



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD



**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
BIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA**

TESIS

**“EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA DURANTE
LA INCUBACIÓN DE OVAS DE *TRICHOMYCTERUS PUNCTULATUS*, BAJO
CONDICIONES DE LABORATORIO, CAJAMARCA, PERÚ”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO BIOTECNÓLOGO

PRESENTADO POR:

BACH. CLAUDIA ESTHEFANIE MORILLO NINATANTA

ASESOR

Dr. Nilton Eduardo Deza Arroyo

COASESOR

M. Cs. Alfonso Miranda Leiva

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador: **Claudia Esthefanie Morillo Ninatanta**
DNI: **73248789**
Escuela Profesional/Unidad UNC: **ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA**
2. Asesor:
Dr. NILTON EDUARDO DEZA ARROYO
Facultad/Unidad UNC: **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD**
3. Grado académico o título profesional al que accede:
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA DURANTE LA INCUBACIÓN DE OVAS DE *TRICHOMYCTERUS PUNCTULATUS*, BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO, CAJAMARCA, PERÚ
6. Fecha de evaluación del antiplagio: **19/9/2025**
7. Software antiplagio: ☒ **TURNITIN** ☐ **URKUND (ORIGINAL) (*)**
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **12 %**
9. Código Documento: **old:3117:500974418**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ **APROBADO** ☐ **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Cajamarca, 16 de octubre del 2025



Dra. SILVIA SABEL SÁNCHEZ MERCADO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN FCS UNC
DNI 26613805



* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

Copyright©

Claudia Esthefanie Morilo Ninatanta

Todos los derechos reservados

FICHA CATALOGRÁFICA

Morillo Ninatanta, C. 2025. Evaluación de parámetros fisicoquímicos del agua durante la incubación de ovas de *Trichomycterus punctulatus*, bajo condiciones de laboratorio, Cajamarca, Perú

Claudia Esthefanie Morillo Ninatanta.

Escuela Académico Profesional de Biología y Biotecnología

Asesor: Dr. Nilton Eduardo Deza Arroyo

Co-asesor: M. Cs. Alfonso Miranda Leiva

Disertación Académica para optar el Título Profesional de Biólogo Biotecnólogo

UNC – 2025.

**“Evaluación de parámetros fisicoquímicos del agua durante la incubación de
ovas de *Trichomycterus punctulatus*, bajo condiciones de laboratorio,
Cajamarca, Perú”**

AUTORA: Claudia Esthefanie Morillo Ninatanta

ASESOR: Dr. Nilton Eduardo Deza Arroyo

CO-ASESOR: M.Cs. Alfonso Miranda Leiva

Tesis Evaluada y aprobada para la obtención del Título Profesional de Biólogo
Biotecnólogo de la Universidad Nacional de Cajamarca, por los siguientes jurados.

JURADO EVALUADOR



Presidente

Dra. Carmen Eddy Medina Rodriguez



Secretario

M. Cs. William Edgardo Soriano Castillo



Vocal

M. Cs. Arturo Ulises Diaz Aliaga



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

Facultad de Ciencias de la Salud

Av. Atahualpa 1050

Teléfono/ Fax 36-5845



MODALIDAD "A"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO BIOTECNÓLOGO

En Cajamarca, siendo las 10:00 am del 12 de Setiembre del 2025, los integrantes del Jurado Evaluador para la revisión y sustentación de la tesis, designados en Consejo de Facultad a propuesta del Departamento Académico, reunidos en el ambiente 11-304 de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional de Cajamarca, dan inicio a la sustentación de tesis denominada: Evaluación de Parámetros Fisicoquímicos del Agua durante la Incubación de Ovas de Trichomyxterus punctulatus, bajo condiciones de Laboratorio, Cajamarca, Perú.

del (a) Bachiller en Ciencias Biológicas:

Claudia Estefhanie Morillo Ninatanta

Siendo las 10:40 am del mismo día, se da por finalizado el proceso de evaluación, el Jurado Evaluador da su veredicto en los siguientes términos: MUY BUENO, con el calificativo de: 18, con lo cual el (la) Bachiller en Ciencias Biológicas se encuentra APTA para la obtención del Título Profesional de: **BIÓLOGO BIOTECNÓLOGO**.

Miembros Jurado Evaluador Nombres y Apellidos		Firma
Presidente:	<u>Dra. Carmen Eddy Medina Rodríguez</u>	<u>[Firma]</u>
Secretario(a):	<u>M. Cs. William Edgardo Soriano Castillo</u>	<u>[Firma]</u>
Vocal:	<u>M. Cs. Arturo Ulises Díaz Aliaga</u>	<u>[Firma]</u>
Accesitaria:		
Asesor (a):	<u>Dr. Milton Eduardo Deza Arroyo</u>	<u>[Firma]</u>
Co- Asesor (a):	<u>M. Cs. Alfonso Miranda Leiva</u>	<u>[Firma]</u>

Términos de Calificación:

EXCELENTE (19-20)

MUY BUENO (17-18)

BUENO (14-16)

REGULAR (12-13)

REGULAR BAJO (11)

DESAPROBADO (10 a menos)

A los animales del mundo que sin saber hablar expresan amor y te abrazan el alma

La naturaleza es la diferencia entre el hombre y Dios.

(Fernando Pessoa)

Agradecimiento

Dios, que con su infinito amor permitió la vida en sus diferentes escalas y que ahora es responsabilidad nuestra cuidarla y preservarla.

Biólogos, que con paciencia compartieron sus conocimientos y experiencias a lo largo del proyecto, me llenaron de sabiduría y abrieron mi camino en el mundo de la naturaleza, mil gracias, Dr. Nilton y Mgs. Alfonso.

Mis padres María Luisa Ninatanta Ortiz y Juan Estenio Morillo Araujo por su apoyo incondicional durante toda mi vida y especialmente en verme cumplir mis metas profesionales.

Tabla de contenido

Dedicatoria	vii
Epígrafe	viii
Agradecimiento.....	ix
Título	xvii
Resumen	xviii
Abstract	xix
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.2. Base Teórica	10
2.2.1. Taxonomía.....	10
2.2.2. Descripción Morfológica de <i>Trichomycterus punctulatus</i>	11
2.2.3. Biología del género <i>Trichomycterus</i>	13
2.2.4. Distribución geográfica	13
2.2.5. El género <i>Trichomycterus</i> en el Perú.....	14
2.2.6. Descripción de la cuenca del Jequetepeque.....	15
2.2.7. Parámetros fisicoquímicos para la reproducción del género <i>Trichomycterus</i>	17
2.2.8. Reproducción y Madurez reproductiva de <i>Trichomycterus punctulatus</i>	19
CAPÍTULO III	22
DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	22
3.1. Diseño de investigación.....	22
3.2. Diseño metodológico	22
3.2.1. Población, muestra, unidad de análisis.....	22
3.3. Procedimientos	22
a. Selección de puntos de muestreo.....	22
b. Selección de reproductores.....	24
c. Inducción de la madurez sexual.....	24
d. Diseño de incubadoras	24
e. Parámetros Fisicoquímicos	27
f. Evaluación del éxito de incubación de ovas	28
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	30
3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	30

CAPÍTULO IV	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1. Resultados.....	31
4.2. Discusión	35
CAPÍTULO V	44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
5.1. Conclusiones	44
5.2. Recomendaciones	45
Referencias bibliográficas.....	46
APÉNDICES.....	50

Lista de ilustraciones

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica del “life” (<i>Trichomycterus punctulatus</i>).....	11
Tabla 2. . Maduración Gonadal a Escala Macroscópica de <i>Trichomycterus punctulatus</i>	21
Tabla 3. Estadísticas descriptivas de los parámetros fisicoquímicos del agua durante el proceso de incubación de ovas	31
Tabla 4. Modelo de regresión lineal.....	32
Tabla 5. ANOVA	32
Tabla 6. Coeficientes del modelo de regresión lineal	33
Tabla 7. Estado de madurez sexual, cronológicamente, de los reproductores de <i>Trichomycterus punctulatus</i> mediante análisis morfológicos y biológicos.....	34
Tabla 8. Valores óptimos de temperatura, pH, oxígeno disuelto nitritos y notas adicionales (conductividad y presión atmosférica) en el agua en condiciones de laboratorio para la reproducción de <i>Trichomycterus punctulatus</i>	35

Lista de figuras

Figura 1 <i>Trichomycterus punctulatus</i>	12
Figura 2. Punto de Muestreo en el Oasis de Salitre para <i>Trichomycterus punctulatus</i>	23
Figura 3 Filtro artesanal empleado en el sistema de incubación de ovas de <i>Trichomycterus punctulatus</i>	26
Figura 4. Sistema artesanal de incubación instalado con flujo por gravedad.	27

Lista de abreviaciones

ANOVA : Análisis de Varianza

B : Coeficiente de regresión no estandarizado

cm : Centímetro

COI: Citocromo Oxidasa I (gen mitocondrial)

E : Tasa de eclosión

Fe : Fecha de eclosión

Fp : Fecha de fertilización

gl : Grado de libertad

g: Gramo

IGS : Índice gónado somático

Lm : Larvas muertas

MA : Malformaciones o anomalías

mg/L : Miligramos por litro

m.s.n.m.: Metros sobre el nivel del mar

mm: Milímetro

mmHg : Milímetros de mercurio

Noa : Número de ovas con anomalías

Noe : Número de ovas eclosionadas

Non : Número de ovas no eclosionadas

Nov : Número de ovas viables

Nte : Número total de ovas eclosionadas

Nto : Número total de ovas embrionadas

OD : Oxígeno disuelto

pH : Potencial de Hidrógeno

R : Coeficiente de correlación

SPSS : Statistical Package for the Social Sciences

T° : Temperatura

Te : Tiempo de eclosión

μS/cm : Microsiemens por centímetro

°C : Grado Celsius

Glosario

Acuicultura

Práctica orientada al cultivo de organismos vivos acuáticos en ambientes controlados o naturales, buscando potenciar la disponibilidad de estos recursos y asegurar su utilización sostenible (Gobierno Regional de Cajamarca, 2021; Huaccha, 2023).

Desove

Periodo reproductivo durante el cual los peces desovan óvulos y esperma al medio acuático, donde se realiza la fecundación externa, siendo una etapa diferenciable a lo largo del ciclo de desarrollo gonadal (Beirão, et al., 2019).

Eclosión

Corresponde a la salida de la larva al medio acuático tras romper la membrana del huevo, estimándose a partir del porcentaje ovas embrionadas que logran su desarrollo con éxito (Huayhua, 2022).

Gónadas

Son los órganos de reproducción de los peces, comprendiendo los ovarios en las hembras y los testículos en los machos, estructuras encargadas de la generación de óvulos y espermatozoides respectivamente (Beirão, et al., 2019).

Madurez sexual

Momento del ciclo reproductivo en el que los órganos sexuales de los peces están totalmente formados y funcionales, permitiendo la gametogénesis; suele identificarse por cambios visibles a nivel gonadal (Anahua, 2017).

Trichomycterus punctulatus

Organismo íctico nativo y endémico del Perú, conocida localmente como “life”, presente en cuerpos de agua dulce de la cuenca del Pacífico, teniendo un valor destacado en términos de conservación y acuicultura (Castellanos, 2012).

“EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA DURANTE LA
INCUBACIÓN DE OVAS DE *TRICHOMYCTERUS PUNCTULATUS*, BAJO
CONDICIONES DE LABORATORIO, CAJAMARCA, PERÚ”

Resumen

El objetivo de esta investigación consiste en determinar los parámetros fisicoquímicos óptimos del agua, para el éxito del proceso de incubación de ovas, tendientes a la reproducción de *Trichomycterus punctulatus* bajo condiciones de laboratorio. Bajo el enfoque cuantitativo, básico y con diseño experimental explicativo, mediante el cual se seleccionaron 8 reproductores como muestra y empleando fichas de recolección de datos. Posterior a ello, se realizó la inducción hormonal de gonadotropina y la fecundación *in vitro*, colocándose las ovas en incubadoras artesanales de diseño propio con filtración de arena y carbón activado y flujo por gravedad. Hallándose una tasa de eclosión promedio del 28 % con una desviación estándar alta ($\pm 17,88$ %), revelando diferencias significativas entre las pruebas realizadas, así como el 0 % de supervivencia larval y una mortalidad de 84 %, con un tiempo de eclosión de 3 días. Las condiciones fisicoquímicas registradas mostraron un promedio de temperatura de 23,8 °C, pH 8,35, oxígeno disuelto 4,09 mg/L y nitritos 0,08 mg/L, así también se evidenció una correlación perfecta ($R = 1.000$) entre los parámetros fisicoquímicos y la tasa de eclosión, con asociaciones positivas y negativas según el parámetro, no obstante, el modelo no alcanzó significancia estadística, por lo que se aceptó la hipótesis nula. Además, el 87,5 % de los reproductores alcanzó el estadio V de madurez, con una talla y peso medio de 12,5 cm y 14 g respectivamente y de los cuales, el 50 % eran hembras y el mismo porcentaje machos. Por otro lado, en el acondicionamiento previo a la incubación, el ambiente controlado mostró condiciones óptimas de 26 °C de temperatura, pH de 7,4, oxígeno disuelto de 3,93 mg/L y nitritos con un valor de 0,6 mg/L. Concluyendo que, las condiciones fisicoquímicas no fueron ideales para lograr una incubación exitosa, sugiriendo efectuar nuevos ensayos con un mayor control experimental y una muestra más amplia.

Palabras clave: *Trichomycterus punctulatus*, incubación artesanal, parámetros fisicoquímicos, eclosión, viabilidad embrionaria.

Abstract

The objective of this investigation was to determine the optimal physicochemical parameters of the water for the success of the egg incubation process, tending to the reproduction of *Trichomycterus punctulatus* under laboratory conditions. Under a quantitative, basic and explanatory experimental design approach, by which 8 reproducers were selected as samples and using data collection sheets. Afterwards, gonadotropin hormonal induction and *in vitro* fertilization were carried out, placing the eggs in homemade incubators of their own design with arena filtration and activated carbon and flowed by gravity. An average hatching rate of 28% was achieved with a high standard deviation ($\pm 17.88\%$), revealing significant differences between the tests carried out, as well as 0% larval survival and mortality of 84%, with a hatching time of 3 days. The physicochemical conditions recorded showed an average temperature of 23.8°C, pH 8.35, oxygen dilute 4.09mg/L and nitrites 0.08mg/L, as well as a perfect correlation ($R = 1.000$) between the physicochemical parameters and the hatching rate, with positive and negative associations according to the parameter, however, the model did not reach statistical significance, which is why the null hypothesis was accepted. Furthermore, 87.5% of breeders reached maturity, with a height and average weight of 12.5cm and 14g respectively, and of which 50% were females and the same percentage as males. On the other hand, in the conditioning prior to incubation, the controlled environment showed optimal conditions of 26°C temperature, pH of 7.4, diluted oxygen of 3.93mg/L and nitrites with a value of 0.6mg/L. Concluding that, the physicochemical conditions were not ideal to achieve a successful incubation, suggesting carrying out new tests with greater experimental control and a wider sample.

Keywords: *Trichomycterus punctulatus*, artisanal incubation, physicochemical parameters, hatching, embryonic viability.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La información actual disponible sobre los parámetros fisicoquímicos óptimos para la reproducción exitosa de especies acuáticas constituye una preocupación global puesto que es clave para la preservación de recursos hidrobiológicos; es así, que instituciones como la “Organización Mundial de la Salud” (OMS), resalta cuán importante es la biodiversidad acuática para la salud y el bienestar humano, subrayando la necesidad de comprender y conservar los hábitats acuáticos mediante diversos estudios (OMS, 2022).

Otra preocupación global, destacada por la “Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación” (FAO), es la conservación de especies acuáticas endémicas, ya que estas contribuyen significativamente a la biodiversidad y al sustento de las comunidades locales (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022). Según el informe Mundial sobre la Diversidad Biológica (CBD) realizado por esta entidad “la pérdida y degradación de los hábitats acuáticos son responsables de la disminución de las poblaciones de peces y de la biodiversidad asociada” (Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2020).

A nivel internacional, países como China, conocido por su rica diversidad acuática de agua dulce, con más de 1.320 especies, de las cuales 877 son endémicas, ha reportado diversos problemas como la sobreexplotación y las presiones paisajísticas afectando la biodiversidad acuática (Chen *et al.*, 2022). En Bangladesh, estudios destacan que mantener parámetros fisicoquímicos adecuados es crucial para la salud y densidad poblacional de especies acuáticas, ya que una baja calidad del agua debilita sus defensas y eleva la mortalidad (Hasan, *et al.*, 2021).

En Latinoamérica, países como Ecuador, la gestión de especies acuáticas endémicas se ve afectada por la falta de control en la calidad del agua y la contaminación por aguas residuales y pesticidas, alterando su reproducción y supervivencia (Cabrera, *et al.*, 2023). Caso similar

ocurre en la Amazonía brasileña, donde especies como los “bagres gigantes” del orden Siluriformes se ven amenazadas por la sobreexplotación, el cambio climático y la alteración de ecosistemas, afectando la seguridad alimentaria y el sustento de comunidades locales (Cruz *et al.*, 2020). Asimismo, se reporta una escasa investigación sobre la reproducción de especies nativas y un impacto ecológico creciente, debido a la falta de planificación y legislación, poniendo en riesgo la biodiversidad y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos (Nobile, *et al.*, 2022).

A nivel nacional, el Plan Nacional de Diversidad Biológica destaca la necesidad de conservar la biodiversidad acuática mediante estrategias sostenibles, subrayando la urgencia de investigar y proteger especies de peces endémicos y en relación a ello se reporta un alarmante descenso de peces endémicos ocasionado por la contaminación de la minería informal, agroquímicos y pesca descontrolada; representando una seria amenaza para la supervivencia y exigiendo acciones urgentes de conservación (Ministerio del Ambiente, 2021).

Aunado a esto, a pesar que el Perú es un país megadiverso en especies acuáticas, la investigación sobre su reproducción en laboratorio es limitada, es así, que la falta de datos científicos dificulta la implementación de políticas efectivas para su conservación y manejo sostenible (Huaccha, 2023).

En el caso de la reproducción de especímenes de *Trichomycterus punctulatus*, conocido como “life”, enfrenta desafíos debido al desconocimiento sobre su madurez sexual, dificultando la producción de semillas y aumentando el riesgo de extracción de individuos inmaduros, lo que amenaza la sostenibilidad de la especie (Aguilar, 2023). En regiones como Lambayeque, por ejemplo, la falta de acceso a la actividad de acuicultura de este recurso se debe en gran parte a la falta de conocimiento sobre sus parámetros de cultivo y requisitos reproductivos, lo que obstaculiza los esfuerzos para su gestión y conservación (Gerencia Regional de Desarrollo Productivo - Lambayeque, 2020).

A nivel local, en la región de Cajamarca, se encuentran numerosas especies de peces, muchas de ellas endémicas, que enfrentan amenazas debido a diversos impactos ambientales, principalmente vinculados a la actividad minera, mediante la desecación de cuerpos de agua, así como la pérdida de especies y alta mortalidad de peces, ocasionando así degradación del hábitat y contaminación acuática (Villanueva, 2022). Un estudio, en esta región, destacó la importancia de que los piscicultores consideren ciertos parámetros fisicoquímicos en la maduración sexual de esta especie, con el fin de obtener peces maduros aptos para la reproducción, por lo que el establecimiento y monitoreo de estos factores es clave, sin embargo, aún existe falta de información sobre los parámetros fisicoquímicos óptimos para la reproducción de esta especie, lo que impide el desarrollo de programas de acuicultura sostenible y su utilización racional (Huaccha, 2023). Según el Gobierno Regional de Cajamarca, la implementación de prácticas de acuicultura podría diversificar la economía local y mejorar la seguridad alimentaria, pero la falta de conocimiento científico sobre las condiciones ideales para la reproducción de esta especie en cautiverio limita estas oportunidades (Gobierno Regional Cajamarca, 2021).

De esta forma, el objetivo del estudio fue determinar el éxito reproductivo en la incubación de ovas de *Trichomycterus punctulatus* en función de parámetros fisicoquímicos establecidos en condiciones de laboratorio, en Cajamarca, Perú, buscando no solo profundizar en el conocimiento, sino también facilitar la reproducción de la especie en un ambiente controlado y, con ello, contribuir significativamente a su conservación y preservación como especie endémica. Investigación que fue realizada en condiciones de laboratorio en Cajamarca, y se centró en la evaluación de los parámetros fisicoquímicos del agua durante la incubación de ovas de *Trichomycterus punctulatus*, una especie endémica amenazada de la cuenca del Jequetepeque, empleando un diseño experimental con enfoque cuantitativo, utilizando incubadoras artesanales mejor adaptadas y protocolos más efectivos para una recolección de

datos más exigentes, que podrían dar mejores resultados en esta actividad decisiva para los propósitos esperados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Chambilla *et al.* (2024); realizaron un estudio con el propósito de desarrollar métodos que puedan ayudar a recuperar las poblaciones de “mauri” (*Trichomycterus dispar*) y también para promover la diversificación de la acuicultura en la región de Puno, siguiendo un enfoque metodológico cuantitativo de tipo experimental, empleando 300 ejemplares obtenidos a través de la reproducción artificial, evaluando la aceptación y el uso de alimento balanceado microesferizado desde las larvas hasta los 60 días de cultivo, además, del registro de crecimiento durante un periodo de 365 días. En sus hallazgos, reportan que, en el contenido estomacal a los 45 días, el 50% de los pellets estuvieron presentes; sin embargo, a los 60 días, aumentó a más del 50%, llegando incluso al 100%. Además, los peces iniciaron el consumo de alimento balanceado con una talla y peso promedio de 2.14 cm y 0.061 g, respectivamente y después de 365 días, alcanzaron un tamaño y peso promedio de 4.87 cm y 0.712 g. Logrando una tasa de crecimiento específico entre 0.83 y 1.5, y un factor de conversión alimenticia en el rango de 1 a 1.5. Concluyendo que los resultados derivados, evidencian el potencial de la especie para ser cultivada en sistemas intensivos, así como para ser utilizada en repoblaciones durante su etapa juvenil.

Aguilar (2023); evaluó la diversidad de bagres altoandinos (*Trichomycterus* spp.) utilizando el marcador mitocondrial COI, es así como, por medio de un estudio cuantitativo y usando fichas de recopilación de datos caracterizó cada hábitat fisicoquímicamente. Hallando que las aguas de cultivo tenían una calidad óptima, con valores de pH entre 6,72 y 8,54; niveles de oxígeno disuelto de 7,09 a 9,8 mg/L; conductividad eléctrica de 25,1 a 166 μ S/cm; sólidos totales disueltos de 17,67 a 106,1 mg/L; y una temperatura que variaba entre 12°C y 18°C.

