i>Trichomycterus giganteus</i>	GU702165	Brasil	Pereira et al., (2011)
62	<i>Trichomycterus giganteus</i>	GU702302	Brasil	Pereira et al., (2011)
63	<i>Trichomycterus guacamayoensis</i>	MH407227	Colombia	Mesa et al., (2018)
64	<i>Trichomycterus humboldti</i>	MT941789	Brasil	Costa & Katz, (2021)
65	<i>Trichomycterus immaculatus</i>	MT803383	Brasil	Costa & Katz, (2021)
66	<i>Trichomycterus ingaiensis</i>	MT941792	Brasil	Costa & Katz, (2021)
67	<i>Trichomycterus itatiayae</i>	MW671552	Brasil	Costa & Katz, (2021)
68	<i>Trichomycterus jacupiranga</i>	OP257288	Brasil	Donin et al., (2022)
69	<i>Trichomycterus luetkeni</i>	MT941794	Brasil	Costa & Katz, (2021)
70	<i>Trichomycterus macrotrichopterus</i>	MW196753	Brasil	Costa, (2021)
71	<i>Trichomycterus maculosus</i>	MN813010	Brasil	Donin et al., (2020)
72	<i>Trichomycterus maracaya</i>	JN989264	Brasil	Pereira et al. (2013)

73	<i>Trichomycterus maracaya</i>	JN989266	Brasil	Pereira et al. (2013)
74	<i>Trichomycterus maracaya</i>	JN989265	Brasil	Pereira et al. (2013)
75	<i>Trichomycterus maracaya</i>	JN989262	Brasil	Pereira et al. (2013)
76	<i>Trichomycterus melanopygius</i>	MT803384	Brasil	Costa & Katz, (2021)
77	<i>Trichomycterus mimonha</i>	GU701462	Brasil	Pereira et al., (2011)
78	<i>Trichomycterus mimonha</i>	GU701459	Brasil	Pereira et al., (2011)
79	<i>Trichomycterus mimonha</i>	GU701460	Brasil	Pereira et al., (2011)
80	<i>Trichomycterus mirissumba</i>	MW196752	Brasil	Costa, (2021)
81	<i>Trichomycterus nigricans</i>	MN385796	Brasil	Costa et al., (2020)
82	<i>Trichomycterus nigroauratus</i>	KY857972	Brasil	Ochoa et al., (2017)
83	<i>Trichomycterus novalimensis</i>	MW196755	Brasil	Costa, (2021)
84	<i>Trichomycterus pauciradiatus</i>	MT941797	Brasil	Costa & Katz, (2021)
85	<i>Trichomycterus pirabitira</i>	KY857982	Brasil	Ochoa et al., (2017)
86	<i>Trichomycterus piratymbara</i>	MT941803	Brasil	Costa & Katz, (2021)
87	<i>Trichomycterus pradensis</i>	MN813003	Brasil	Donin et al., (2020)
88	<i>Trichomycterus punctulatus</i>	KY857983	Perú	Ochoa et al., (2017)
89	<i>Trichomycterus reinhardti</i>	MT941813	Brasil	Costa & Katz, (2021)
90	<i>Trichomycterus rubiginosus</i>	MK123699	Brasil	Katz et al., (2018)
91	<i>Trichomycterus sainthilairei</i>	MT941816	Brasil	Costa & Katz, (2021)
92	<i>Trichomycterus santaeritae</i>	GU702159	Brasil	Pereira et al., (2011)
93	<i>Trichomycterus septemradiatus</i>	MT941818	Brasil	Costa & Katz, (2021)
94	<i>Trichomycterus</i> sp.	JN989270	Brasil	Pereira et al. (2013)
95	<i>Trichomycterus</i> sp.	JN989271	Brasil	Pereira et al. (2013)
96	<i>Trichomycterus</i> sp.	JN989275	Brasil	Pereira et al. (2013)
97	<i>Trichomycterus</i> sp.	JN989268	Brasil	Pereira et al. (2013)
98	<i>Trichomycterus striatus</i>	MG937308	Panamá	-
99	<i>Trichomycterus striatus</i>	MG937313	Panamá	-
100	<i>Trichomycterus striatus</i>	MG937311	Panamá	-
101	<i>Trichomycterus travassosi</i>	MK123701	Brasil	Katz et al., (2018)
102	<i>Trichomycterus vitalbrazili</i>	MT435138	Brasil	Costa & Katz, (2021)
103	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Qc 1	Perú	Este estudio
104	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Qc 2	Perú	Este estudio
105	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Qc 3	Perú	Este estudio
106	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Qc 4	Perú	Este estudio
107	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Qc 5	Perú	Este estudio
108	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Qc 6	Perú	Este estudio
109	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Qc 7	Perú	Este estudio
110	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Qc 8	Perú	Este estudio
111	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Qc 9	Perú	Este estudio
112	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Qc 10	Perú	Este estudio
113	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Qc 11	Perú	Este estudio
114	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Jn 1	Perú	Este estudio
115	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Jn 2	Perú	Este estudio
116	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Jn 3	Perú	Este estudio
117	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Jn 4	Perú	Este estudio

118	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Jn 5	Perú	Este estudio
119	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Jn 6	Perú	Este estudio
120	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Jn 7	Perú	Este estudio
121	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Jn 8	Perú	Este estudio
122	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Jn 9	Perú	Este estudio
123	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Jn 10	Perú	Este estudio
124	<i>Trichomycterus</i> sp.	B.Jn 11	Perú	Este estudio

Tabla 6. Lista de secuencias descargadas del GenBank para el género *Astroblepus*

N°	Nombre Científico	Código de GenBank	País	Referencia
1	<i>Astroblepus</i> gr. <i>grixalvii</i>	MN542047	Colombia	Ochoa et al., (2020)
2	<i>Astroblepus</i> gr. <i>grixalvii</i>	MN542056	Colombia	Ochoa et al., (2020)
3	<i>Astroblepus</i> gr. <i>grixalvii</i>	MN542057	Colombia	Ochoa et al., (2020)
4	<i>Astroblepus</i> gr. <i>grixalvii</i>	MN542083	Colombia	Ochoa et al., (2020)
5	<i>Astroblepus</i> gr. <i>grixalvii</i>	MN542086	Colombia	Ochoa et al., (2020)
6	<i>Astroblepus</i> gr. <i>grixalvii</i>	MN542061	Colombia	Ochoa et al., (2020)
7	<i>Astroblepus</i> gr. <i>grixalvii</i>	MN542066	Colombia	Ochoa et al., (2020)
8	<i>Astroblepus</i> gr. <i>grixalvii</i>	MN542053	Colombia	Ochoa et al., (2020)
9	<i>Astroblepus</i> gr. <i>grixalvii</i>	MN542051	Colombia	Ochoa et al., (2020)
10	<i>Astroblepus</i> gr. <i>grixalvii</i>	MN542045	Colombia	Ochoa et al., (2020)
11	<i>Astroblepus</i> gr. <i>grixalvii</i>	MN542044	Colombia	Ochoa et al., (2020)
12	<i>Astroblepus</i> gr. <i>grixalvii</i>	MN542048	Colombia	Ochoa et al., (2020)
13	<i>Astroblepus</i> gr. <i>grixalvii</i>	MN542050	Colombia	Ochoa et al., (2020)
14	<i>Astroblepus</i> gr. <i>grixalvii</i>	MN542046	Colombia	Ochoa et al., (2020)
15	<i>Astroblepus</i> sp.	MG936674	Panamá	-
16	<i>Astroblepus</i> sp.	MG936675	Panamá	-
17	<i>Astroblepus</i> sp.	MG936677	Panamá	-
18	<i>Astroblepus</i> sp.	MG936682	Panamá	-
19	<i>Astroblepus</i> sp.	MG936681	Panamá	-
20	<i>Astroblepus</i> sp.	MG936678	Panamá	-
21	<i>Astroblepus</i> sp.	EU359405	Brasil	Cramer et al., (2007)
22	<i>Astroblepus</i> sp.	EU359406	Brasil	Cramer et al., (2007)
23	<i>Astroblepus</i> sp.	EU359404	Brasil	Cramer et al., (2007)
24	<i>Astroblepus</i> sp.	EU359407	Brasil	Cramer et al., (2007)
25	<i>Astroblepus</i> sp.	AP012004	Japón	Nakatani et al., (2011)
26	<i>Astroblepus</i> sp.	MN542014	Perú	Ochoa et al., (2020)
27	<i>Astroblepus</i> sp.	MN542013	Perú	Ochoa et al., (2020)
28	<i>Astroblepus</i> sp.	MN542019	Perú	Ochoa et al., (2020)
29	<i>Astroblepus</i> sp.	MN542016	Perú	Ochoa et al., (2020)
30	<i>Astroblepus</i> sp.	MN542020	Perú	Ochoa et al., (2020)

31	<i>Astroblepus</i> sp.	MN542022	Perú	Ochoa et al., (2020)
32	<i>Astroblepus</i> sp.	MN542008	Perú	Ochoa et al., (2020)
33	<i>Astroblepus</i> sp.	MN542023	Perú	Ochoa et al., (2020)
34	<i>Astroblepus</i> sp.	MN542024	Perú	Ochoa et al., (2020)
35	<i>Astroblepus</i> sp.	MN542025	Ecuador	Ochoa et al., (2020)
36	<i>Astroblepus</i> sp.	MN542029	Ecuador	Ochoa et al., (2020)
37	<i>Astroblepus</i> sp.	MK355222	Colombia	-
38	<i>Astroblepus</i> sp.	MK355225	Colombia	-
39	<i>Astroblepus</i> sp.	KM104513	Perú	Roxo et al., (2014)
40	<i>Astroblepus</i> sp.	KM104512	Perú	Roxo et al., (2014)
41	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049061	Perú	Schaefer et al., (2011)
42	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049044	Perú	Schaefer et al., (2011)
43	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049075	Perú	Schaefer et al., (2011)
44	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049051	Perú	Schaefer et al., (2011)
45	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049039	Perú	Schaefer et al., (2011)
46	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049047	Perú	Schaefer et al., (2011)
47	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049052	Perú	Schaefer et al., (2011)
48	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049046	Perú	Schaefer et al., (2011)
49	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049041	Perú	Schaefer et al., (2011)
50	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049073	Perú	Schaefer et al., (2011)
51	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049069	Perú	Schaefer et al., (2011)
52	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049062	Perú	Schaefer et al., (2011)
53	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049070	Perú	Schaefer et al., (2011)
54	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049067	Perú	Schaefer et al., (2011)
55	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049060	Perú	Schaefer et al., (2011)
56	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049071	Perú	Schaefer et al., (2011)
57	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049059	Perú	Schaefer et al., (2011)
58	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049054	Perú	Schaefer et al., (2011)
59	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049064	Perú	Schaefer et al., (2011)
60	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049055	Perú	Schaefer et al., (2011)
61	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049065	Perú	Schaefer et al., (2011)
62	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049049	Perú	Schaefer et al., (2011)
63	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049043	Perú	Schaefer et al., (2011)
64	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049037	Perú	Schaefer et al., (2011)
65	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049078	Perú	Schaefer et al., (2011)
66	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049079	Perú	Schaefer et al., (2011)
67	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049077	Perú	Schaefer et al., (2011)
68	<i>Astroblepus</i> sp.	HM049074	Colombia	Schaefer et al., (2011)
69	<i>Farlowella nattereri</i>	KT952441	Perú	García et al., (2015)
70	<i>Lamontichthys stvibaros</i>	HM049035	Perú	Schaefer et al., (2011)
71	<i>Loricaria simillima</i>	MK861710	Perú	García et al., (2021)
72	<i>Pterygoplichthys multiradiatus</i>	MK959878	Argentina	Cardoso et al., (2021)
73	<i>Rineloricaria aff stewarti</i>	MZ051985	Nueva Zelanda	Papa et al., (2021)