Conjuntamente, los análisis filogenéticos revelaron que los bagres andinos pertenecían a los géneros *Astroblepus* y *Trichomycterus*. Concluyendo que los resultados contribuyen al entendimiento de la diversidad de bagres altoandinos en la Provincia de Chachapoyas y resalta el potencial de estas especies tanto para la acuicultura y como indicadores biológicos de la calidad del agua.

Huaccha (2023); planteó determinar cómo los factores físicos y químicos del agua están relacionados con el desarrollo de la madurez sexual en los *Trichomycterus punctulatus* en el valle del Jequetepeque durante el período de 2020-2021, siguiendo un método correlacional, transeccional y retrospectivo, empleando datos del estanque ubicado en el Centro Poblado El Salitre, recolectados como parte de un proyecto de reproducción inducida de esta especie, examinando así 99 ejemplares. Los resultados indicaron que los promedios de temperatura del agua fueron de 25.40°C, el pH fue de 8.36, el oxígeno disuelto fue de 9.18 mg/L y la conductividad fue de 149.26 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Reportando también una correlación estadísticamente significativa entre la madurez sexual de los peces, la temperatura del agua ($p < 0.05$) y el pH del agua ($p < 0.05$). Sin embargo, no ocurrió lo mismo con otros parámetros (oxígeno disuelto y conductividad), donde la relación fue inversa pero no estadísticamente significativa ($p > 0.05$). También, durante los períodos de madurez y gestación de los peces, se notó que el peso de las gónadas mostró una correlación significativa inversa con la conductividad del agua ($p < 0.05$) y con el pH del agua ($p < 0.01$). Concluyendo, que sus hallazgos resaltan la importancia de mantener valores específicos de pH y temperatura para asegurar el éxito reproductivo de esta especie en el valle del Jequetepeque.

Mamani *et al.*, (2023); en su investigación describieron la longitud total de *Trichomycterus rivulatus* Valenciennes, 1846 “suche” después de la etapa larvaria bajo condiciones controladas, siguiendo un enfoque cuantitativo y diseño experimental, para esto emplearon 887 post larvas después de 25 días de post-eclosión y controlaron los parámetros

fisicoquímicos establecidos del agua (temperatura entre 12°C y 15°C, oxígeno disuelto entre 6,0 mg/L y 6,3 mg/L, pH entre 7,0 y 7,5) utilizando un multiparamétrico HANNA HI98194. Además, antes de cada alimentación se sifonearon los tanques y se reemplazó el 90% del volumen de agua en todos los tratamientos. También durante el experimento, midieron la longitud total de las postlarvas al inicio y al final. En sus hallazgos reportan que, a los 21 días, las postlarvas tenían una longitud total promedio de $21,6 \pm 0,51$ mm, mientras que a los 45 días fue de $30,53 \pm 0,52$ mm, hallando así una diferencia estadísticamente significativa. Por lo que concluyen en que el tipo de alimento vivo no tuvo un efecto significativo en la longitud total de las postlarvas de esta especie y es importante mantener los parámetros fisicoquímicos del agua constantes para garantizar un desarrollo adecuado, puesto que la supervivencia cercana al 100% en condiciones controladas resalta la sensibilidad de estas especies a cambios en el ambiente acuático.

Trujillo y Alzate (2023) llevaron a cabo un estudio sobre la dieta y la reproducción de *Trichomycterus nigromaculatus*, en base a una metodología cuantitativa y experimental para lo que efectuaron siete muestreos para capturar los peces utilizando una red de arrastre y una atarraya, y midieron *in situ* las variables fisicoquímicas del agua. Además, analizaron el contenido estomacal de 245 ejemplares. Hallando que esta especie *Trichomycterus* tiene una dieta omnívora cuyo principal alimento son larvas de *Simulium* sp. e insectos, además se indicó que los peces estaban bien alimentados con un factor de condición bueno, y se observó una proporción sexual de 1 macho por cada 1,5 hembras, con 73 machos y 50 hembras registrados. También identificaron que los machos alcanzaron la talla media de madurez sexual a los 90,46 mm, mientras que las hembras a los 63,0 mm. Evidenciando asimismo tres eventos reproductivos, con una fecundidad menor durante las épocas de bajas lluvias (194 ovocitos) y mayor durante las épocas de altas lluvias (369 ovocitos), con un diámetro promedio de ovocitos de 0,07 mm.

Yanarico *et al.* (2022); se plantearon como objetivo investigar la longitud de las pre-larvas de *Trichomycterus rivulatus* mediante el uso de alimentación viva en el Lago Titicaca, Perú, siguiendo un enfoque cuantitativo y experimental, para lo que utilizaron 900 pre-larvas distribuidas en tres tratamientos con tres réplicas de 100 individuos cada uno. Adicionalmente efectuaron mediciones de parámetros fisicoquímicos como temperatura del agua, oxígeno disuelto y pH. Las pre-larvas fueron evaluadas para determinar su supervivencia y se midió su longitud total al quinto día después de la eclosión. Se estableció y monitoreo una temperatura del agua constante a 14°C, con niveles de oxígeno disuelto variando entre 6,18 y 6,23 mg/L, y un pH aproximado de 7,6. Los hallazgos revelaron una supervivencia cercana al 100% en condiciones controladas, señalando que las pre-larvas alimentadas con *Artemia salina* alcanzaron una longitud mayor (8,5 mm > 8,0 mm), con diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos. En conclusión, hacen hincapié en que las pre-larvas de la especie evaluada lograron una longitud de 8,5 mm durante el período pre-larvario bajo condiciones fisicoquímicas específicas experimentales, junto con una estrategia efectiva de alimentación, lo cual asegura una alta tasa de supervivencia.

Marimuthu *et al.* (2019); desarrolló una investigación sobre *Clarias gariepinus* (bagre africano), evaluando cómo distintos niveles de pH afectaban la incubación, la tasa de eclosión y la supervivencia larval y así identificar el pH ideal para el desarrollo embrionario y la viabilidad de las larvas. Para ello, se incubaron huevos fertilizados a 28 ± 1 °C con 24 niveles de pH para estudiar la eclosión y 15 niveles para evaluar la supervivencia de las larvas, utilizando un diseño completamente aleatorizado con tres réplicas. Revelando en sus hallazgos que los huevos incubados a un pH entre 6.7 y 7.6 presentaron la mayor tasa de eclosión, mientras que no hubo eclosión en pH extremos (inferiores a 3.1 o superiores a 10). A las 72 horas, la mayor supervivencia larval (98%) se registró a pH 7.0. Concluyendo que los pH entre

6.7 y 7.5 son los más adecuados para la eclosión y supervivencia larval del bagre analizado, lo cual podría ser relevante para la incubación de especies similares en condiciones controladas.

Anahua (2017); investigó el periodo reproductivo y la talla de primera madurez sexual del pez “mauri” (*Trichomycterus dispar*) en cuatro áreas del Lago Titicaca durante el periodo de 2008 a 2014. Utilizando un enfoque cuantitativo, donde analizó un total de 21,988 ejemplares de ambos sexos, utilizando datos del banco de datos del laboratorio continental de Puno – IMARPE, haciendo el cálculo del Índice Gónado Somático (IGS) y la talla en la que los peces alcanzaron la primera madurez sexual. Sus resultados revelaron que los peces estaban sexualmente maduros a lo largo de todo el periodo de estudio, además el IGS reveló dos épocas de reproducción al año, con una mayor actividad reproductiva entre julio y septiembre, y otra intensidad menor en enero y febrero, mostrando consistencia entre los años, las zonas geográficas y los sexos. En cuanto a la talla de primera madurez sexual, se determinó que era de 10.8 cm de longitud total para machos y 12.0 cm para hembras, hallando una variación significativa del 50% entre los sexos (ANOVA, $F_{1, 55} = 52.74$, $P < 9.45E-07$) y una mínima diferencia significativa entre las tallas de madurez en las diferentes zonas (ANOVA, $F_{3, 55} = 3.04$, $P < 0.05$). Concluyendo que, estos hallazgos son fundamentales para la gestión y conservación de esta especie.

Small y Bates (2001); realizó un estudio en *Ictalurus punctatus* (bagre de canal), donde evaluó cómo distintas temperaturas influían en el desarrollo de los embriones, incubando los huevos a temperaturas constantes de 4, 11, 16, 21 y 26 °C, con el propósito de identificar cómo los cambios en la temperatura afectaban la eclosión y el desarrollo de las larvas. Para ello, los huevos a esas temperaturas y observaron cómo evolucionaba la eclosión y el crecimiento de las larvas. Los resultados mostraron que a temperaturas de 4 y 11 °C, la mayoría de los huevos no sobrevivieron, mientras que las larvas incubadas a 16 °C tuvieron un desarrollo incompleto y no lograron sobrevivir al ser transferidas a 26 °C. Por otro lado, a 21 y 26 °C, tanto la eclosión

como el crecimiento fueron normales. Concluyendo en la importancia de la T° en el proceso de desarrollo embrionario, indicando que, aunque las temperaturas más bajas pueden prolongar el período de incubación, también afectan negativamente el desarrollo de las larvas.

2.2. Base Teórica

2.2.1. Taxonomía

Las especies pertenecientes al orden Siluriformes (*Catfishes*) son comúnmente conocidos como “peces gato” o “bagres”, y se distinguen por tener barbillas alrededor de la boca, que son apéndices sensoriales que sobresalen y se asemejan a los bigotes de un gato en su apariencia; dentro de este orden, la familia Trichomycteridae incluye los llamados “peces gato lápiz” o “peces gato parásitos”, la cual es diversa y contiene tanto especies que son parásitas de otros peces como especies que no lo son (FishBase, 2024).

Es así como la especie *Trichomycterus punctulatus* se encuentra dentro de la familia Trichomycteridae, y ha sido descrita y clasificada taxonómicamente por varios autores a lo largo del tiempo, sin embargo, fue el zoólogo Achille Valenciennes (1846) nombró el género *Trichomycterus*, contribuyendo en la taxonomía y la descripción de esta especie (FishBase, 2024). Este espécimen, cuyo significado proviene del griego thrix = cabello o pelo y mykter (o -eros) = nariz, haciendo referencia a las características morfológicas del pez, que probablemente tienen que ver con sus barbillones (que pueden asemejarse a pelos) y su estructura nasal, siendo su clasificación taxonómica la siguiente (FishBase, 2024):

Tabla 1.

Clasificación taxonómica del “life” (Trichomycterus punctulatus)

Reino	Animalia
Filo	Chordata
Clase	Osteichthyes
Superorden	Ostariophysi
Orden	Siluriformes
Familia	Trichomycteridae
Género	<i>Trichomycterus</i> , Valenciennes 1833
Especie	<i>Trichomycterus punctulatus</i> (Valenciennes, 1846)

Nota. Clasificación taxonómica según Ortega y Vari (1986)

2.2.2. Descripción Morfológica de *Trichomycterus punctulatus*

Las especies del género *Trichomycterus* se distinguen por poseer una boca ubicada en la parte inferior del cuerpo, un cuerpo largo en forma de cilindro, una cabeza ancha y triangular que se estrecha hacia la cola, ojos situados dorsalmente a la mitad de la cabeza, y estructuras dentadas en el opérculo que les facilitan agarrarse y desplazarse eficazmente en las corrientes de agua (Montoya & Noboa, 2020).

También, presentan una amplia variabilidad en su coloración, incluso dentro de una misma población, ocasionado por cambios ontogénicos durante su desarrollo. Esta variabilidad hace que la identificación de especies establecida únicamente en características morfológicas pueda ser poco confiable (Ochoa, *et al.*, 2020). Además, estos peces tienen dos barbillas nasales, dos maxilares y dos submaxilares, y típicamente exhiben una coloración que va desde tonos marrones con una franja negra a lo largo de todo el cuerpo (Montoya & Noboa, 2020).

En el caso específico *Trichomycterus punctulatus*, se caracteriza además por tener una vejiga natatoria poco desarrollada y carecer de aleta adiposa, además sus aletas impares son cortas y no tienen escamas ni armadura externa, el cráneo está cubierto por un panículo muscular y la piel es desnuda, sus dientes son filiformes y la aleta dorsal no está unida al cráneo por ninguna placa ósea y también presenta en la base de su mandíbula seis barbos filamentosos

(estructuras sensoriales) que sobresalen, tal como se muestra en la Figura 1 (Arratia, 1983; FishBase, 2024).

Figura 1

Trichomycterus punctulatus



Nota. Tomado de FishBase, (2024)

Este espécimen presenta una morfología adaptada a su hábitat acuático en ríos y quebradas de corriente moderada a rápida, y además debido a que pasan la mayor parte de su tiempo la parte más profunda de los cuerpos de agua, presentando a modo general un cuerpo alargado y cilíndrico que le permite moverse con facilidad entre las rocas y la vegetación acuática, mientras que sus aletas pectorales y ventrales están desarrolladas para proporcionarle estabilidad y movilidad en el agua, su coloración varía desde tonos marrones hasta grises, lo que le brinda camuflaje en su entorno (FishBase, 2024).

Presenta opérculos en posición lateral y una cabeza deprimida con tres pares de barbillas y ojos pequeños poco desarrollados, también su boca terminal tiene dientes cónicos o incisivos, adaptados principalmente para alimentarse de insectos acuáticos (Sifuentes, 2017). En cuanto al tamaño, peso y edad de los peces del género *Trichomycterus*, la información disponible es limitada y no ha sido especificada en la literatura revisada, no obstante, se reporta una longitud máxima alcanzada por estos peces de 14.8 cm y un peso máximo de 36.72 g (FishBase, 2024).

2.2.3. Biología del género *Trichomycterus*

La biología del género *Trichomycterus* incluye aspectos como su alimentación, comportamiento, ciclo de vida y reproducción, en este sentido, las especies que componen este orden son de hábitos omnívoros, solitarios y nocturnos, teniendo como base de su alimentación a especies de macroinvertebrados en gran parte en estadio larval, además también se alimentan de larvas de insectos, crustáceos, moluscos y, en menor medida, plantas. Donde la cantidad y variedad de estos alimentos varían según factores como la temporada de lluvias, el período de desove y el nicho trófico específico que ocupan en el ecosistema acuático (Ibarra & García, 2023).

En el caso de *Trichomycterus punctulatus*, durante la estación seca, este bagre de agua dulce, exclusivo de los ríos peruanos, se alimenta principalmente de larvas de insectos de las familias Chironomidae, Hydropsychidae y Leptohephidae y durante la temporada húmeda, su dieta se centra más en larvas de las familias Chironomidae y Elmidae (Vera, *et al.*, 2013). Además, se ha evidenciado que esta especie no elige activamente su comida, sino que muestra un comportamiento oportunista en cuanto a su alimentación, donde además según el método gráfico de Cortés parece tener una estrategia alimentaria generalista (Vera, *et al.*, 2013).

El ciclo de vida de esta especie incluye etapas como huevo, larva, juvenil y adulto, con un crecimiento lento pero continuo a lo largo de su vida y suelen ubicarse en las riberas de las acequias y ocultándose durante todo el día, por lo que se alimentan en horas nocturnas (Mora & Runcio, 2009).

2.2.4. Distribución geográfica

La familia Trichomycteridae se encuentra principalmente en las aguas continentales del neotrópico, que abarca América Central y del Sur. Dentro de esta familia, *Trichomycterus punctulatus* tiene su presencia específica en el oeste de Perú, distribuyéndose en sistemas fluviales ubicados en la vertiente del Pacífico, entre ellos la cuenca del Jequetepeque en

Cajamarca, prefiriendo aguas claras y oxigenadas, con fondos rocosos y presencia de vegetación acuática, de esta manera, habitan en ambientes de agua dulce, típicamente en zonas bentopelágicas, que significa que viven tanto cerca del fondo como en la columna de agua, considerando además peces de zonas tropicales (Vera, *et al.*, 2013).

Esta familia es particularmente diversa, en total, se han descrito más de 241 especies pertenecientes a 41 géneros dentro de la familia Trichomycteridae, esta diversidad coloca a esta familia entre los grupos de Siluriformes (orden al que pertenecen los bagres) más ricos en especies en las aguas dulces del neotrópico, dentro del cual el género más diverso es *Trichomycterus*, el cual cuenta con aproximadamente 130 especies descritas hasta el momento, esto significa que contribuye significativamente a la riqueza de especies dentro de la familia y es uno de los géneros más importantes en términos de diversidad dentro de los bagres neotropicales (Castellanos, 2012).

2.2.5. El género *Trichomycterus* en el Perú

Dentro del Perú, se han registrado más de 80 especies distintas de peces, con más de 50 de ellas pertenecientes a los géneros *Trichomycterus*, *Astroblepus* y *Orestias*, que se encuentran distribuidos en una amplia variedad de altitudes, que van desde los 1000 hasta los 4000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m); sin embargo, sus hábitats se han visto afectados notablemente por actividades humanas como la agricultura, la ganadería, el turismo y la expansión poblacional (Ortega, *et al.*, 2010).

En el contexto de la acuicultura en Perú, se destaca la especie de bagre *Trichomycterus rivulatus* debido a su alto rendimiento en este sector, dado que ha demostrado una tasa de supervivencia cercana al 100%, lo que la hace muy efectiva para la acuicultura y su rendimiento excepcional sugiere que tiene un gran potencial para impulsar la acuicultura rural en el país, dada la importancia de esta especie, es fundamental comprender la diversidad de los bagres del género *Trichomycterus* en la región amazónica peruana, puesto que, con un mejor

entendimiento de esta diversidad, se pueden desarrollar prácticas de acuicultura más efectivas y sostenibles, aprovechando al máximo el potencial de estas especies para la producción acuícola en la región (Yanarico, *et al.*, 2022).

En el caso particular de *Trichomycterus punctulatus*, se describe como una especie “endémica” de los Andes peruanos, es decir esta especie no se encuentra de forma natural en ninguna otra parte del mundo fuera de esa región específica, es así, que esta singularidad le otorga un potencial valor comercial para el Perú, puesto que, al habitar la parte baja de cuerpos acuáticos, como ríos y arroyos, se distribuye ampliamente en los afluentes occidentales del país, lo que sugiere que podría tener un papel importante en los ecosistemas locales y, potencialmente, en la economía si se desarrollan mercados para su comercialización (Vera, *et al.*, 2013).

Este pez conocido como “life” en Perú, históricamente ha sido parte de la dieta de las comunidades locales que viven en estas regiones, utilizando los recursos acuáticos cercanos como una fuente importante de proteínas y nutrientes, especialmente en el valle Jequetepeque, actualmente, esta especie está siendo considerada para la acuicultura debido a su capacidad para resistir condiciones ambientales adversas, además, su carne es muy apreciada en los mercados debido a su calidad, sabor y valor nutritivo (Huaccha, 2023).

2.2.6. Descripción de la cuenca del Jequetepeque

Se describe la cuenca del río Jequetepeque como una región con relieve montañoso y valles interandinos, siendo el principal curso de agua en esta área geográfica; además, esta cuenca está delimitada al norte por las cuencas de los ríos Zaña y Chancay-Lambayeque, al sur por la cuenca del río Chicama y la quebrada Cupisnique, al este por las cuencas de los ríos Cajamarca y Llaucano, y al oeste por el Océano Pacífico (Boza, 2019).

Se caracteriza, asimismo, por extenderse en un área total de 3956 km², que se distribuyen entre dos departamentos, además exhibe un pendiente promedio del 37.6% y tiene

un perímetro aproximado de 577.2 kilómetros, donde casi el 42.29% de su área total corresponde a la cuenca húmeda, que abarca 1,673.16 kilómetros cuadrados (Miñope, 2021). La mayor parte de esta área, específicamente 3741 km² (94.6%), pertenece al departamento de Cajamarca, mientras que los restantes 215 km² (5.4%) corresponden al departamento de La Libertad, además está dividida en 9 subunidades, lo que indica cierta complejidad en su estructura y funcionamiento (Miñope, 2021).

En cuanto a la elevación del terreno dentro de la cuenca, esta varía significativamente, registrándose la altitud más elevada en las Lagunas del Alto Perú con 4200 m.s.n.m., mientras que la altitud más baja se encuentra en Cerdán, a solo 146 m.s.n.m, afectando de manera significativa la biodiversidad y los ecosistemas de esta, ya que diferentes altitudes pueden albergar diferentes tipos de hábitats y especies (Miñope, 2021).

En la región, la cuenca alta experimenta un clima húmedo con la mayor parte de las precipitaciones, cruciales para el caudal del río, además sus características orográficas, como las elevaciones de la meseta andina, actúan como barrera para los vientos húmedos que penetran en los valles, lo cual favorece condiciones climáticas más favorables (Lescano, *et al.*, 2021). En contraste, la cuenca baja presenta un clima árido con escasa vegetación y precipitaciones limitadas, lo que restringe la disponibilidad de recursos hídricos. Estos contrastes climáticos ejercen un impacto sustancial en la distribución de la vegetación y la biodiversidad en cada área (Lescano, *et al.*, 2021).

El medio biológico en la cuenca del Jequetepeque está influenciado por la presencia de especies endémicas y una diversidad de flora y fauna acuática, donde la vegetación riparia proporciona hábitats y refugio para diversas especies y la calidad del agua es crucial para la salud de los ecosistemas acuáticos y terrestres, siendo factores clave en los esfuerzos de conservación de la biodiversidad en esa área. Además, la vida en esta cuenca depende de factores climáticos como la temperatura ambiental, precipitación, humedad y altitud.

Asimismo, posee una diversidad de plantas y animales, incluyendo especies acuáticas como *Oncorhynchus mykiss* (trucha) en la parte alta y *Trichomycterus punctulatus* (life) en la parte baja, en esta segunda especie, los ejemplares pueden llegar alcanzar hasta 19.5 cm de longitud (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015).

Durante ciertas épocas, el agua puede estar más cálida o más fría debido a variaciones estacionales, influenciadas por factores como la radiación solar, las precipitaciones y el caudal del río en diferentes momentos del año, donde se ha observado que la temperatura del agua oscila entre los 21,20 °C y los 24,25 °C en diferentes meses, valores que se consideran dentro de un rango óptimo para la cría de peces en aguas cálidas, que generalmente se sitúa entre los 20 °C y los 28 °C (López & Lora, 2013).