74	<i>Sturisomatichthys panamense</i>	NC_045877	China	Ren et al., (2019)
75	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj1	Perú	Este estudio
76	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj2	Perú	Este estudio
77	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj3	Perú	Este estudio
78	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj4	Perú	Este estudio
79	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj5	Perú	Este estudio
80	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj6	Perú	Este estudio
81	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj7	Perú	Este estudio
82	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj8	Perú	Este estudio
83	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj9	Perú	Este estudio
84	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj10	Perú	Este estudio
85	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj11	Perú	Este estudio
86	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj12	Perú	Este estudio
87	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj13	Perú	Este estudio
88	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj14	Perú	Este estudio
89	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj15	Perú	Este estudio
90	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Aj16	Perú	Este estudio
91	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Bc 1	Perú	Este estudio
92	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Bc 2	Perú	Este estudio
93	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Bc 3	Perú	Este estudio
94	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Bc 4	Perú	Este estudio
95	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Bc 5	Perú	Este estudio
96	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Bc 6	Perú	Este estudio
97	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Bc 7	Perú	Este estudio
98	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Bc 8	Perú	Este estudio
99	<i>Astroblepus</i> sp.	B.Bc 9	Perú	Este estudio
100	<i>Astroblepus</i> sp.	B. Mr 1	Perú	Este estudio
101	<i>Astroblepus</i> sp.	B. Mr 2	Perú	Este estudio
102	<i>Astroblepus</i> sp.	B. Mr 3	Perú	Este estudio
103	<i>Astroblepus</i> sp.	B. Mr 4	Perú	Este estudio
104	<i>Astroblepus</i> sp.	B. Mr 5	Perú	Este estudio
105	<i>Astroblepus</i> sp.	B. Mr 6	Perú	Este estudio
107	<i>Astroblepus</i> sp.	B. Cd 2	Perú	Este estudio
108	<i>Astroblepus</i> sp.	B. Cd 3	Perú	Este estudio

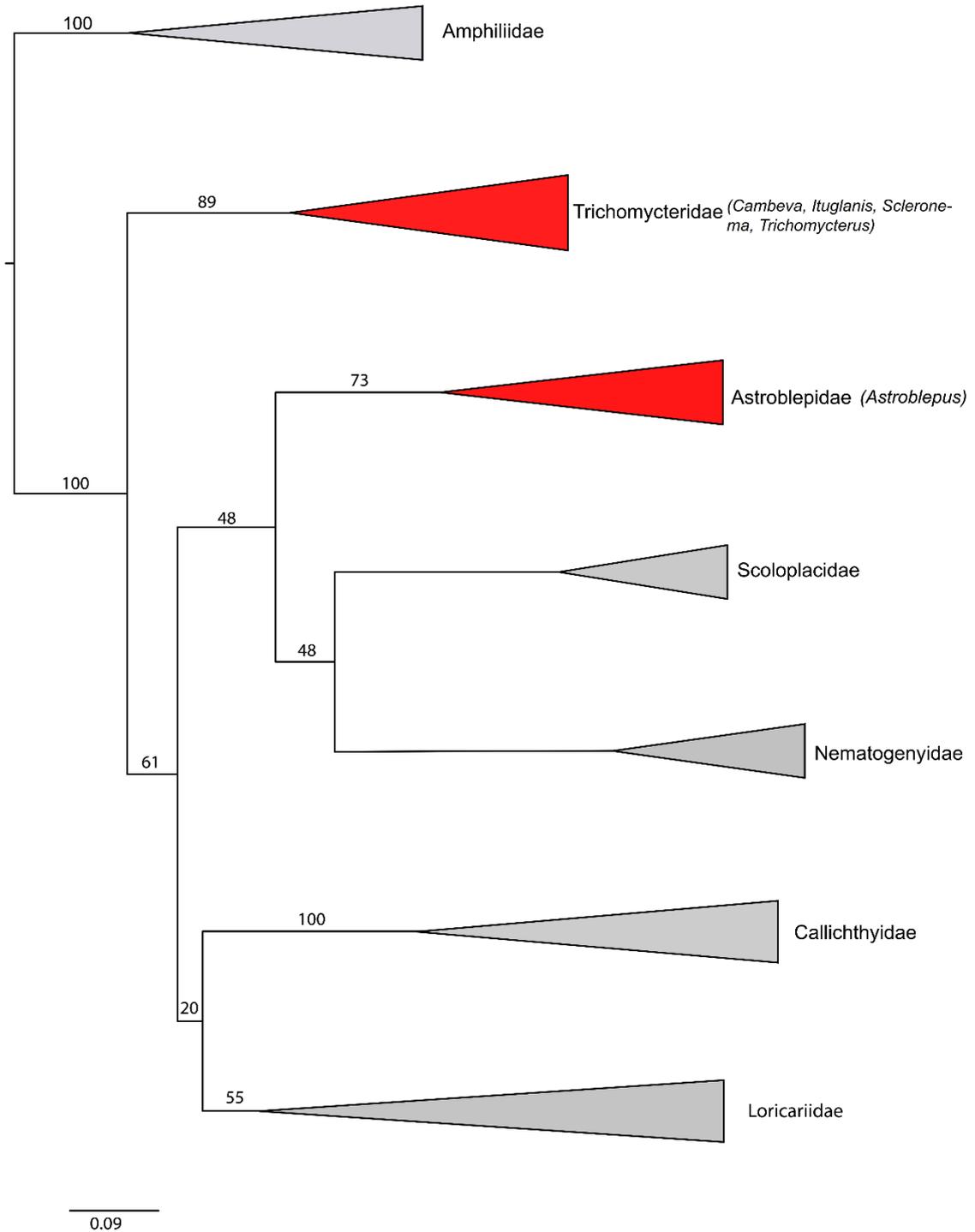


Figura 23. Árbol filogenético del orden de los siluriformes basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador mitocondrial COI. Valores de máxima verosimilitud se indican encima de las ramas. La escala indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Se marca en rojo la relación evolutiva de las familias de bagres altoandinos Trichomycteridae y Astroblepidae marcados en rojo.

a. Análisis filogenético para *Trichomycterus*.

El árbol filogenético reveló que los especímenes de las vertientes de Jabonera (Provincia de Rodríguez de Mendoza) y Lejía (Provincia de Chachapoyas) corresponden a un solo linaje (**Tabla 7; Figura 25**). Este linaje se encontró emparentado a los clados compuestos por el género *Cambeva* y *Scleronema* y al clado compuesto por los subgéneros de *Trichomycterus* (*Cryptocambeva*, *Humboldtglanis*, *Megacambeva*, *Paracambeva*, *Psammcambeva*, *Trichomycterus*). Estos resultados indicaron que los géneros *Cambeva* y *Scleronema* son monofiléticos, mientras que el género *Trichomycterus* es parafilético. La divergencia por pares de bases (pairwise) para los individuos de los géneros *Cambeva*, *Scleronema* y *Trichomycterus* oscilaron de 7.4-13.5%. La divergencia genética de los individuos del género *Cambeva* con los *Trichomycterus* previamente descritos oscilaron de 6.9-16.7%. Adicionalmente, la divergencia de los individuos colectados en este estudio con el género *Cambeva* fue 7.6-9.9% y con los individuos del género *Trichomycterus* fue 7.3-13.5% (**Figura 24**). Estos valores mostraron la alta diversidad genética en las zonas de estudio reflejado en la formación de un linaje diferente al de los miembros del género *Trichomycterus*.

Tabla 7. Especímenes que forman parte del nuevo linaje del género *Trichomycterus* colectados en las Provincias de Chachapoyas y Rodríguez de Mendoza

Muestras	Vertientes	Distritos
BQc1, BQc2, BQc3, BQc4, BQc5, BQc6, BQc7, BQc8, BQc9, BQc10, BQc11, BJn1, BJn2, BJn3, BJn4, BJn5, BJn6, BJn7, BJn8, BJn9, BJn10, BJn11.	Jabonera y Lejía	Cheto y Mariscal Benavides