2.2.7. Parámetros fisicoquímicos para la reproducción del género *Trichomycterus*

La reproducción de *Trichomycterus* es ovípara y ocurre principalmente en primavera y verano concerniente a los meses de septiembre a marzo, variando, especialmente dependiendo de la especie y la región, cuando el escenario ambiental es más favorable (Anahua, 2017). En este período, tanto machos como hembras alcanzan la madurez sexual, preparándose así para el ciclo reproductivo, para luego dar paso a la puesta de huevos en lugares protegidos dentro del hábitat natural de la especie, donde los huevos eclosionan, dando lugar a larvas que se desarrollan hasta convertirse en juveniles (Anahua, 2017).

La temperatura del agua es fundamental para los peces, influyendo en su metabolismo, crecimiento, reproducción, patrones de alimentación, migración y elección de hábitat (Islam, *et al.*, 2022). Además, impacta la digestión, absorción de nutrientes y almacenamiento de energía variando según la rapidez y la magnitud de los cambios, así como la duración de la exposición, donde variaciones repentinas en la temperatura pueden causar efectos adversos en la salud y el

estado general de los peces, afectando su capacidad de adaptación y supervivencia (Islam, *et al.*, 2022).

Dentro del rango adecuado para el cultivo de Siluriformes, una familia de peces que incluye especies como los bagres, las temperaturas ideales de cría están entre los 21 °C y los 26 °C (Comizzoli & Holt, 2019). Se señala también para Siluriformes valores de 21 °C - 28 °C, entonces mantener la temperatura del agua dentro de este rango ayuda a mejorar la forma en que los peces convierten el alimento que consumen en crecimiento y en mantenerse saludables mientras se crían (Bardach & Ryther, 1986).

En un sistema acuícola, el oxígeno disuelto proviene principalmente del aire que entra en contacto con el agua, de la fotosíntesis realizada por las plantas acuáticas presentes y del movimiento o agitación del agua dentro del sistema, siendo un parámetro crucial en la acuicultura porque los peces y otros organismos acuáticos lo necesitan para respirar, es así, que mantener niveles adecuados es fundamental para el crecimiento, la salud y la supervivencia de los peces, ya que la falta de oxígeno puede provocar estrés, enfermedades e incluso la muerte de los peces, por lo que es importante monitorear y mantener niveles óptimos de oxígeno disuelto en los sistemas acuícolas (Zhou, *et al.*, 2022). La cantidad de oxígeno disuelto en el agua puede cambiar según la cantidad de peces presentes en el cuerpo de agua, donde a mayor cantidad de peces, menor será la concentración de oxígeno disuelto, donde los valores entre 5,40 mg/L y 6,80 mg/L, se consideran óptimos (López & Lora, 2013).

En cuanto al, pH del agua es crítico para la salud de los peces, dado que cuando el pH se desvía de un valor neutro, puede causar problemas fisiológicos e incluso la muerte, y, en casos severos y prolongados (Ibearugbulam, *et al.*, 2021). Gran parte de las especies piscícolas prefieren que el pH del agua esté dentro del rango de 6,5 a 9 para mantenerse saludables y funcionar adecuadamente, ya que por debajo de 6,5 el crecimiento puede ralentizarse y la reproducción puede cesar, por lo que mantener un pH adecuado es fundamental para

proporcionar un ambiente saludable para los peces en el cultivo (López & Lora, 2013; Castro y Rodríguez, 2020).

Las concentraciones de amonio y nitrito en el agua pueden variar dependiendo de la cantidad de peces presentes en el medio acuático y el tiempo de exposición, donde una densidad poblacional alta se relaciona con mayores concentraciones de amonio en el agua, ya que este compuesto es liberado a través de las excreciones de los peces, es así que, los valores promedio suelen situarse entre 0,20 mg/L y 1,90 mg/L, mientras que, para los nitritos, los valores típicos oscilan entre 0,50 mg/L y 1,00 mg/L (López & Lora, 2013).

Los parámetros fisicoquímicos del agua en la acuicultura pueden variar debido a diversos factores, entre ellos está la actividad metabólica de los peces, que juega un papel fundamental, ya que a medida que se alimentan, crecen y producen desechos, como el amonio, que se excreta a través de las branquias; otro factor es la cantidad y tipo de alimento suministrado, ya que un exceso de alimento puede aumentar la producción de desechos y, por lo tanto, la concentración de amonio en el agua (González, *et al.*, 2022). Además, el sistema de filtración del agua es crucial, ya que un sistema eficiente puede ayudar a eliminar los desechos y mantener los niveles de amonio y nitrito dentro de los rangos aceptables; por lo tanto, es fundamental monitorear regularmente estos parámetros y ajustar las condiciones del agua según sea necesario para garantizar un ambiente acuático saludable para la vida acuática en la acuicultura (González *et al.*, 2022).

2.2.8. Reproducción y Madurez reproductiva de *Trichomycterus punctulatus*

La actividad reproductiva de las poblaciones de recursos pesqueros es esencial para su supervivencia y crecimiento, puesto que permite que las especies produzcan descendencia, asegurando la continuidad de la población, por lo tanto sin reproducción, una población no podría reemplazar a los individuos que mueren, lo que eventualmente llevaría a su extinción, asimismo, la capacidad reproductiva resulta crucial para mantener una población estable de

individuos, lo cual es esencial para garantizar la supervivencia de la especie a largo plazo y de esta forma asegurar que existan suficientes individuos para la reproducción, también se preserva la salud general de la población, lo que, a su vez, favorece la estabilidad y sostenibilidad del ecosistema acuático (Chen *et al.*, 2022).

El aparato reproductor de los peces es diverso y adaptado a su entorno acuático, los machos y las hembras suelen tener órganos reproductores internos y externos que les permiten liberar sus gametos en el agua durante la reproducción, donde los machos producen espermatozoides en los testículos, que luego son liberados al agua a través de los conductos espermáticos y las hembras producen huevos en los ovarios, que pueden ser liberados al agua a través de un conducto llamado oviducto (Beirão, *et al.*, 2019).

La liberación de gametos en el agua es crucial para la fecundación externa, un proceso común en la reproducción de peces, los espermatozoides se encuentran con los huevos en el agua, donde se produce la fertilización, este método es eficaz para los peces, ya que les permite reproducirse en gran cantidad y dispersar sus descendientes en un área más amplia, lo que aumenta sus posibilidades de supervivencia, por lo que el éxito está determinado por varios aspectos del entorno y del cuerpo de los peces, como la temperatura del agua, la cantidad de alimento disponible y la salud general (Rodríguez, *et al.*, 2020).

La madurez sexual en los peces se refiere al estado en el que sus órganos reproductivos, los ovarios y testículos, han alcanzado un grado de desarrollo que les permite producir y liberar gametos, es decir, óvulos y espermatozoides y se caracteriza por cambios morfológicos en las gónadas que son visibles a simple vista (Anahua, 2017). La madurez sexual suele evaluarse observando el tamaño, color y forma de las gónadas y en el caso específico de el “life”, se han establecido cinco fases de madurez gonadal que se pueden identificar macroscópicamente (Espino, *et al.*, 2008).

Tabla 2. .*Maduración Gonadal a Escala Macroscópica de “Trichomycterus punctulatus”*

FASES	DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA
I (Virgen)	Los ovarios y testículos son transparentes, llegan a ocupar la cuarta parte de la cavidad abdominal. Los ovarios presentan forma cilíndrica y el testículo es de forma deprimida.
II (En desarrollo o maduración)	Los ovarios y el testículo llegan a ocupar la mitad de la cavidad corporal. No se observan óvulos a simple vista.
III (Maduro)	Los ovarios y el testículo ocupan las dos terceras partes de la cavidad abdominal, los ovarios son de color verde petróleo, en donde se pueden observar oocitos opacos. En cambio, el testículo es de color blanco.
IV (Grávido)	Los ovarios y el testículo ocupan más de la mitad de la cavidad abdominal. El ovario llega a tener un color verde brillante, en donde se puede observar oocitos translúcidos, el testículo es de color blanco cremoso.
V (Desovado)	Los ovarios y el testículo están contraídos.

Nota. Tomado de (Espino, *et al.*, 2008)

CAPÍTULO III

DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

3.1. Diseño de investigación

El estudio siguió un enfoque cuantitativo, tipo básico, asimismo se utilizará un diseño experimental de nivel explicativo.

3.2. Diseño metodológico

3.2.1. Población, muestra, unidad de análisis

- **Población:** En este caso, estuvo conformado por todos los ejemplares de *Trichomycterus punctulatus* recolectados del oasis ubicado en Salitre dentro de la cuenca del Jequetepeque, Cajamarca y correspondiente a 110 peces.
- **Muestra:** Estuvo compuesta por los ejemplares de *Trichomycterus punctulatus* que fueron empleados en el estudio y seleccionados como posibles reproductores, en base a su peso y talla, sumando un total de ocho peces, esta elección se realizó de manera predecible, mediante un muestreo probabilístico.
- **Unidad de análisis:** Corresponidió a cada individuo de *Trichomycterus punctulatus* que fue utilizado en la prueba experimental y seleccionado como posible reproductor.

3.3. Procedimientos

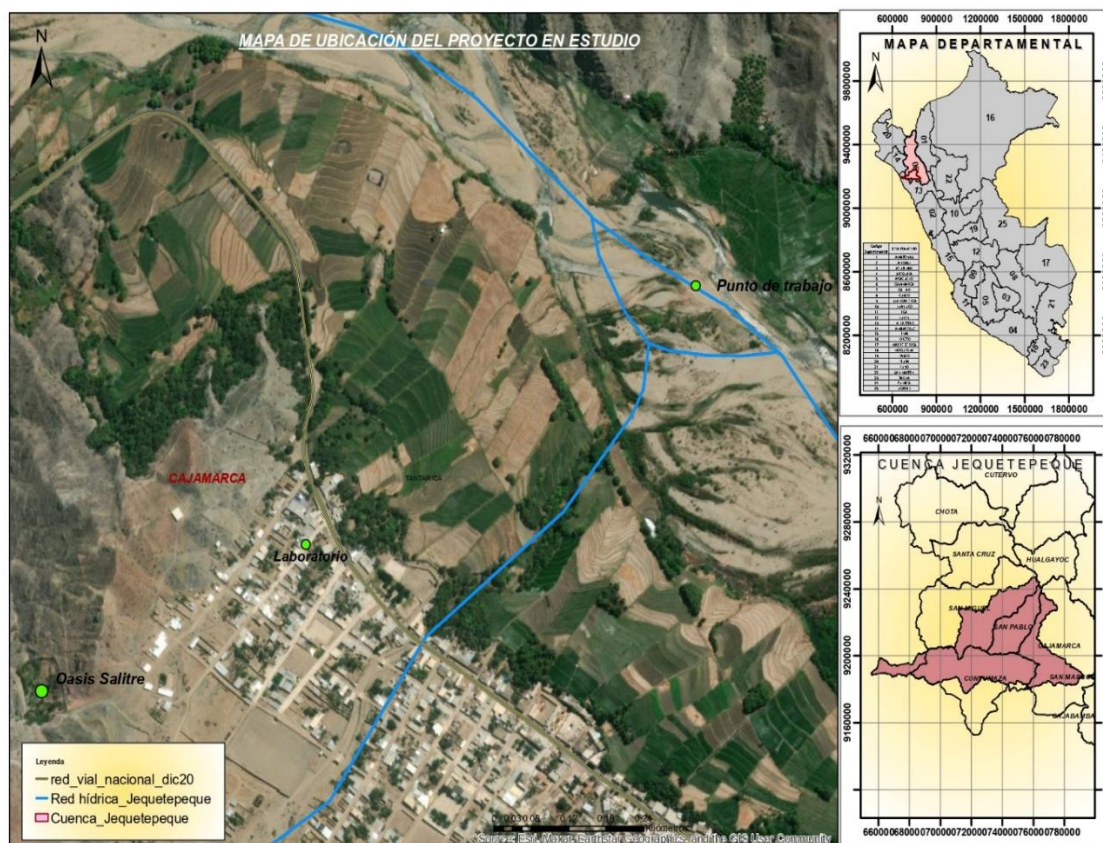
a. Selección de puntos de muestreo

Para llevar a cabo el muestreo de los peces, se estableció un punto de muestreo estratégico en el oasis ubicado en Salitre. Este punto fue seleccionado de manera aleatoria, asegurando una representación adecuada de las diferentes áreas del hábitat acuático. Asimismo, fue identificado con coordenadas geográficas precisas y marcado en un mapa del área de estudio, como se observa en la Figura 2. De esta manera, el equipo de investigación se desplazó

al punto identificado, donde realizó las actividades de recolección de datos conforme al protocolo establecido.