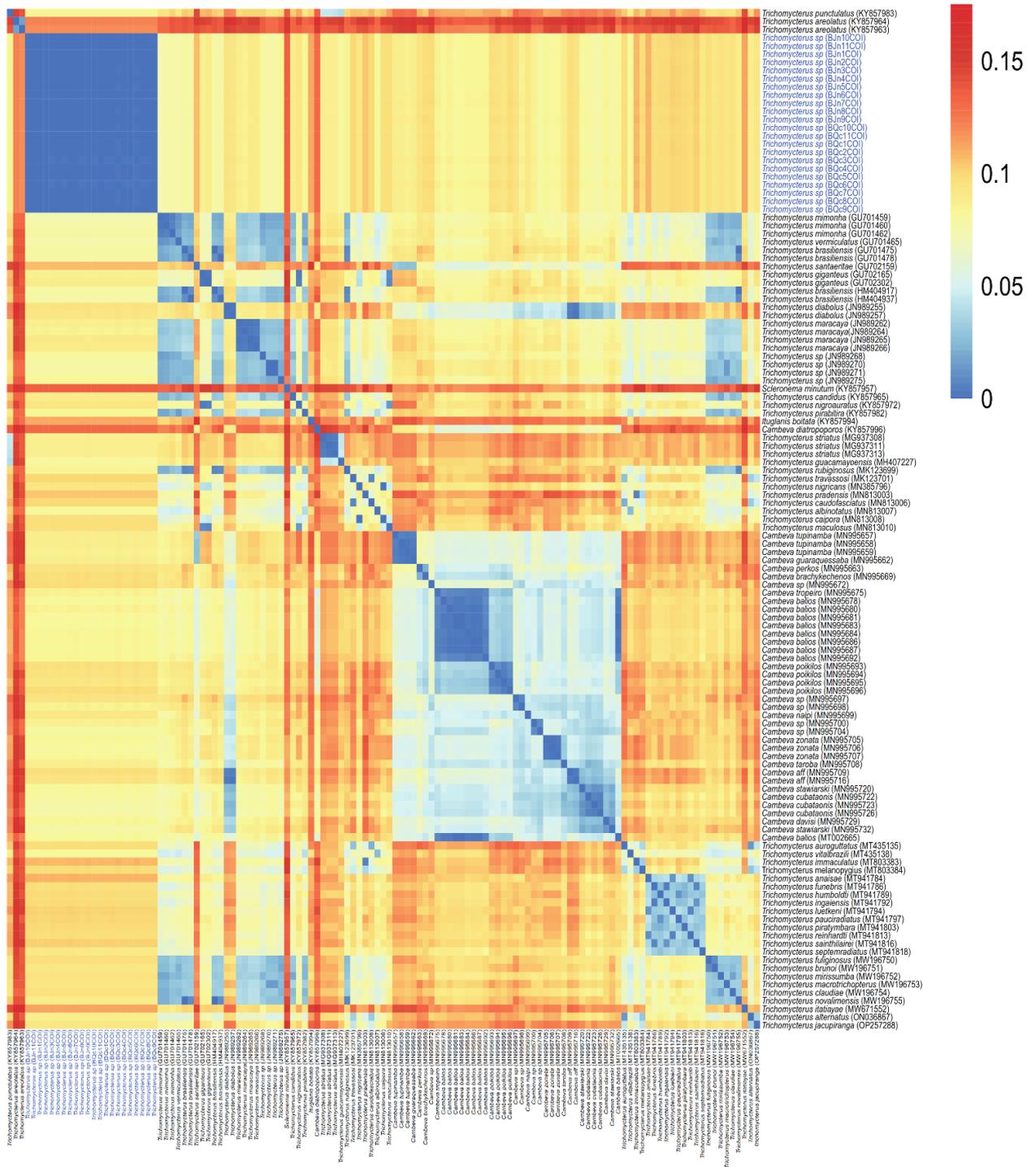


Figura 24. Mapa de calor (heatmap) de la divergencia genética por pares de bases (pairwise) del marcador mitocondrial COI para miembros de los géneros *Cambeva*, *Scleronema* y *Trichomycterus*. Divergencia genética elevada representada por el color rojo.

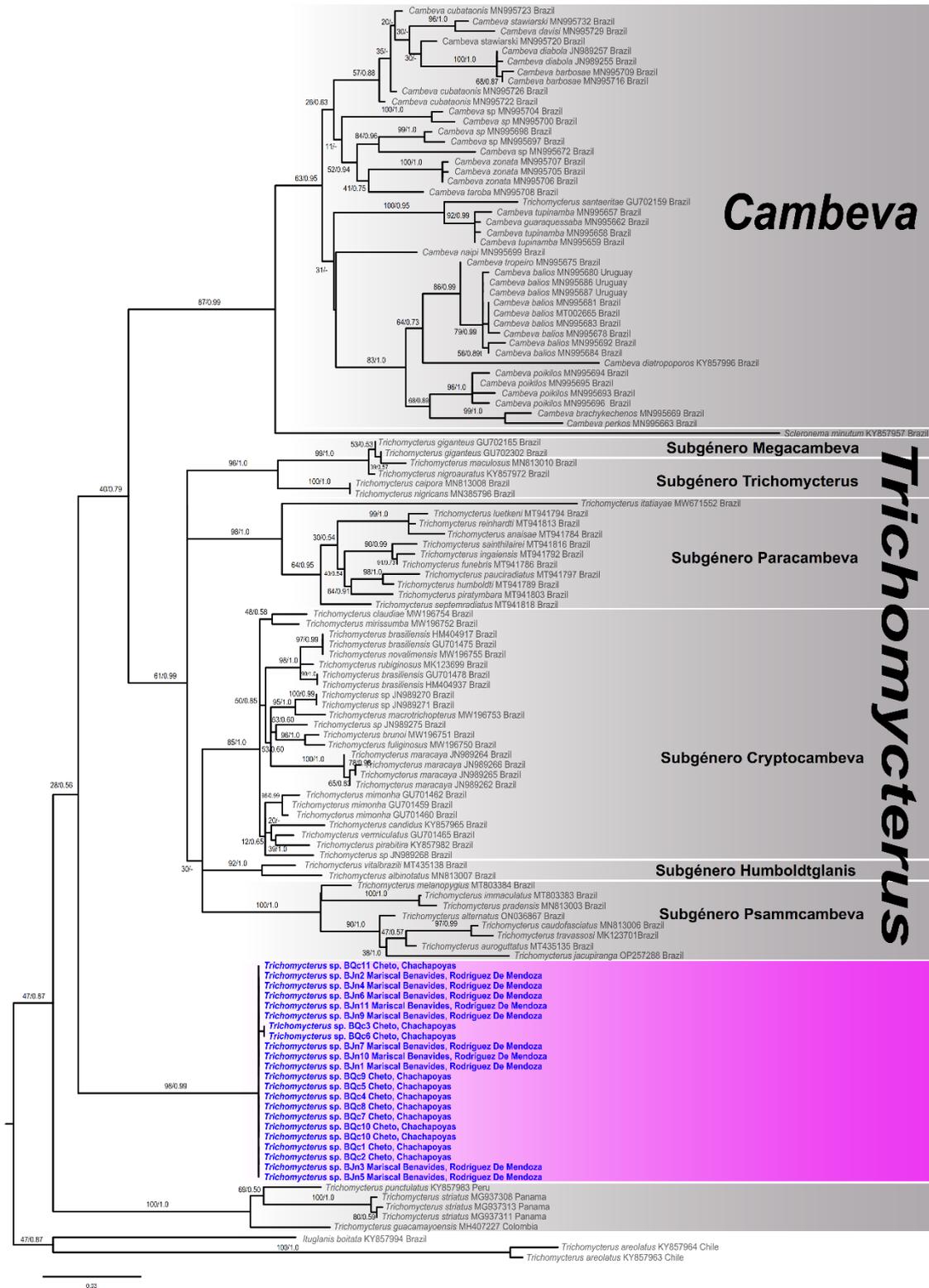


Figura 25. Árbol filogenético del género *Trichomycterus* basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador mitocondrial COI. Valores de soporte de máxima verosimilitud y probabilidad Bayesiana se indican encima de las ramas. La escala indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.

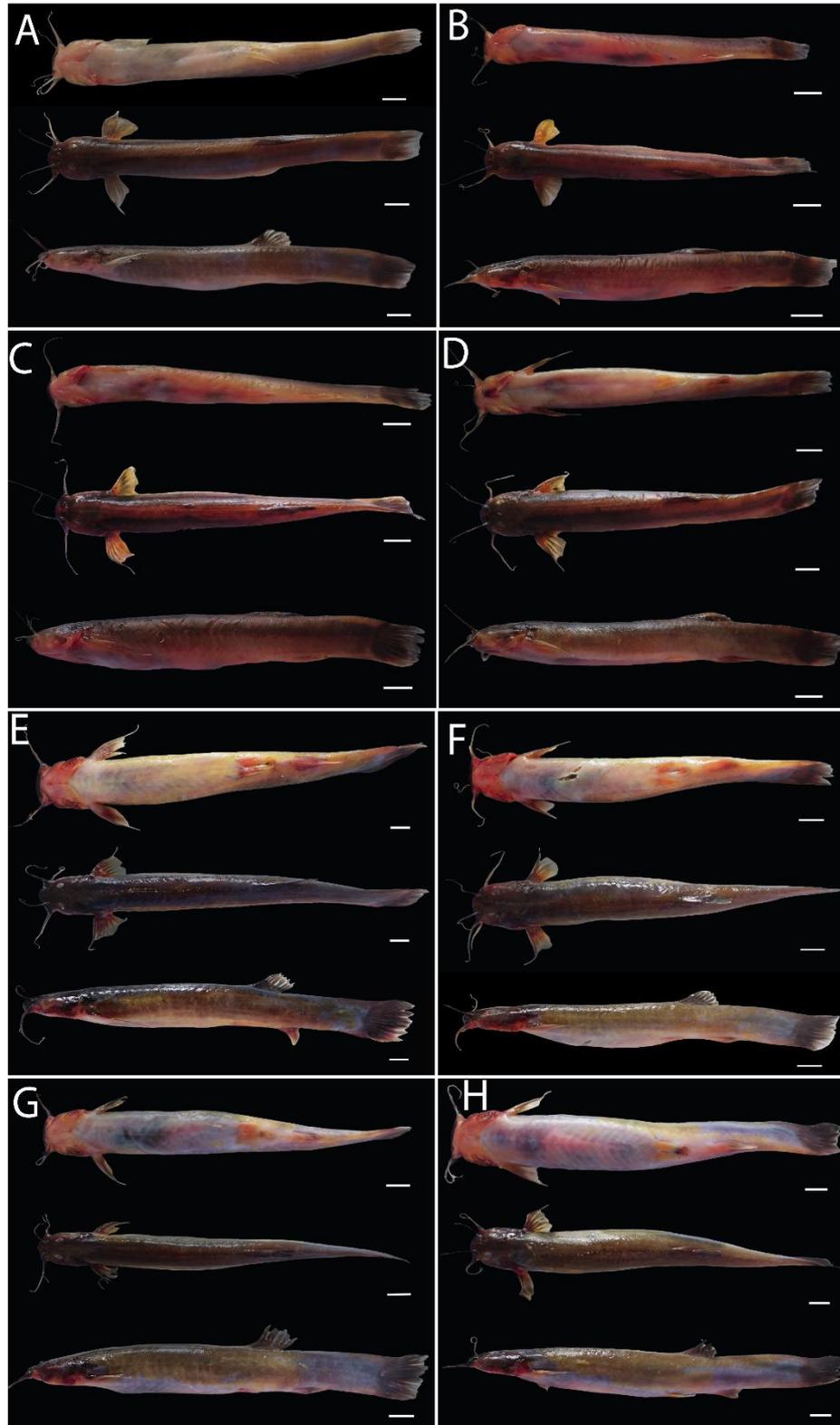


Figura 26. Vista ventral, dorsal y lateral de los especímenes del género *Trichomycterus* colectados en los distritos de Cheto, Chachapoyas (A= BQc1, B= BQc2, C=BQc3, D=BQc4) y Mariscal Benavides, Rodríguez de Mendoza (E= BJn1, F= BJn2, G= BJn3, H=BJn4). Escala = 1 cm.

b. Análisis filogenético para los *Astroblepus*

El árbol filogenético reveló que los especímenes de las vertientes el Atajo (Chachapoyas), Barretacucho (Magdalena), Rio Yuya-Maripampa (San Isidro del Maino) corresponden a cinco linajes y un singleton (secuencia única) (**Figura 28**). Los especímenes que conformaron cada uno de los linajes se presentan en la **Tabla 8**. Los linajes que correspondieron al grupo 1 y grupo 2 son linajes hermanos. Situación similar se observó entre los linajes correspondientes al grupo 3 y grupo 4. El grupo 5 se encontró emparentado a todos los otros linajes del género *Astroblepus*. Los linajes correspondientes a los grupos 1, 2, 3, 4, y 5 estuvieron conformados por especímenes colectados en la provincia de Chachapoyas. Los resultados mostraron que el género *Astroblepus* es parafilético

La divergencia genética por pares de bases (pairwise) para los individuos de este estudio con los otros miembros del género *Astroblepus* osciló entre 7.7-17.1%. Los individuos correspondientes a los linajes de la provincia de Chachapoyas mostraron divergencias menores 10.9% (**Figura 27**).

Tabla 8. Especímenes que conforman los linajes del género *Astroblepus* colectados en la Provincia de Chachapoyas

Grupo	Muestras	Vertientes	Distritos
1	BMr1, BMr2, BMr3, BMr4, BMr5, BMr6	Maripampa	San Isidro de Maino
2	BBc1, BBc2, BBc3, BBc4, BBc5, BBc6, BBc7, BBc8, BBc9	Barretacucho	Chachapoyas
3	BAj3, BAj7, BAj16, BAj4, BAj5, BAj9	El Atajo	Chachapoyas
4	BAj11, BAj6, BAj12, BAj2, BAj8, BAj1, BAjBAj15, BAj14, BAj13	El Atajo	Chachapoyas
5	BAj10, BCd2	El Atajo y Río Yuya	Chachapoyas, Magdalena

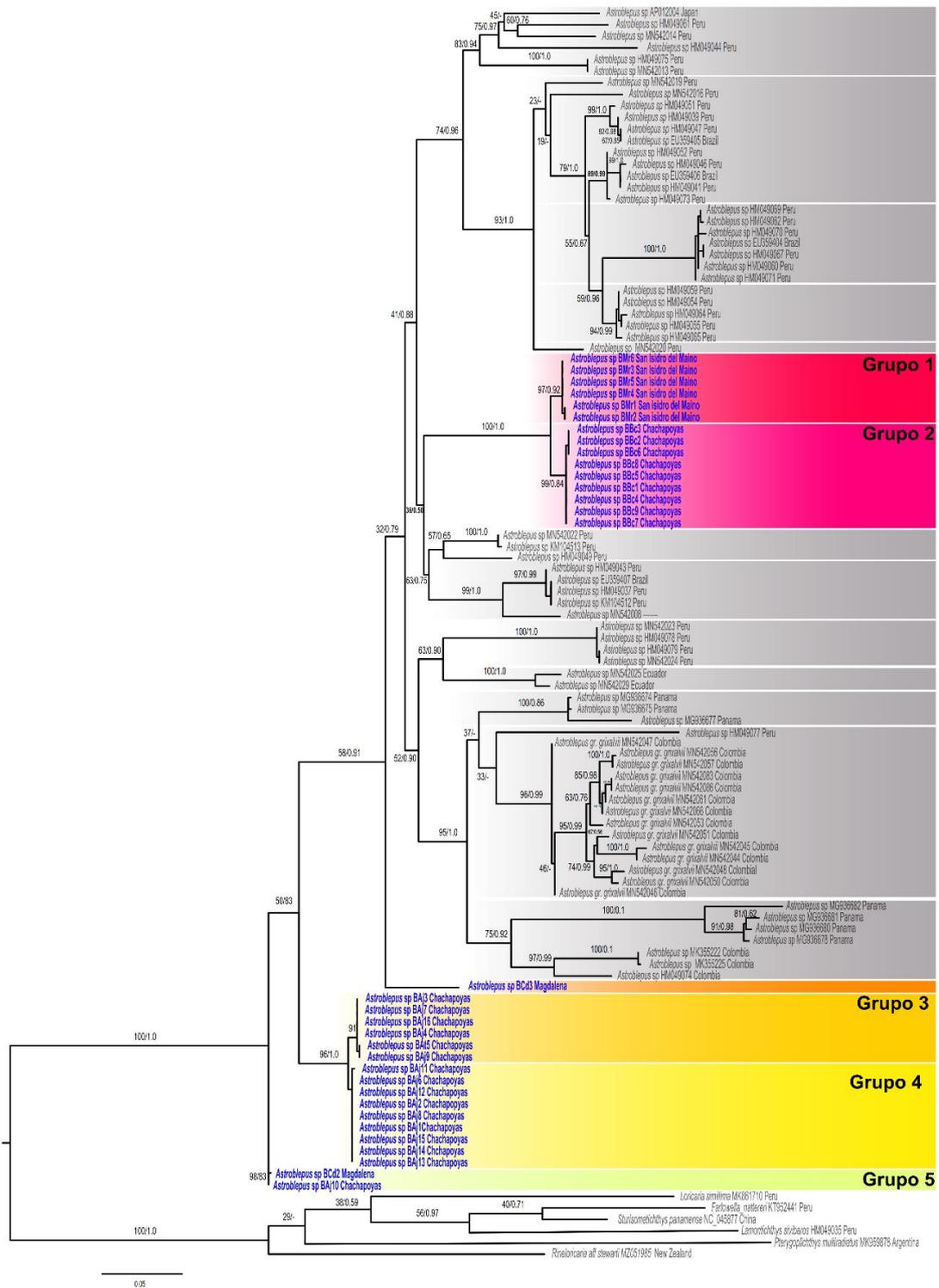


Figura 28. Árbol filogenético del género *Astroblepus* basado en el análisis de máxima verosimilitud del marcador mitocondrial COI. Valores de soporte de máxima verosimilitud y probabilidad Bayesiana se indican encima de las ramas. La escala indica el número de sustituciones de nucleótidos por sitio. Especímenes generados en este estudio se encuentran resaltados en azul.

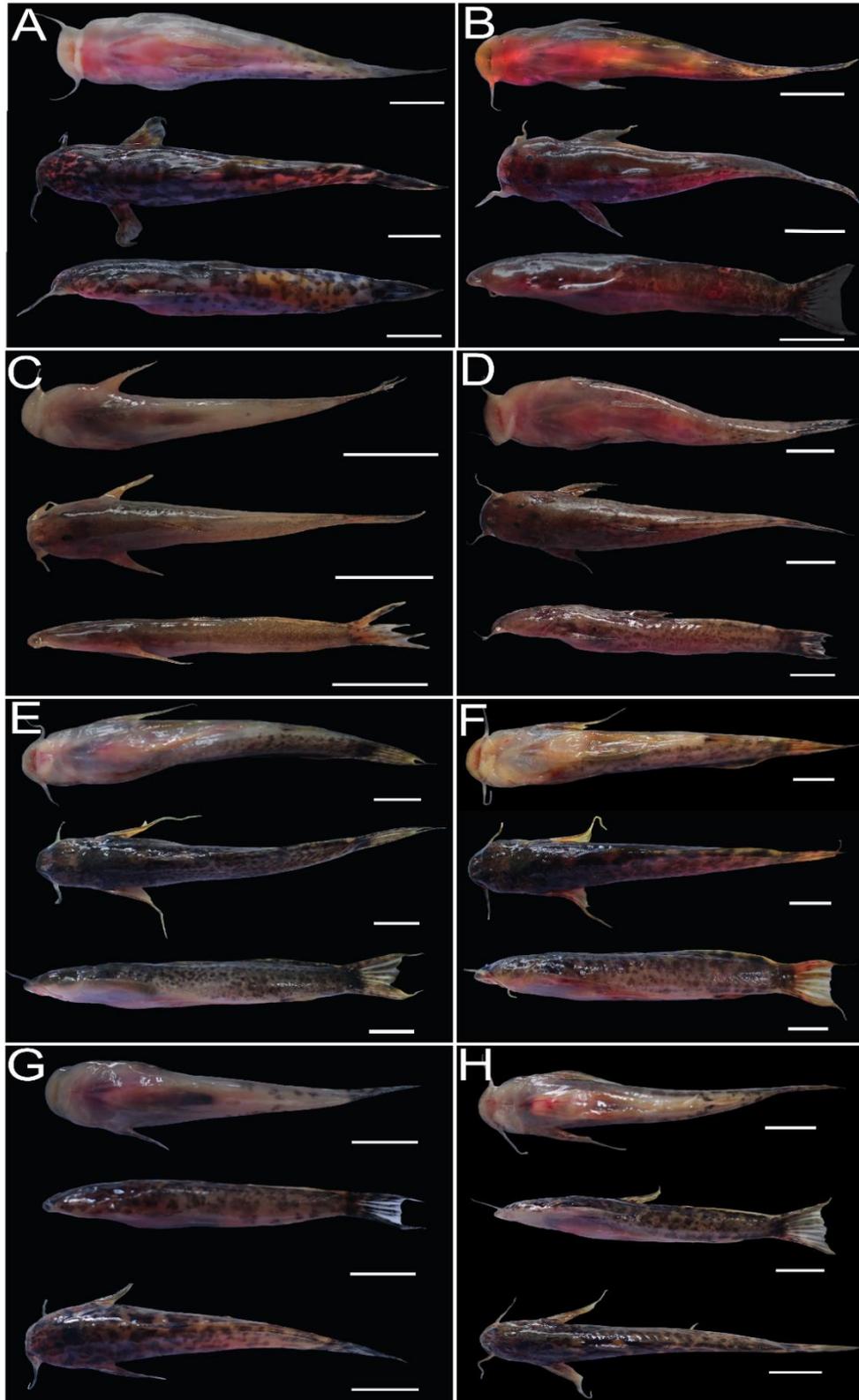


Figura 29. Vista ventral, dorsal y lateral de los especímenes del género *Astroblepus* colectados en los siguientes distritos de la Provincia de Chachapoyas: San Isidro de Maino (Grupo 1: **A**= BMr1, **B**= BMr2); Chachapoyas (Grupo 2: **C** = BBc2, **D**= BBc9), (Grupo 3: **E**= BAj3, **F**= BAj4), (Grupo 4: **G**= BAj13, **H**= BAj5). Escala =1 cm.



Figura 30. Vista ventral, dorsal y lateral de los especímenes del género *Astroblepus* (Grupo 5) colectados en los distritos de Chachapoyas (**I**= BAj10) y Magdalena (**J**= BCd2). Escala = 1 cm.

IV. DISCUSIÓN

4.1. Parámetros fisicoquímicos del agua

La crianza de peces altoandinos depende en gran medida de la calidad del agua y su disponibilidad (Mamani et al., 2022; Molina, 2022), debido a que proceden de ambientes con aguas cuyos parámetros fisicoquímicos son óptimos durante todo el año (Román, 2001; Ibarra, 2023). La calidad del agua es óptima cuando los parámetros fisicoquímicos como temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos cumplen con los requisitos de los parámetros para aguas destinadas para la crianza de peces continentales según las ECA (MINAM, 2017). En este sentido, las aguas de las vertientes de la provincia de Chachapoyas y Rodríguez de Mendoza son ideales para el uso en acuicultura rural. Esta calidad puede ser comprobada rápidamente con la presencia de bagres altoandinos en las vertientes, ya que también son considerados bioindicadores de la calidad del agua (Schaefer et al., 2011).