Figura 2.

*Punto de Muestreo en el Oasis de Salitre para *Trichomycterus punctulatus**



Nota. La Figura 2 muestra el punto de muestreo en el oasis de Salitre para *Trichomycterus punctulatus*, seleccionado aleatoriamente para garantizar una representación equitativa del hábitat acuático.

Una vez en el punto de trabajo, se realizó la captura de peces utilizando una malla recolectora. Posteriormente, los ejemplares capturados fueron trasladados cuidadosamente en recipientes adecuados, con suministro de oxígeno y las condiciones necesarias para su transporte al laboratorio, donde se procedió a aclimatar a los peces durante un período de tres días antes de llevar a cabo la selección de los ejemplares reproductores.

b. Selección de reproductores

Se seleccionaron potenciales ejemplares reproductores de *Trichomycterus punctulatus* del oasis ubicado en Salitre para el análisis, escogiendo tanto machos como hembras en función de su tamaño, peso y estadio de desarrollo. Se realizó una observación detallada de las características externas de los peces, y cada ejemplar fue medido con un ictiómetro y pesado con una balanza de precisión. Todos estos datos fueron registrados en una hoja de datos. Los peces seleccionados fueron almacenados por separado en un balde grande de 10 litros, según su sexo (hembra o macho).

c. Inducción de la madurez sexual

Los reproductores seleccionados fueron tratados con gonadotropina, administrada en dosis de 0.1 a 0.3 mg/L cada 12 horas. La madurez sexual se determinó mediante la observación de ovas de color verde encendido en las hembras y esperma lechoso en los machos. Se registró el momento exacto en que se alcanzó el pico máximo de madurez para realizar la fertilización *in vitro*. Para ello, se extrajeron las ovas de las hembras y se colocaron en una luna de reloj, donde se agregaron los espermatozoides de los machos. Posteriormente, la muestra fue hidratada con agua destilada en una proporción de 1/3 y se dejó reposar durante cinco minutos, tras lo cual se observó al microscopio para registrar el inicio del proceso de fertilización.

d. Diseño de incubadoras

Se diseñaron incubadoras artesanales adaptadas a las necesidades específicas de *Trichomycterus punctulatus*, considerando factores como la temperatura, el oxígeno y la luz necesarios para el proceso de incubación de los huevos y el crecimiento inicial de los peces jóvenes (alevines). Una vez diseñadas, las incubadoras fueron implementadas en el laboratorio y se ajustaron las condiciones según los requerimientos de la especie.

- **Materiales utilizados**

Para el desarrollo del sistema de incubación, se utilizaron materiales de bajo costo y fácil acceso, los cuales permitieron ensamblar de forma práctica el sistema, de esta forma los insumos empleados fueron:

- Botella plástica vacía de 3 litros (1 como base del filtro)
- Manguera fina de pecera (6 metros para conducir el agua)
- Una incubadora de vidrio (contenedor de ovas)
- Arena (200 gramos para el filtro)
- carbón activado (50 a 80 gramos para el filtro)

- **Elaboración del filtro artesanal**

Como parte de la elaboración de la incubadora, en primer lugar, se construyó un filtro artesanal de aguas, sistema que tenía como finalidad filtrar los sedimentos e impurezas. Estando constituido por arena fina de río y carbón activado, y basándose en el principio físico de hacer pasar el agua a través de diferentes capas de materiales para así atrapar o adsorber los contaminantes. De esta forma, estos materiales conocidos por su eficiencia en la retención de partículas y compuestos orgánicos cumplían esta función a medida que el agua circulaba por las distintas capas, tal como se observa en la Figura 3.

Figura 3

*Filtro artesanal empleado en el sistema de incubación de ovas de *Trichomycterus punctulatus*.*



- **Construcción y armado del sistema de incubación**

Luego de que se terminó la instalación del sistema de filtrado, se empezó la construcción y armado del sistema completo de lo que sería la incubadora, verificándose que el agua fluyera desde el tanque perimetral hacia el recipiente de incubación, donde se ubicaron cuidadosamente las ovas ya fertilizadas. Tal como se muestra en la Figura 4, esta incubadora fue cuidadosamente ubicada a un desnivel, permitiendo así aprovechar la gravedad como mecanismo natural para generar un flujo constante de agua, condición necesaria para mantener niveles óptimos de oxigenación y también evitar que los desechos se acumulen y den origen a la presencia de agentes patógenos que pudieran afectar el proceso de incubación. adicionalmente, se verificó que no existieran fugas en las conexiones entre el tanque perimetral, las tuberías y el recipiente de incubación.

Figura 4.

Sistema artesanal de incubación instalado con flujo por gravedad.



Cabe señalar que no se empleó bomba de aire para el funcionamiento de la incubadora, esto dado que, al generar un movimiento excesivo, podría haber ocasionado el rompimiento de los huevos dentro del recipiente de incubación, debido a su fragilidad. Esto con el fin de proporcionar un ambiente lo más estable posible para el desarrollo embrionario, se aseguró una circulación suave y constante del agua solo a través del uso de la gravedad.

e. Parámetros Fisicoquímicos

Se establecieron y monitorearon los valores de las características físicas y químicas del agua (temperatura, pH, oxígeno disuelto, amonio y nitritos) dentro de las incubadoras, debido a la ausencia de información previa específica sobre estos parámetros para *Trichomycterus punctulatus* se realizaron mediciones sistemáticas y experimentales para determinar los rangos óptimos necesarios para la especie.

Después de la fertilización *in vitro*, los huevos fueron colocados en las incubadoras para permitir su desarrollo. Asimismo, la cantidad de alimento se mantuvo estrictamente constante,

ya que cualquier variación en esta variable podría generar un aumento de amonio en el agua, afectando el desarrollo adecuado de las ovas. Posteriormente, los parámetros fisicoquímicos se midieron diariamente para asegurar que se mantuvieran dentro de los niveles óptimos establecidos y se registraron todos los eventos significativos durante el proceso de incubación.

f. Evaluación del éxito de incubación de ovas

Durante el proceso de incubación de ovas, se registraron los siguientes indicadores, evaluando en primer lugar la eclosión de huevos mediante el cálculo de la tasa de eclosión y de mortalidad observadas.

En el caso de la tasa de eclosión (E) se refiere porcentaje de ovas que eclosionan con éxito durante el proceso de incubación y se determinó utilizando la siguiente fórmula (Huayhua, 2022):

$$E(\%) = \frac{Noe}{Nte} \times 100$$

Donde:

N_{oe} : cantidad de ovas que han completado el proceso de incubación y han eclosionado exitosamente.

N_{te} : cantidad total de ovas embrionadas, es decir, aquellas que han comenzado su desarrollo embrionario después de la fertilización.

El porcentaje de mortalidad (M) corresponde al porcentaje de ovas que no sobreviven hasta la eclosión. Para calcularlo, se sumaron todas las mortalidades, incluyendo ovas sin eclosionar, eclosiones distócicas y larvas muertas hasta finalizar la investigación, este cálculo se realizó utilizando la siguiente fórmula (García, 2012):

$$M(\%) = \frac{Non + Lm}{Nto} \times 100$$

Donde:

N_{on} : cantidad de ovas que no han eclosionado durante el periodo de incubación.

L_m : larvas que murieron en cualquier fase posterior a la eclosión hasta la reabsorción del saco vitelino.

N_{to} : cantidad total de ovas embrionadas que fueron colocadas en el medio de incubación al inicio del experimento

Por otro lado, se evaluó el tiempo en días necesario para la eclosión (T_e), que se refiere al intervalo desde la fertilización de las ovas hasta el momento en que se observa la primera eclosión. Esta métrica brinda información crucial sobre la rapidez con la que se produce la eclosión de las ovas, pudiendo influir en el éxito general del cultivo, en base a esto se establece la siguiente fórmula:

$$Te(días) = Fe - Fp$$

Donde:

Fe : fecha en que las larvas eclosionan

Fp : fecha en que se colocaron los huevos en el medio de cultivo(fertilización)

También, se evaluó la viabilidad de las ovas, que se refiere al porcentaje de ovas que se desarrollan de manera saludable y alcanzan el estado de alevinos viables. Esta métrica brinda información crucial sobre la efectividad del proceso de incubación y la calidad de las condiciones ambientales, pudiendo influir en el éxito reproductivo de la especie, estableciendo como su fórmula (Chereguini, 2007; Castillo, 2013):

$$V(\%) = \frac{Nov}{Nto} \times 100$$

Donde:

N_{ov} : cantidad de ovas que se desarrollan adecuadamente y resultan en alevinos viables.

N_{to} : cantidad total de ovas embrionadas que fueron colocadas en el medio de incubación al inicio del experimento.

Finalmente, se evaluó el porcentaje de anomalías o malformaciones(MA), que se refiere a la proporción de ovas que presentan deformidades o malformaciones visibles durante el proceso de incubación. Este indicador brindo información crucial sobre la calidad de las condiciones de incubación y la salud general de los embriones y para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula (García, 2012):

$$MA(\%) = \frac{Noa}{Nte} \times 100$$

Donde:

N_{oa}: cantidad de ovas con anomalías (deformidades o malformaciones visibles) después de la eclosión, al final del periodo de observación.

N_{te}: cantidad total de ovas eclosionadas con éxito

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se empleó como técnica la “observación directa” junto con una ficha de recolección que permitió registrar de manera organizada y detallada los eventos durante el ciclo reproductivo de *Trichomycterus punctulatus* facilitando así la captura de información relevante

3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Luego de recolectar los datos, estos fueron registrados en una hoja de cálculo utilizando el programa Microsoft Excel, y posteriormente procesados y analizados con el software SPSS v16 mediante la prueba ANOVA, considerando un nivel de confianza del 95% y un criterio de significancia establecido en un p-valor inferior a 0.05.

Finalmente, para mostrar los hallazgos, se emplearon figuras y tablas que permitieron una interpretación más clara y concisa

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

Los parámetros fisicoquímicos óptimos del agua para el éxito del proceso de incubación de ovas, tendientes a la reproducción de *Trichomycterus punctulatus* bajo condiciones de laboratorio no tienen un efecto significativo en el éxito del proceso de incubación de ovas de *Trichomycterus punctulatus* en condiciones de laboratorio.