4.2. Parámetros morfométricos de los bagres altoandinos y parámetros fisicoquímicos del agua

La interacción de los parámetros morfométricos de peces y fisicoquímicos del agua para el PCA pueden resultar eficientes en la reducción de variables y agrupación de poblaciones (Scott et al., 2007; Jara, 2021). En el presente estudio, los parámetros del tipo fisicoquímico influenciaron en la formación de grupos; mientras que, los parámetros morfométricos no permitieron la formación de morfogrupos al demostrar solapamientos de las poblaciones para ejemplares del género *Astroblepus* y *Trichomycterus*. Esto confirma que la presencia de ecogrupos en estos peces altoandinos estarían influenciados principalmente por factores ambientales, tales como la temperatura, la salinidad, oxígeno disuelto y sólidos totales disueltos (Aguirre et al., 2014; Díaz et al., 2018). La temperatura es el parámetro fisicoquímico que influye en los valores de la concentración de oxígeno, salinidad y pH. Se ha reportado que los valores de la temperatura con los valores de oxígeno disuelto, pH y salinidad están inversamente relacionadas (Díaz et al., 2018; Molina, 2022). Estas variaciones afectan directamente la calidad final del agua (Román, 2001; Molina, 2022). Adicionalmente, la temperatura estimula el inicio de la reproducción, crecimiento, conversión alimenticia y sistema inmunológico de los peces altoandinos (Molina, 2022); siendo importante mantener los rangos de temperatura estables para la crianza de *Astroblepus* y *Trichomycterus*. Por ejemplo, en el caso del

Trichomycterus rivulatus, la estabilidad de las condiciones fisicoquímicas del agua (temperatura, oxígeno disuelto y pH) son primordiales para la supervivencia y crecimiento de las larvas (Mamani et al., 2022).

La ausencia de morfogrupos en el presente estudio confirmó la gran plasticidad fenotípica de los parámetros morfométricos de las poblaciones de bagres altoandinos. Esto ha sido confirmado previamente en peces continentales nativos (Donin et al., 2020; Jara, 2021; Donin et al., 2022) y poblaciones naturalizadas (Olano 2023). La alta variación morfológica intraespecífica e interespecífica consecuencia de la ontogenia y adaptaciones ecológicas en las poblaciones de peces genera una gama de fenotipos difíciles de diferenciar (Donin et al., 2020; Pereira et al., 2021). Es importante mencionar, que los ecogrupos formados en las poblaciones de *Astroblepus* y *Trichomycterus* no concuerdan con los linajes genéticos identificados con el marcador molecular COI. Esto sugiere la limitada fortaleza de los datos morfométricos para la distinción de taxa (Schaefer et al., 2011; Donin et al., 2020; Pereira et al., 2021).

En tal sentido, los análisis de datos tanto morfométricos y fisicoquímicos no son suficientes para delimitar especies, especialmente en peces continentales nativos. Siempre es necesario la inclusión de análisis integrados en donde cada metodología sea contrastada con análisis del tipo genético para confirmar la formación de haplotipos y delimitar óptimamente los taxa (Schaefer et al., 2011; Hernández et al., 2018; Costa, 2021); y así también, detectar falsos agrupamientos de poblaciones (Schaefer et al., 2011; Costa et al., 2023).

Los dos géneros de bagres altoandinos reportados en el presente estudio pertenecen a los géneros *Astroblepus* y *Trichomycterus*. Estos géneros pueden compartir habitat, pero pueden ser distinguidos fácilmente. Los miembros de *Astroblepus* se diferencian por su boca en posición ventral y succionadora con dos barbillas, ojos en posición dorsal, cuerpo desnudo y su coloración variada (Hernández et al., 2018; Ochoa et al., 2020). Los miembros de *Trichomycterus* se distinguen por poseer 6 barbillas, boca frontal subterminal, ojos en posición dorsal, odontoides en los opérculos, cuerpo largo y cilíndrico (Guillermo et al., 2020; Guillermo et al., 2020; Costa, 2021).

En el presente estudio, los ejemplares de *Trichomycterus* presentaron parámetros morfométricos de mayores dimensiones, habiendo inclusive ejemplares que llegaron a medir más de 20 cm y pesar más de 70 gramos. Esta talla y peso son similares a truchas

en estadio de crecimiento (FAO, 2014; AQUATECH 2022). Estos valores son ideales para peces en etapa juvenil, ya que estarían listos para entrar a la fase de engorde y llegar a un peso comercial (Rossi & Luchini, 2007; FONDEPES, 2014). En la actualidad, se han domesticado varias especies de bagres para su cultivo y comercio generando resultados inesperados (Silva & Phuong, 2011; Dunham & Elasmad, 2018). El éxito de la alta producción de bagres es debido a sus características de rusticidad, adaptabilidad y plasticidad alimentaria, los cuales son factores importantes en la acuicultura (Gisbert et al., 2021). Esto coloca a las especies de *Trichomycterus* y *Astroblepus* como taxa con potencial acuícola; sin embargo, es importante recomendar la evaluación de factores que influyen en la producción acuícola para generar índices de producción óptimos (Rossi & Luchini, 2007; Sánchez et al., 2008).

La morfometría es ideal para determinar la etapa de desarrollo y los requerimientos nutricionales del pez, proporcionando el alimento adecuado para su desarrollo hasta llegar a la etapa de acabado donde la talla y el peso son los adecuados para su consumo y/o comercialización (FAO, 2014; FONDEPES, 2014, AQUATECH 2022) en la crianza de peces nativos (Badillo et al., 2018).

4.3. Análisis filogenéticos de los bagres altoandinos e identificación de linajes

Los análisis filogenéticos revelaron que las dos poblaciones del género *Trichomycterus* de las vertientes de Jabonera y Lejía forman un solo linaje. Actualmente, se han confirmado genéticamente 6 subgéneros de *Trichomycterus* (Costa, 2021). Nuestros análisis filogenéticos resolvieron que el linaje de Amazonas no corresponde a ninguno de los subgéneros previamente reportados en este género. Esto confirma la condición parafilética de *Trichomycterus*. Esta parafilia fue previamente reportada por Schaefer et al., (2011); Ochoa et al., (2017); Fernandez et al., (2021). Sin embargo, la transferencia de algunas especies de “*Trichomycterus*” a los géneros *Cambeva* y *Scleronema* resolvió la monofilia del género *Trichomycterus* (Katz et al., 2018). Las divergencias genéticas entre los miembros del linaje amazonense y los otros miembros de *Trichomycterus* son superiores a los reportados entre especies emparentadas a cada uno de los subgéneros de *Trichomycterus* (7.4% - 13.5%). Esto sugiere que el linaje amazonense podría ser considerado como un candidato a un nuevo género para la ciencia (Fernandez et al., 2021). El presente estudio no encontró diferencias morfológicas diagnósticas para distinguir a los miembros de *Cambeva*, *Scleronema* y *Trichomycterus*. Por ello, estudios

adicionales de osteología y la inclusión de marcadores moleculares adicionales son necesarias para confirmar esta hipótesis (Costa, 2021).

Los análisis filogenéticos para el género *Astroblepus* revelaron cinco linajes para los individuos provenientes de Chachapoyas. Existe la presencia de linajes hermanos (Grupos 1 y 2, Grupos 3 y 4) y un linaje lejanamente emparentado con los otros *Astroblepus*. La clarificación de la sistemática de este género está lejos de estar resuelta por la gran cantidad de linajes no identificados (Schaefer et al., 2011; Hernández et al., 2018; Ochoa et al., 2020). Esto se confirma por la ausencia de características morfológicas específicas que permitan delimitar las especies de este género (Hernández et al., 2018). Los altos niveles de variación morfológica interespecífica e intraespecífica que poseen los especímenes de *Astroblepus*, tales como su coloración, tamaño y adaptaciones ecológicas, provocan que su clasificación morfológica sea difícil y poca confiable (Schaefer et al., 2011).

A pesar de ello, se sugiere el uso de parámetros morfo-osteológicos mediante técnicas de diafanización para una mejor caracterización morfológica (Taylor & Van Dyke, 1985), ya que permite observar la anatomía ósea de los vertebrados sin disecciones y alteración del ordenamiento de los huesos (Mejia, 2016; Rivera et al., 2016; Rejala et al., 2019). Esta técnica consiste en transparentar (Diafanizar) los tejidos blandos y teñir los huesos y cartílagos para observación de mayor detalle anatómico (Romero & González, 2019). Esto se logra mediante la aplicación de químicos en las diferentes etapas del proceso de diafanización (Romero & González, 2019; Moreno Guerra et al., 2020). Esta técnica ha sido de importancia para la delimitación de especies de peces continentales complementada con análisis genéticos (Reis et al., 2020; Costa, 2021; Costa et al., 2022a; Donin et al., 2022; Costa et al., 2023).

La identificación mediante el uso del marcador mitocondrial citocromo c oxidasa I (COI) ha sido una herramienta muy útil para identificar un amplio número de peces altoandinos incluyendo especies crípticas (Pereira et al., 2013). Esto se demostró en todos los linajes identificados de *Astroblepus* y *Trichomycterus* del presente estudio. El gen COI tiene la ventaja de ser amplificado con primers que se adaptan a un amplio número de especies (Cramer, 2007). Además, la tasa de sustitución del tercer nucleótido es tres veces mayor que al 12S ADNr y 16S ADNr, lo que permite distinguir a especies estrechamente relacionadas incluyendo las poblaciones de una misma especie (Hebert et al., 2003). Las

señales filogenéticas del gen COI son mayores que otros marcadores permitiendo que las especies se agrupen con las que están más emparentadas (Hebert et al., 2003; Cramer, 2007). Por ello, el desarrollo de estudios que empleen herramientas moleculares que ayuden a definir a cada uno de los linajes de bagres altoandinos (como *Trichomycterus* y *Astroblepus*) será crucial para entender la gran diversidad de peces presentes en el Perú.

La filogenia es ideal para conocer la diversidad de peces nativos presentes en la región Amazonas, y es importante para la creación de programas protección y preservación de la biodiversidad (García et al., 2018), de igual modo en la generación de estudios donde su objetivo sea mejorar la acuicultura de la región con especies nativas como lo son las especies de *Trichomycterus* y *Astroblepus* del presente estudio (Badillo et al., 2018; Olano, 2022).

V. CONCLUSIONES

- De esta manera, el presente estudio confirma que las aguas de los distintos afluentes de la provincia de Chachapoyas y Rodríguez de Mendoza son de buena calidad y aptas para la acuicultura de bagres altoandinos.

- Los bagres altoandinos de la región Amazonas tradicionalmente eran identificados como miembros del género *Trichomycterus*. Sin embargo, mediante el uso de herramientas moleculares como el DNA barcoding se pudo determinar la presencia de dos géneros de bagres altoandinos denominados *Trichomycterus* y *Astroblepus*. Cada uno de estos géneros presenta poblaciones y linajes distribuidos en los diferentes recursos hidrográficos de la región de Amazonas. El uso de la técnica de DNA barcoding (a través del uso del marcador molecular COI) permitió revelar la gran diversidad de estos bagres altoandinos, y la potencial presencia de candidatos a especies y géneros nuevos. Por lo tanto, muestreos adicionales, inclusión de otros marcadores moleculares y técnicas de diafanización serán cruciales para la descripción formal de estas nuevas adiciones para la ciencia. Esto permitirá conocer con mayor detalle aquellas especies que presentan potencial acuícola y podrían ser aprovechadas en programas de acuicultura.

- Los linajes de bagres altoandinos del género *Trichomycterus* y *Astroblepus* encontrados en la región de Amazonas confirman la diversidad única de peces andinos debido a las diferentes condiciones ambientales y aislamiento que experimentan en las vertientes andinas. Estas condiciones tienen un gran potencial para el aprovechamiento y desarrollo de una acuicultura rural; sin embargo, es necesario el desarrollo de otros estudios que permitan establecer las condiciones óptimas para la crianza masiva de estos bagres altoandinos.

VI. RECOMENDACIONES

El presente estudio abarcó muestreos únicamente en las cuencas altoandinas de la región Amazonas. Con la finalidad de tener un inventario de diversidad de bagres altoandinos, se recomienda aplicar la metodología utilizada a más lugares andinos del Perú para determinar cuáles son los linajes, especies presentes y hábitats ocupados.

Se plantea el uso de marcadores moleculares adicionales como herramienta para la identificación, ya que esto permitiría la segregación de especies. Esto debido a la limitación de la morfología tradicional y también a la falta de taxónomos especializados.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, V. (2022). *Dna barcoding de poáceas asociadas a pajonales para la determinación de la firma espectral en el acp Tilacancha, Amazonas* [Universidad Nacional Toribio Rodríguez De Mendoza De Amazonas]. <https://orcid.org/0000-0002-5979-6993>
- Aguirre, A., Pérez, H. E & Díaz, S. (2014). Heterogeneidad ambiental y su relación con la diversidad y abundancia de la comunidad de peces en un sistema costero del Golfo de México. *Biología Tropical*, 62(March), 145–163.
- Alcántara, F., Rodríguez, L., Marie, A., Martín, S & del Castillo, D. (2004). Avances en el desarrollo de la acuicultura en la región amazonas. In *Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana*.
- Andreoli, J. M., Fernandez, L & Contreras, G. (2021). Peces de la Puna: Primer registro de *Trichomycterus rivulatus* Valenciennes 1846 para la Argentina y nuevas localidades para el género (Siluriformes, Trichomycteridae). *Biología Acuática*, 37(37), 026. <https://doi.org/10.24215/16684869e026>
- AQUATECH. (2022). AQUATECH. <https://aquatech.pe/truchas>
- Arabe, A. V., Passuni, E. O., Castañeda, L & Quinteros, Z. (2013). Hábitos alimentarios del bagre “ Life ” *Trichomycterus punctulatus* (Valenciennes , 1846) (Actinopterygii , Siluriformes) en el río Pisco , Perú. *Ecología Aplicada*, 12(2).
- Ardila Rodríguez, C. A. (2016). *Astroblepus floridablancaensis sp. nov. UNA NUEVA ESPECIE DE JABONERO (Siluriformes: Astroblepidae) DEL MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER - COLOMBIA* (Vol. 8, Issue November 2016). <http://indication.bsnmedical.com/fileadmin/professionals/PDFs/Acute Wound Care EBM/Bali D 2010 Clinical experiences with a Skin Stapler EWMA.pdf>
- Badillo, D., Zaragoza, F. D. J., Vega, F., López, J. M., Herrera, S., Cueto, L & Guerrero, S. R. (2018). Requerimiento de proteína y lípidos para el crecimiento de juveniles del pez nativo *Dormitator latifrons* (Richardson, 1844). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(14), 345–351. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1554>
- Bustamante, D. E., Calderon, M. S., Leiva, S., Mendoza, J. E., Arce, M & Oliva, M. (2021). Three new species of Trichoderma in the Harzianum and Longibrachiatum lineages from Peruvian cacao crop soils based on an integrative approach. *Mycologia*, 00(00), 1–17. <https://doi.org/10.1080/00275514.2021.1917243>

- Calderón, M. S., Bustamante, D. E., Gabrielson, P. W., Martone, P. T., Hind, K. R., Schipper, S. R. & Mansilla, A. (2021). Type specimen sequencing, multilocus analyses, and species delimitation methods recognize the cosmopolitan *Corallina berteroi* and establish the northern Japanese *C. yendoi* sp. nov. (Corallinaceae, Rhodophyta). *Journal of Phycology*, 57(5), 1659–1672. <https://doi.org/10.1111/jpy.13202>
- Cardoso, Y. P., Jardim de Queiroz, L., Bahechar, I. A., Posadas, P. E & Montoya-Burgos, J. I. (2021). Multilocus phylogeny and historical biogeography of *Hypostomus* shed light on the processes of fish diversification in La Plata Basin. *Scientific Reports*, 11(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83464-x>
- Carvalho, D. C., Oliveira, D., Pompeu, P., Leal, C. G., Oliveira, C & Hanner, R. (2011). Deep barcode divergence in Brazilian freshwater fishes: The case of the São Francisco River basin. *Mitochondrial DNA*, 22(SUPPL. 1), 80–86. <https://doi.org/10.3109/19401736.2011.588214>
- Chocano, L. (2005). Las zonas altoandinas peruanas y su ictiofauna endémica. *Revista Digital Universitaria*, 6(8). <https://doi.org/http://www.revista.unam.mx/vol.6/num8/art82/int82.htm>
- Costa, W. (2021). Comparative Osteology, Phylogeny and Classification of the Eastern South American Catfish Genus *Trichomycterus* (Siluriformes: Trichomycteridae). *Taxonomy*, 1(2), 160–191. <https://doi.org/10.3390/taxonomy1020013>
- Costa, W. J. E. ., Feltrin, C. R. M & Katz, A. M. (2022a). Two new remarkable and endangered catfish species of the genus *Cambeva* (Siluriformes, Trichomycteridae) from southern Brazil. *European Journal of Taxonomy*, 794, 140–155. <https://doi.org/10.5852/ejt.2022.794.1661>
- Costa, W. J. E. M., Azevedo-Santos, V. M., Mattos, J. L. O & Katz, A. M. (2023). Molecular Phylogeny, Taxonomy and Distribution Patterns of Trichomycterine Catfishes in the Middle Rio Grande Drainage, South-Eastern Brazil (Siluriformes: Trichomycteridae). *Fishes*, 8(4), 1–46. <https://doi.org/10.3390/fishes8040206>
- Costa, W. J. E. M., Mattos, L. O & Katz, A. M. (2021). Two new cat fish species from central Brazil comprising a new clade supported by molecular phylogeny and comparative osteology (Siluriformes : Trichomycteridae). *Zoologischer Anzeiger*, 293, 124–137. <https://doi.org/10.1016/j.jcz.2021.05.008>

- Costa, W. J. E. M., Mattos, L. O & Sampaio, W. (2022b). Phylogenetic relationships of a new catfish of the genus *Trichomycterus* (Siluriformes, Trichomycteridae) from the Brazilian Cerrado, and the role of Cenozoic events in the diversification of mountain catfishes. *Zoosystematics and Evolution*, 98(1), 151–164. <https://doi.org/10.3897/ZSE.98.83109>
- Costa, W., Mattos, J., Vilardo, P., Amorim, P & Katz, A. (2022c). Perils of Underestimating Species Diversity: Revisiting Systematics of Psammocambeva Catfishes (Siluriformes: Trichomycteridae) from the Rio Paraíba do Sul Basin, South-Eastern Brazil. *Taxonomy*, 2(4), 491–523. <https://doi.org/10.3390/taxonomy2040032>
- Cramer, C. A., Liedke, A. M. R., Bonatto, S. L & Reis, R. E. (2007). The phylogenetic relationships of the Hypoptopomatinae and Neoplecostominae (Siluriformes: Loricariidae) as inferred from mitochondrial cytochrome c oxidase I sequences. *Fish Biology*, 9(July 2014), 51–59.
- Díaz, S., Aguirre, A., Mendoza-, E & Lara, A. L. (2018). Factores ambientales que influyen en la ictiofauna de la laguna La Mancha , sitio Ramsar , Golfo de México. *Biología Tropical*, 66(March), 246–265.
- Donin, L., Ferrer, J & Carvalho, T. P. (2022). Uncertainties and risks in delimiting species of *Cambeva* (Siluriformes: Trichomycteridae) with single-locus methods and geographically restricted data. *Neotropical Ichthyology*, 20(3), 1–30. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2022-0019>
- Donin, L. M., Ferrer, J & Carvalho, T. P. (2020). Taxonomical study of *Trichomycterus* (Siluriformes: Trichomycteridae) from the Ribeira de Iguape River basin reveals a new species recorded in the early 20th century. *Fish Biology*, 96(4), 886–904. <https://doi.org/10.1111/jfb.14278>
- Dunham, R. A & Elasmad, A. (2018). Catfish Biology and Farming. *The Annual Review Of Animal Biosciences*, 6, 305–325. <https://doi.org/doi.org/10.1146/annurev-animal-030117-014646>
- FAO. (2014). Manual práctico para el cultivo de la trucha arcoíris. *FAO*. <https://doi.org/https://www.fao.org/3/bc354s/bc354s.pdf>
- Fernandez, L., Arroyave, J & Schaefer, S. A. (2021). Emerging patterns in phylogenetic studies of trichomycterid catfishes (Teleostei, Siluriformes) and the contribution of Andean diversity. *Zoologica Scripta*, 50(3), 318–336. <https://doi.org/10.1111/zsc.12475>