Tabla 3.

Estadísticas descriptivas de los parámetros fisicoquímicos del agua durante el proceso de incubación de ovas

	Media	Desv. estándar	n
Tasa de eclosión (%)	28,0000%	17,88854%	5
Temperatura (°C)	23,80	0,837	5
pH	8,3480	0,04087	5
Oxígeno Disuelto (mg/L)	4,0980	0,02588	5
Nitritos (mg/L)	0,080	0,4868	5
Viabilidad	0	0	5
Mortalidad	84	0,1673	5
Tiempo de eclosión	3 días	1,5811	5

Nota. Obtenido de instrumentos

Durante el proceso de incubación de las ovas se observó una tasa de eclosión del 28%, con alta desviación estándar (17,88%), lo que indica la variabilidad entre los ensayos, además, la temperatura promedio fue de 23,8°C ($\pm 0,837$), el pH medio de 8,35 y el oxígeno disuelto de 4,09 mg/L ($\pm 0,02588$); los nitritos tuvieron concentración media de 0,08 mg/L ($\pm 0,4868$), la viabilidad en todos los casos fue de 0 indicando que ninguna ova fue considerada viable de acuerdo a los criterios definidos, no obstante la mortalidad se reportó valor medio de 84 con desviación de $\pm 0,1673$, el tiempo de eclosión fue de 3 días con desviación estándar de $\pm 1,58$

días. Es decir que, estos valores indican condiciones levemente alcalinas y con presencia considerable de nitritos, lo cual puede afectar negativamente al éxito de la incubación.

Tabla 4.

Modelo de regresión lineal

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F
1	1,000 ^a	1,000	.	.	1,000	.	4	0	.

a. Predictores: (Constante), Nitritos (mg/L), pH, Oxígeno Disuelto (mg/L), Temperatura (°C)

a. Variable dependiente: Tasa de eclosión (%)

Nota. Obtenido de instrumentos

De acuerdo al modelo de regresión lineal, se obtuvo un $R = 1.00$, es decir que existe una correlación perfecta entre los parámetros fisicoquímicos y la tasa de eclosión; no obstante, el modelo carece de R cuadrado ajustado y error estándar, y no se reporta un valor de significancia para la F, lo que sugiere problemas en el modelo estadístico por el pequeño de los óvulos fecundados ($n=5$).

Tabla 5.

ANOVA

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1280,000	4	320,000	.	. ^b
	Residuo	0,000	0	.		
	Total	1280,000	4			

a. Variable dependiente: Tasa de eclosión (%)

b. Predictores: (Constante), Nitritos (mg/L), pH, Oxígeno Disuelto (mg/L), Temperatura (°C)

Nota. Obtenido de instrumentos

La suma de cuadrados del residuo es 0,000 con $gl=0$, motivo por el cual no fue posible calcular el valor significativo de F.

Tabla 6.*Coeficientes del modelo de regresión lineal*

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95.0% intervalo de confianza para B	
	B	Desv. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
(Constante)	6247,129	0,000		.	.	-6247,129	-6247,129
1 Temperatura (°C)	-19,010	0,000	-0,889	.	.	-19,010	-19,010
pH	475,248	0,000	1,086	.	.	475,248	475,248
Oxígeno Disuelto (mg/L)	693,069	0,000	1,003	.	.	693,069	693,069
Nitritos (mg/L)	-9,901	0,000	-0,269	.	.	-9,901	-9,901

a. Variable dependiente: Tasa de eclosión (%)

Nota. Obtenido de instrumentos

La temperatura mantiene el coeficiente negativo (-19,01), lo que sugiere que un aumento en la temperatura podría disminuir aún más la tasa de eclosión, por otra parte, el pH y el oxígeno disuelto, muestran coeficientes positivos (475,25 y 693,07, respectivamente), indicando que niveles más altos podrían favorecer la eclosión. Respecto a los nitritos, el coeficiente negativo (-9.90) indican un efecto perjudicial sobre la tasa de eclosión.

De esta manera, se acepta la H_0 , es decir que, los parámetros fisicoquímicos del agua no tienen un efecto significativo en el éxito del proceso de incubación de ovas de *Trichomycterus punctulatus* en condiciones de laboratorio.

Tabla 7.

Estado de madurez sexual, cronológicamente, de los reproductores de Trichomycterus punctulatus mediante análisis morfológicos y biológicos

			Estadio de desarrollo				Total		
			IV		V				
			n	%	n	%	n	%	
Análisis morfológico	Longitud	10,5 a 13 cm	1	12,5%	3	37,5%	4	50,0%	
		13,1 a 16 cm	0	0,0%	4	50,0%	4	50,0%	
		Total	1	12,5%	7	87,5%	8	100,0%	
	Mediana=12,5; Desv. Estándar=2,202								
	Peso	7 a 17 g	1	12,5%	3	37,5%	4	50,0%	
		18 a 28 g	0	0,0%	4	50,0%	4	50,0%	
		Total	1	12,5%	7	87,5%	8	100,0%	
	Mediana=14,0; Desv. Estándar=8,588								
	Análisis biológico	Sexo	Hembra	0	0,0%	4	50,0%	4	50,0%
			Macho	1	12,5%	3	37,5%	4	50,0%
		Total	1	12,5%	7	87,5%	8	100,0%	

Nota. Obtenido de instrumentos

Respecto al análisis morfológico, el 50% de los peces tuvieron longitud de 13,1 a 16 cm y estaba en el estadio de madurez sexual V, además, la longitud media fue de 12,5 con desv.estándar de 2,202. En cuanto al peso, el 50% de los peces en estadio V tenían entre 18 a 28 g, cuyo valor medio fue de 14 con desv.estándar de 8,588; finalmente se registró que del 87,5% de los peces de estadio V, el 50% eran hembras y el 37,5% machos.

Tabla 8.

*Valores óptimos de temperatura, pH, oxígeno disuelto nitritos y notas adicionales (conductividad y presión atmosférica) en el agua en condiciones de laboratorio para la reproducción de *Trichomycterus punctulatus**

		n	%	Media	Des. Estándar
Temperatura (°C)	26°C	8	100,0%		
	pH	8	100,0%	7,4	0,000
	Oxígeno Disuelto (mg/L)	8	100,0%	3,93	0,000
	Nitritos (mg/L)	8	100,0%	0,6	0,000
Notas Adicionales	Conductividad: 565 Presión atmosférica: 548.3	8	100,0%		

Nota. Obtenido de instrumentos

En cuanto a los valores óptimos identificados, la temperatura fue de 26°C, el pH de 7,4, el oxígeno disuelto es de 3,93 mg/L los nitritos de 0,6 mg/L, finalmente la conductividad 565 μ S/cm y presión atmosférica de 548,3 mmHg.

4.2. Discusión

El proceso de incubación artificial de peces en condiciones controladas implica el manejo cuidadoso de parámetros fisicoquímicos del agua, dado que inciden sobre el desarrollo embrionario, la tasa de eclosión y la viabilidad de las ovas, por tanto, comprender cómo estas variables se vinculan es crucial para perfeccionar los protocolos de reproducción en especies nativas de interés, como lo es *T. punctulatus*.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo principal evaluar los parámetros fisicoquímicos del agua durante la incubación de ovas de *T. punctulatus* en condiciones de laboratorio, con el fin de analizar su posible influencia sobre la tasa de eclosión. En ese sentido, a continuación se discuten los hallazgos obtenidos, en función de los objetivos específicos y en contraste con estudios previos. En primer lugar, se evidenció una tasa promedio de eclosión del 28,00 %, con una desviación estándar de 17,89 %, reflejando una alta

variabilidad entre los ensayos. Esto sugiere que, pese a que se mantuvieron condiciones fisicoquímicas relativamente estables, el éxito del proceso de incubación no fue consistente. Del mismo modo, no se observó viabilidad embrionaria y se registró una mortalidad promedio de 84 unidades, con una desviación estándar de 0,17, reforzando la limitada efectividad del proceso bajo las condiciones experimentales empleadas. Por otro lado, las ovas tardaron 3 días en eclosionar; no obstante, la desviación estándar de 1,58 días señala que no todas eclosionaron al mismo tiempo, es decir, hubo variaciones importantes, con algunas ovas eclosionando antes o después del tercer día. Lo cual indica que no hubo un patrón uniforme, evidenciando así limitaciones en el control experimental o en la estabilidad de las condiciones del entorno.

Respecto a los parámetros del agua, se registró una temperatura promedio de 23,8 °C, reflejando que, aunque los valores estaban dentro de un rango moderado para la incubación de peces de agua dulce tropical, incluso ligeras desviaciones de este parámetro en el entorno acuático podrían ralentizar el desarrollo embrionario o alterar el metabolismo, afectando la viabilidad de las ovas. En cuanto al pH, su promedio fue de 8,35, siendo así ligeramente alcalino. En el caso del oxígeno disuelto, fue de 4,10 mg/L, valor inferior a 5 mg/L, lo que podría haber generado condiciones de estrés hipóxico, limitando la respiración celular y aumentando la mortalidad embrionaria, ya que los embriones en desarrollo requieren un suministro constante de oxígeno para sus procesos metabólicos. En tanto, en el caso de los nitritos fue de 0,08 mg/L, siendo un nivel considerable, lo cual podría haber tenido efectos adversos adicionales sobre las ovas, ya que su toxicidad está documentada en etapas sensibles del desarrollo como la embriogénesis.

El análisis de varianza arrojó un coeficiente de correlación $R = 1.000$, evidenciando una correlación perfecta: cuando una variable aumenta o disminuye, la otra lo hace de forma proporcional. En este caso, dicha correlación se presentó entre los parámetros fisicoquímicos del agua y la tasa de eclosión. Considerando lo anterior, el análisis de regresión lineal permitió

evidenciar cómo dichos parámetros presentaron asociaciones tanto positivas como negativas con la tasa de eclosión. En primer lugar, la temperatura tuvo un coeficiente negativo sugiriendo que un aumento en este parámetro podría estar asociado con una menor tasa de eclosión. Lo cual podría indicar que temperaturas más elevadas, bajo las condiciones específicas de laboratorio, no resultaron favorables para el desarrollo embrionario. De forma similar, los nitritos también presentaron un coeficiente negativo, vinculándose con la literatura que documenta su efecto nocivo incluso en concentraciones bajas. Por el contrario, tanto el pH como el oxígeno disuelto mostraron coeficientes positivos, sugiriendo que niveles ligeramente superiores podrían estar relacionados con una mayor tasa de eclosión. Lo cual se asocia con estudios que destacan la sensibilidad de los embriones de peces a una adecuada oxigenación y al equilibrio ácido-base del agua durante la incubación. A pesar de las asociaciones observadas, el modelo estadístico no alcanzó significancia, debido al tamaño reducido de la muestra, impidiendo calcular el valor F y los grados de libertad, lo que a su vez impidió obtener un valor de significancia estadística (p). En consecuencia, no fue posible validar la fiabilidad del modelo desde un punto de vista estadístico, por lo que se aceptó la hipótesis nula (H_0), es decir, que los parámetros fisicoquímicos no tuvieron un efecto significativo sobre la tasa de eclosión.