- FONDEPES. (2014). *Manual de Crianza de Trucha en Ambientes Convencionales* (pp. 6–70).
https://www.fondepes.gob.pe/src/manuales/MANUAL_TRUCHA.pdf
- García, C., Castro-Ruiz, D., Renno, J. F., Chota-Macuyama, W., Carvajal-Vallejos, F. M., Sanchez, H., Angulo, C., Nolorbe, C., Alvarado, J., Estivals, G., Núñez-Rodríguez, J & Duponchelle, F. (2015). Using barcoding of larvae for investigating the breeding seasons of pimelodid catfishes from the Marañón, Napo and Ucayali rivers in the Peruvian Amazon. *Journal of Applied Ichthyology*, 31(2015), 40–51.
<https://doi.org/10.1111/jai.12987>
- García, C., Estivals, G., Mejía de Loayza, E., Flores Silva, M. A., Angulo Chávez, C., Sánchez Riveiro, H., Nolorbe Payahua, C., Chuquipiondo Guardia, C., Castro Ruiz, D., García Vásquez, A., Ortega Torres, H., Pinedo Tenazoa, L., Oliveira, C. de, Römer, U., Mariac, C., Duponchelle, F & Renno, J.-F. (2021). Peces ornamentales de la Amazonía peruana. In *Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana*.
<https://repositorio.iiap.gob.pe/handle/20.500.12921/596>
- García, C. R., Flores, M. A., Pinedo, L., Loyola, R & Castro, D. (2018). Aplicación Del Barcoding Al Manejo Y Conservación De Peces Y Sus Subproductos En La Amazonía Peruana. *Folia Amazónica*, 26(2), 195–204. <https://doi.org/10.24841/fa.v26i2.329>
- Gisbert, E., Luz, R. K., Fernández, I., Pradhan, P. K., Salhi, M., Mozanzadeh, M. T., Kumar, A., Kotzamanis, Y., Castro-Ruiz, D., Bessonart, M & Darias, M. J. (2021). Development, nutrition, and rearing practices of relevant catfish species (Siluriformes) at early stages. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 73–105. <https://doi.org/10.1111/raq.12586>
- Guillermo, P., Montoya, R & Noboa, A. T. (2020). *Descripción morfométrica Trichomycteridae (Siluriformes) de las cuencas hidrográficas de la cordillera Chongón-Colonche, provincia de Santa Elena, Ecuador Morphometric description of the Trichomycteridae family of the hydrographic basins of the Chongo*. 14(1), 119–126.
- Hartig, S. M. (2013). Basic image analysis and manipulation in imageJ. *Current Protocols in Molecular Biology*, SUPPL.102, 1–12. <https://doi.org/10.1002/0471142727.mb1415s102>
- Hebert, P. D. N., Cywinska, A., Ball, S. L & DeWaard, J. R. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 270(1512), 313–321. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2218>
- Hernández, 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.
<https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v40n108a06>

Ibarra, E. (2023). *Ecología trófica y reproductiva del bagresito endémico Trichomycterus nigromaculatus (Siluriformes: Trichomycteridae) en el río Gaira, Colombia*. 18(1), 86–99.

Jara, J. (2021). Revisión morfológica de *Astroblepus whymeri* (Boulenger 1890), *Astroblepus eigenmanni* (Regan 1904), *Astroblepus theresiae* (Steindachner 1907) y *Astroblepus mindoensis* (Regan 1916), registradas en la cuenca alta del río Esmeraldas. *Frontiers in Neuroscience*, 14(1), 1–13.

Katz, A. M., Barbosa, M. A., Mattos, J. L. de O & da Costa, W. J. E. M. (2018). Multigene analysis of the catfish genus *Trichomycterus* and description of a new South American trichomycterine genus (Siluriformes, Trichomycteridae). *Zoosystematics and Evolution*, 94(2), 557–566. <https://doi.org/10.3897/ZSE.94.29872>

Klein, J. T., Antonelli, A., Gardens, R. B & Silvestro, D. (2019). *raxmlGUI 2 . 0 beta : a graphical interface and toolkit for phylogenetic analyses using RAxML*. October. <https://doi.org/10.1101/800912>

Lanfear, R., Frandsen, P. B., Wright, A. M., Senfeld, T & Calcott, B. (2016). *PartitionFinder 2 : New Methods for Selecting Partitioned Models of Evolution for Molecular and Morphological Phylogenetic Analyses*. 34(3), 772–773.
<https://doi.org/10.1093/molbev/msw260>

Ling, C., Luo, A & Gao, J. (2016). *MrBayes 3 . 2 . 6 on Tianhe-1A : a high performance and distributed implementation of phylogenetic analysis*. 1181–1186.
<https://doi.org/10.1109/ICPADS.2016.154>

Loayza, W. (2017). *Crecimiento y sobrevivencia en la primera etapa de alevinaje de Trichomycterus rivulatus (suche) alimentados con nauplio de artemia salina y daphnia pulex en condiciones controladas*. <https://doi.org/http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6939>

Maco, J., Rodríguez, L & Sánchez, H. (2010). Hidrobiología, informe temático. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas. In *Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) y el Gobierno Regional de Amazonas*.

- Mamani, J., Yanarico, D., Quispe, C., Suca, Q & Argota, G. (2022). Primera alimentación prelarvaria de *Trichomycterus rivulatus valenciennes*, 1846 (suche) en condiciones controladas. *Biotempo*, 19(1), 81–87. <https://doi.org/10.31381/biotempo.v19i1.4813>
- Mejia, C. (2016). Diafanización: arte hasta en los huesos. *Revista Experimental*, 0(5), 4–9. <https://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/experimenta/article/view/25832>
- Mesa, L., Lasso, C. A., Ochoa, L. E & DoNascimento, C. (2018). *Trichomycterus rosablanca* (Siluriformes, Trichomycteridae) a new species of hypogean catfish from the Colombian Andes. *Biota Colombiana*, 19(s1), 93–114. <https://doi.org/10.21068/c2018.v19s1a09>
- MINAM. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias* (pp. 10–19).
- Miranda-chumacero, G. (2006). Distribución altitudinal , abundancia relativa y densidad de peces en el Río Huarinilla y sus tributarios (Cotapata , Bolivia) Altitudinal distribution , relative abundance and density of fishes in Rio. *Ecología En Bolivia*, 41(1), 79–93.
- Molina, J. (2022). *Adaptación de la preñadilla (Astroblepus sp) a los factores bióticos y abióticos en cautiverio en el centro experimental Salache*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.
- Moreno Guerra, Y. A., Mira López, T. M., Rodríguez Pulido, J. A & Medina Robles, V. M. (2020). Método alternativo de tinción ósea en peces juveniles empleando extracto de Bixa orellana. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 15(2), 35–44. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3971>
- Nakatani, M., Miya, M., Mabuchi, K., Saitoh, K & Nishida, M. (2011). Evolutionary history of Otophysi (Teleostei), a major clade of the modern freshwater fishes: Pangaeian origin and Mesozoic radiation. *BMC Evolutionary Biology*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2148-11-177>
- Ochoa, L. E., Melo, B. F., García-Melo, J. E., Maldonado-Ocampo, J. A., Souza, C. S., Albornoz-Garzón, J. G., Conde-Saldaña, C. C., Villa-Navarro, F., Ortega-Lara, A & Oliveira, C. (2020). Species delimitation reveals an underestimated diversity of Andean catfishes of the family Astroblepidae (Teleostei: Siluriformes). *Neotropical Ichthyology*, 18(4), 1–19. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2020-0048>
- Ochoa, L. E., Roxo, F. F., Donascimento, C., Sabaj, M. H., Alfaro, M & Oliveira, C. (2017).

- Multilocus analysis of the catfish family Trichomycteridae (Teleostei: Ostariophysi: Siluriformes) supporting a monophyletic Trichomycterinae. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2017.07.007>
- Ortega, H., Hidalgo, M., Trevejo, G., Correa, E., Cortijo, A. M., Meza, V & Espino, J. (2012). *Lista anotada de los peces de aguas continentales del Perú: Estado actual del conocimiento, distribución, usos y aspectos de conservación*. <https://doi.org/http://museohn.unmsm.edu.pe>
- Papa, Y., Le Bail, P. Y & Covain, R. (2021). Genetic landscape clustering of a large DNA barcoding data set reveals shared patterns of genetic divergence among freshwater fishes of the Maroni Basin. *Molecular Ecology Resources*, 21(6), 2109–2124. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.13402>
- Pereira, L., Chanchay, J., Huatatoca, P., Morales, J & Oliveira, C. (2021). The use of an integrative approach to improve accuracy of species identification and detection of new species in studies of stream fish diversity. *Genetica*, 149(2), 103–116. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10709-021-00118-6>
- Pereira, L., Hanner, R., Foresti, F & Oliveira, C. (2013). Can DNA barcoding accurately discriminate megadiverse Neotropical freshwater fish fauna? *BMC Genetics*, 14, 1–14. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-14-20>
- Pereira, L., Maia, G., Hanner, R., Foresti, F & Olivera, C. (2011). DNA barcodes discriminate freshwater fishes from the Paraíba do Sul River Basin, Sao Paulo, Brazil. *Mitochondrial DNA*, May 2014. <https://doi.org/10.3109/19401736.2010.532213>
- Perez, J. (2021). *Diversidad y distribución de las Quinas (Cinchona , Rubiaceae) usando DNA Barcoding para su conservación en Amazonas* [Universidad Nacional Toribio Rodríguez De Mendoza De Amazonas]. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2329>
- Reis, V., dos Santos, S., Britto, M., Volpi, A & Pinna, M. (2020). Iterative taxonomy reveals a new species of *Trichomycterus* Valenciennes 1832 (Siluriformes, Trichomycteridae) widespread in Rio Doce basin: a pseudocryptic of *T. immaculatus*. *Fish Biology*, 1832. <https://doi.org/10.1111/jfb.14490>
- Rejala, R., Álvarez Ramírez, T., Alvarenga, A., Coronel, A., Alborn, Á., Sirai, P., Serafini, Y., Ortiz, K & Romero, A. (2019). La diafanización como alternativa metodológica para

- el estudio anatómico de un pez. *Revista Científica Estudios e Investigaciones*, 8, 207–208. <https://doi.org/10.26885/rcei.foro.2019.207>
- Ren, F., Chen, D & Ma, X. (2019). The complete mitochondrial genome of *Sturisomatichthys panamense* (Siluriformes: Loricariidae) analysed by next-generation sequencing and phylogeny of the catfish subfamily Loricariinae (Siluriformes: Loricariidae). *Biologia*, 75(9), 1365–1372. <https://doi.org/10.2478/s11756-019-00389-7>
- Rivera, C., Moreno, R., Gabriela, S., Fernández Araiza, M., León, M. C., De Jesús, H & Cortes, C. (2016). Evaluación del efecto de tres hidróxidos en la calidad de diafanización de peces de cola de espada (*Xiphophorus helleri*). *Revista AquaTIC*, 46, 1–9. <http://www.revistaaquatic.com>
- Rivera, P. (2021). *Sistema de cultivo biofloc de Trichomycterus punctulatus “Life” en tres densidades diferentes*. [Universidad Nacional de Trujillo]. <https://doi.org/https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/18774>
- Román, 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), 657–666.
- Romero, O. J & González, K. A. (2019). Optimización de la técnica diafanización y tinción de Piovesana (2014), aplicada para el pez *Gymnocorymbus ternetzi*. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 7(13), 41–46. <https://doi.org/10.29057/icbi.v7i13.3424>
- Rossi, F & Luchini, L. (2007). Tecnologías para cultivo del “randia” (*Rhamdia quelen*) para fomento de su producción comercial, en clima templado a templado-calido. *Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Dirección de Acuicultura Argentina*, 20.
- Roxo, F., Albert, J. S., Silva, G. S. C & Oliveira, C. (2014). *Molecular Phylogeny and Biogeographic History of the Armored Neotropical Catfish Subfamilies Hypoptopomatinae, Neoplecostominae and Otothyriinae (Siluriformes: Loricariidae)*. 9(8), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105564>
- Sánchez, S., Santinón, J. J., Hernández, D., Roux, J & Domitrovic, H. A. (2008). Cría de bagre sudamericano (*Rhamdia quelen*) en estanques luego de diferentes períodos de retención del crecimiento a tres densidades de siembra. *REDVET.Revista Electrónica de Veterinaria*, IX(4), 1–9.

- Schaefer, S. A., Chakrabarty, P., Geneva, A. J & 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. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2010.00673.x>
- Scott, S., Pardo, R & Vila, I. (2007). *Trophic niche overlap between two Chilean endemic species of Trichomycterus (Teleostei : Siluriformes)*.
- Silva, S. S. De, & Phuong, N. T. (2011). Striped catfish farming in the Mekong Delta , Vietnam: a tumultuous path to a global success. *Aquaculture*, 3, 45–73. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2011.01046.x>
- Slowikowski K. (2015). Perform Principal Components Analysis (PCA) in R. <https://gist.github.com/slowkow/c1e4cdc80e7b0e43bfca/revisions>
- Tamura, K., Stecher, G & Kumar, S. (2021). *MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11*. 38(7), 3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>
- Taylor WR, Van Dyke GG. (1985). Procedimientos revisados para teñir y aclarar peces pequeños y otros vertebrados para el estudio de huesos y cartílagos. *Cibio*. 9(2):107–09.
- Technelysium DNA sequencing software. (n.d.). Cromas. Retrieved April 4, 2022, from <http://technelysium.com.au/wp/chromas>
- Vargas, L & Mesa, E. (2021). Introducción Al Análisis De Datos Con RStudio. In *Cenipalma*. www.cenipalma.org
- Velez, L. (2004). Distribution and habitat suitability index model for the Andean catfish *Astroblepus ubidiai* (Pisces: Siluriformes) in Ecuador. In *Journal of Aquaculture in the Tropics* (Vol. 54).
- Vélez, L. A. (2003). Conservation aquaculture of the Andean catfish *Astroblepus ubidiai* : effect of light intensity in growth rate and number of reproductive allocations. *Journal of Aquaculture in the Tropics*, 18(4), 337–352.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org>

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Cuadro con los datos de las medidas morfométricas del género *Trichomycterus* del estudio.

Muestra	LT (cm)	LE (cm)	AnCa (cm)	AlCu (cm)	Peso (gr)	LPrD (cm)	LBaAD (cm)	LPrA (cm)	LPrP (cm)	LBaAA (cm)	AlPeCa (cm)	AlCa (cm)	LCa (cm)
B.Qc 1	15.400	13.300	2.100	2.000	23.000	8.641	1.347	10.432	8.241	1.000	1.625	1.198	2.407
B.Qc 2	12.000	10.400	1.600	1.500	11.000	6.528	1.245	7.928	6.076	0.626	1.190	1.001	1.183
B.Qc 3	13.600	12.000	1.900	1.700	16.000	7.848	1.353	9.324	7.256	0.600	1.421	1.058	1.968
B.Qc 4	14.000	12.300	1.900	1.600	18.100	7.698	1.390	8.969	7.194	0.762	1.487	1.223	2.231
B.Qc 5	12.300	10.900	1.900	1.700	14.500	7.078	1.280	8.318	6.739	0.685	1.342	1.201	2.049
B.Qc 6	13.800	11.800	2.000	2.100	20.600	7.776	1.211	9.266	7.365	0.501	1.479	1.389	2.078
B.Qc 7	14.500	12.400	2.050	2.100	20.800	7.994	1.401	9.188	7.229	0.356	1.705	1.356	2.445
B.Qc 8	14.200	12.400	2.000	1.700	19.500	7.835	1.870	9.581	7.544	0.477	1.617	1.167	2.204
B.Qc 9	14.200	12.300	2.100	1.800	20.500	7.966	1.428	9.325	7.295	0.764	1.644	1.217	2.158
B.Qc 10	13.400	10.500	1.900	1.800	16.300	7.945	1.324	9.215	6.989	0.610	1.356	1.107	2.068
B.Qc 11	12.200	11.100	1.900	1.650	13.800	7.031	1.235	8.446	6.598	0.560	1.380	1.258	1.95
B. Jn 1	20.500	17.700	2.900	2.900	70.200	11.210	1.844	13.288	10.633	1.183	2.347	1.906	3.246
B. Jn 2	14.700	12.700	2.200	2.000	28.700	8.778	1.536	9.424	7.661	1.471	1.888	1.356	2.605
B. Jn 3	15.400	13.400	2.200	2.200	30.200	8.977	1.523	10.643	8.334	1.013	1.798	1.444	2.262
B. Jn 4	17.100	15.300	2.600	2.700	47.900	10.464	1.703	11.804	9.309	1.503	2.123	1.617	2.796
B. Jn 5	16.000	13.900	2.500	2.100	28.500	9.229	1.861	10.556	8.337	1.018	1.782	1.452	2.758
B. Jn 6	19.200	17.000	2.700	2.800	58.000	11.235	2.075	12.771	10.252	1.291	2.188	1.755	3.395
B. Jn 7	14.300	12.300	2.100	2.200	24.700	8.305	1.223	9.268	7.422	1.042	1.757	1.360	2.587
B. Jn 8	16.100	14.000	2.200	2.200	27.900	8.838	1.619	10.373	8.484	1.141	1.724	1.275	2.564
B. Jn 9	14.200	12.300	2.200	2.000	23.500	8.542	1.406	9.602	7.746	0.977	1.703	1.354	2.314
B. Jn 10	13.000	11.300	1.950	1.650	15.600	7.504	1.176	8.275	6.480	0.877	1.449	1.033	2.039
B. Jn 11	15.100	13.000	2.100	1.850	22.400	8.662	1.380	9.662	7.779	1.063	1.564	1.264	2.321

Anexo 2. Cuadro con los datos de las medidas morfométricas del género *Astroblepus* del estudio.

Muestra	LT (cm)	LE (cm)	AnCa (cm)	AlCu (cm)	Peso (gr)	LPrD (cm)	LBaAD (cm)	LPrA (cm)	LPrP (cm)	LBaAA (cm)	AlPeCa (cm)	AlCa (cm)	LCa (cm)
B.At1	10.000	7.500	1.800	1.200	6.091	2.520	0.878	5.817	2.830	0.714	0.847	0.812	1.548
B.At2	9.000	7.500	1.600	1.300	7.070	2.739	0.879	5.820	3.333	0.604	0.907	0.929	1.554
B.At3	9.000	7.200	1.600	1.000	6.083	2.496	0.660	5.816	2.752	0.414	0.752	0.743	1.369
B.At4	9.500	7.500	1.800	1.100	6.464	2.534	1.240	5.635	3.005	0.498	0.753	0.795	1.505
B.At5	7.000	5.600	1.400	0.900	3.073	2.443	0.604	5.096	2.447	0.462	0.628	0.649	1.107
B.At6	9.400	7.500	1.800	1.000	7.801	2.686	0.468	5.791	2.695	0.565	0.757	0.833	1.568
B.At7	7.500	6.050	1.500	1.000	3.859	2.124	0.458	4.779	2.332	0.394	0.716	0.665	1.058
B.At8	9.000	7.000	1.700	1.400	7.168	2.299	0.782	5.994	2.917	0.383	0.822	0.838	1.175
B.At9	5.800	4.550	1.100	0.900	1.940	1.614	0.473	3.791	1.763	0.216	0.507	0.655	1.165
B.At10	5.600	4.600	1.200	0.900	2.082	1.594	0.480	3.634	1.793	0.310	0.446	0.899	0.946
B.At11	8.500	6.550	1.700	1.200	5.606	2.777	0.848	5.184	2.276	0.405	0.707	0.736	1.354
B.At12	8.100	6.450	1.500	1.100	5.045	2.378	0.883	5.258	2.155	0.339	0.640	0.803	1.366
B.At13	5.500	4.350	1.100	0.800	1.731	1.682	0.538	3.499	1.606	0.297	0.472	0.692	1.095
B.At14	6.600	5.200	1.300	1.000	2.846	1.805	0.777	4.222	2.207	0.178	0.585	0.683	1.124
B.At15	6.500	5.000	1.250	1.050	2.525	1.669	0.507	4.156	1.577	0.495	0.565	0.950	1.209
B.At16	5.500	4.500	1.100	0.800	1.697	1.518	0.636	3.451	1.433	0.270	0.460	0.641	0.98
B. Mr 1	7.200	5.850	1.400	1.200	4.102	2.157	0.567	4.637	2.119	0.443	0.639	0.992	1.129
B. Mr 2	6.000	4.900	1.250	0.800	2.242	1.849	0.584	3.641	1.904	0.319	0.596	0.745	0.919
B. Mr 3	7.000	5.500	1.400	1.400	4.349	2.251	0.460	4.603	2.192	0.435	0.594	0.991	1.153
B. Mr 4	5.500	4.500	1.150	0.900	1.912	1.705	0.548	3.567	1.466	0.238	0.474	0.727	0.915
B. Mr 5	5.900	4.900	1.200	0.900	2.201	2.166	0.543	3.620	1.913	0.283	0.471	0.760	1.111
B. Mr 6	6.000	4.850	1.250	1.100	2.373	1.875	0.431	3.827	1.912	0.404	0.509	0.758	1.053
B. Cd 1	7.100	5.900	1.300	0.800	2.420	1.909	0.496	4.532	2.150	0.408	0.540	0.614	1.134
B. Cd 2	7.700	6.550	1.400	1.100	4.574	2.465	0.547	5.165	2.493	0.309	0.707	0.788	1.452
B. Cd 3	6.100	5.100	1.250	0.800	2.338	2.362	0.499	4.533	2.206	0.337	0.684	0.808	1.486
B.Bc 1	4.400	3.500	0.900	0.600	0.810	1.442	0.507	2.842	1.567	0.260	0.338	0.465	0.87
B.Bc 2	4.000	3.200	0.800	0.550	0.600	1.222	0.416	2.687	1.352	0.269	0.360	0.461	0.804
B.Bc 3	4.600	3.700	0.800	0.600	0.815	1.535	0.403	3.138	1.471	0.239	0.382	0.510	0.888
B.Bc 4	4.400	3.300	0.800	0.600	0.784	1.383	0.428	2.930	1.340	0.181	0.374	0.471	0.843
B.Bc 5	4.600	3.650	0.950	0.700	0.953	1.416	0.497	3.156	1.524	0.230	0.399	0.520	0.89
B.Bc 6	4.600	3.650	0.900	0.700	0.967	1.433	0.364	3.011	1.319	0.218	0.364	0.488	0.87
B.Bc 7	5.400	4.250	1.050	0.800	1.471	1.919	0.487	3.630	1.719	0.249	0.446	0.522	1.093
B.Bc 8	7.300	5.950	1.400	1.200	3.823	2.333	0.770	5.245	2.489	0.285	0.664	0.751	1.327
B.Bc 9	7.500	6.000	1.550	1.000	4.171	2.548	0.656	5.234	2.572	0.316	0.658	0.878	1.457