Estos hallazgos no necesariamente contradicen estudios anteriores, sino que más bien los complementan. Tal es el caso de Huaccha (2023), quien reportó una correlación entre el pH y la temperatura con el desarrollo gonadal de *T. punctulatus* en condiciones de campo, donde existe mayor variabilidad ambiental. En contraste, en las condiciones controladas del presente estudio, dicha variabilidad fue limitada, lo que podría explicar la ausencia de efectos significativos. De manera similar, Yanarico *et al.* (2022) y Mamani *et al.* (2023) señalan que, aunque los parámetros fisicoquímicos son importantes, el éxito reproductivo depende de múltiples factores, incluyendo la calidad genética de los reproductores, el manejo adecuado de las ovas y el control microbiológico del entorno. En ese sentido, el hecho de que los parámetros

del agua se hayan mantenido dentro de rangos generalmente aceptados como adecuados, pero no se haya logrado una incubación exitosa, sugiere que otros factores no evaluados en esta investigación podrían haber influido. Subrayando la importancia de adoptar un enfoque multivariable en futuros estudios sobre reproducción artificial de este pez, considerando tanto condiciones ambientales como aspectos biológicos y técnicos del proceso de incubación.

Por otro lado, correspondiente al primer objetivo específico, se halló que el 87,5% de los ejemplares evaluados se encontraban en el estadio de madurez sexual V, mientras que solo el 12,5% pertenecía al estadio IV. Siendo coherente tanto en los análisis morfológicos de longitud y peso como en los biológicos de sexo, mostrando una prevalencia clara de individuos con un estado de madurez sexual avanzado. Evidenciando de esta forma, una población reproductivamente activa, es decir, que los reproductores utilizados presentaron un desarrollo gonadal adecuado para la etapa de desove, lo que podría haber sido consecuencia del momento y lugar de captura, que habrían coincidido con un periodo reproductivo activo de la especie. Cabe señalar que, si bien se halló una tendencia clara hacia el estadio V de madurez, es importante considerar que el tamaño de muestra fue limitado, lo que afecta la representatividad de los datos para la población global del río Jequetepeque. En ese sentido, la obtención de un número mayor de ejemplares, con registros estacionales más amplios, podría haber hecho posible la detección de patrones más definidos sobre la dinámica reproductiva de esta especie.

Respecto a la longitud total, se hallaron valores entre 10,5 cm y 16 cm, con un promedio de 12,5 cm, siendo concordantes con lo encontrado por Anahua (2017), quien reportó que la talla de primera madurez sexual en *T. dispar* fue de 10,8 cm en machos y 12,0 cm en hembras. Asimismo, señaló que esta especie presenta dos épocas reproductivas al año, mostrando madurez gonadal a lo largo de amplios periodos, lo que podría explicar por qué, incluso con un número reducido de ejemplares, se hallaron peces en estado de máxima madurez. En este sentido, la madurez sostenida en el tiempo podría interpretarse como un mecanismo adaptativo

ante la variabilidad del entorno, tal como lo sugieren Mamani *et al.* (2023) y Yanarico *et al.* (2022), quienes remarcan la importancia de condiciones ambientales estables para el crecimiento y la supervivencia de larvas y juveniles de *T. rivulatus*. Esta similitud con especies del mismo género sugiere que podrían compartir parámetros morfométricos análogos para alcanzar la madurez; no obstante, esta no puede generalizarse debido a la influencia de diferencias genéticas y ecológicas propias de cada especie y hábitat.

En relación al peso corporal, se evidenció que los individuos se agruparon en dos rangos de peso claramente diferenciados: uno que osciló entre 7 y 17 g, y otro de 18 a 28 g, siendo este último el que albergó exclusivamente individuos en estadio V, indicando que el incremento de peso corporal podría estar asociado con el desarrollo gonadal avanzado. Lo cual resulta coherente con los planteamientos de Huacha (2023), quien identificó ejemplares maduros de *T. punctulatus* en el valle del Jequetepeque y también halló una correlación significativa entre el peso de las gónadas y ciertos parámetros fisicoquímicos del agua. En nuestro caso, si bien no se midieron directamente estos parámetros durante la recolección de los reproductores, es posible que condiciones similares hayan contribuido al desarrollo sexual evidenciado.

Correspondiente al análisis biológico, la distribución por sexo fue equitativa: tanto machos como hembras estuvieron representados en el estadio V en un 50%, reflejando una proporción 1:1, es decir, por cada macho hubo una hembra y una correspondencia en los tiempos del ciclo reproductivo. Esto es similar a lo obtenido por Trujillo y Alzate (2023), quienes encontraron una proporción sexual de un macho por cada 1,5 hembras en *T. nigromaculatus*, con actividad reproductiva marcada durante las épocas de lluvia. No obstante, aunque en este estudio no se precisó la época de captura, la predominancia del estadio V sugiere que los peces recolectados probablemente fueron recolectados justo antes o durante un periodo de reproducción intensa, situación común en hábitats naturales, donde las variables climáticas influyen directamente en los ciclos reproductivos.

Respecto al segundo objetivo específico, se identificó una temperatura de 26 °C como valor óptimo en el ambiente controlado donde se mantuvieron los reproductores, antes de la incubación de sus ovas. Coincidiendo con lo reportado por Chambilla *et al.* (2024), quienes señalan que temperaturas entre 25 °C y 27 °C favorecen los procesos reproductivos en especies del género *Trichomycterus*. Del mismo modo, Huacha (2023) informó una media térmica de 25,4 °C en ejemplares del valle del Jequetepeque, asociada a una mayor madurez sexual. A ello se suma lo señalado por Small y Bates (2001), quienes determinaron que rangos entre 21 °C y 26 °C son óptimos para el desarrollo larval de *Ictalurus punctatus*, sugiriendo que el valor de 26 °C observado puede considerarse favorable para las etapas iniciales de reproducción en peces de agua dulce.

En cuanto al pH, se observó un valor uniforme de 7,4 en todas las mediciones realizadas en los estanques de los reproductores, característico de un medio ligeramente alcalino, condición que coincide con lo reportado por Mamani *et al.* (2023), con rangos entre 7,0 y 7,5 señalados como adecuados para la reproducción de *T. rivulatus*. Asimismo, Marimuthu *et al.* (2019) encontraron que un pH entre 6,7 y 7,6 maximiza la reproducción, eclosión y supervivencia larval en *Clarias gariepinus*. Por ende, se considera que el pH mantenido en esta fase es fisiológicamente adecuado para los reproductores. No obstante, Aguilar (2023) reportó rangos más amplios de pH (6,72–8,54) en ambientes naturales de *Trichomycterus* spp., sugiriendo cierto grado de tolerancia ecológica en este género, aunque con preferencia por valores cercanos a la neutralidad.

Respecto al oxígeno disuelto, se registró un valor de 3,93 mg/L, y aunque este nivel permitió mantener a los reproductores sin signos evidentes de estrés, esta por debajo del rango óptimo reportado para peces de agua dulce en procesos reproductivos, usualmente mayor a 5 mg/L. Respaldándose en estudios de Yanarico *et al.* (2022) y Mamani *et al.* (2023) quienes señalan que los peces requieren entre 5 y 6 mg/L para crecer y reproducirse adecuadamente,

mientras que valores entre 3 y 5 mg/L ya son considerados potencialmente estresantes. En el caso de *T. rivulatus*, Mamani *et al.* (2023) reportaron niveles de oxígeno de 6,18 a 6,23 mg/L con un 100 % de supervivencia. En este sentido aunque no se observaron muertes ni alteraciones comportamentales inmediatas, este nivel de oxígeno podría haber afectado la calidad fisiológica y reproductiva de los gametos, comprometiendo desde el inicio la eficacia del proceso reproductivo.

Los nitritos, por su parte, presentaron una concentración de 0,6 mg/L, un valor elevado y considerado tóxico tanto para peces en desarrollo como para adultos reproductores expuestos por periodos prolongados. En acuicultura, se considera mantener los nitritos por debajo de 0,0125–0,50 mg/L. Además, se señala que la toxicidad del nitrito se agrava en condiciones de bajo oxígeno, como las observadas en este caso, ya que los nitritos interfieren con el transporte de oxígeno mediante la formación de metahemoglobina, compuesto incapaz de unir oxígeno (Small & Bates, 2001). Lo cual disminuye la oxigenación tisular, induce estrés fisiológico y altera la producción hormonal, impactando directamente la calidad gamética y la eficacia del proceso reproductivo. Fundamentándose en lo señalado por Anahua (2017) que refiere que concentraciones por encima de 0,3 mg/L pueden comprometer la supervivencia tanto en la adultez como a nivel embrionario en peces nativos andinos, indicando una alta sensibilidad en este grupo. Asimismo, Trujillo y Alzate (2023) afirman que niveles elevados de nitrito inducen estrés fisiológico, alteran la producción hormonal y deterioran la calidad de los gametos. Lo cual sugiere que el valor encontrado en este estudio podría haber afectado negativamente tanto el éxito del desove como la calidad de las ovas producidas.

Adicionalmente, se registró una conductividad de 565 $\mu\text{S}/\text{cm}$, reflejando una mineralización relativamente elevada del agua, siendo relevante ya que puede influir en la regulación osmótica y el balance iónico. Según Small y Bates (2001), una conductividad adecuada es importante para mantener condiciones fisiológicas estables en ambientes acuáticos

controlados. Así también, se registró una presión atmosférica de 548,3 mmHg, que si bien no fue manipulada, puede haber influido en la solubilidad del oxígeno, especialmente en un ambiente cerrado. En conjunto, se evidenció que los parámetros de temperatura y pH fueron compatibles con los valores óptimos reportados para procesos reproductivos en *Trichomycterus spp.* No obstante, los niveles de oxígeno disuelto y nitritos se encontraron fuera de los rangos recomendados, sugiriendo que, pese a que algunos parámetros ambientales resultaron adecuados, otros podrían haber limitado el rendimiento reproductivo de los ejemplares.

Por último, en relación con el tercer objetivo específico, se diseñó e implementó un sistema de incubación artesanal como alternativa funcional y de bajo costo para la incubación de ovas de *T. punctulatus* en condiciones controladas de laboratorio, que no se limitó a simular un entorno físico apropiado, sino que también buscó propiciar el desarrollo adecuado de los embriones, para poder constituirse como una opción replicable en contextos con recursos limitados, principalmente en comunidades altoandinas donde el acceso a tecnología especializada es escaso. Este diseño incluyó materiales fácilmente disponibles y consideró un filtro artesanal elaborado con arena y carbón activado, ya que cumple un rol clave en la remoción de impurezas y sedimentos que podrían afectar negativamente la viabilidad de las ovas, fundamentándose en lo señalado por González *et al.* (2022), que afirman que los sistemas de filtración contribuyen a la estabilización de los parámetros fisicoquímicos del agua, permitiendo reducir la acumulación de compuestos tóxicos como el amonio y los nitritos, que se generan por la descomposición de materia orgánica y la actividad metabólica de los organismos acuáticos, favoreciendo un entorno más estable para el desarrollo de los embriones.

Adicionalmente, el sistema operó mediante flujo por gravedad, evitando el uso de bombas o aireadores como parte de una estrategia para disminuir el movimiento del agua y salvaguardar la integridad de los embriones, dado que, acorde con Small y Bates (2001), el uso de aireadores sin regulación puede crear flujos bruscos que provocan la ruptura de los huevos,

particularmente en especies con corion delgado. En concordancia, Zhou *et al.* (2022) destacan que una circulación constante y suave del agua puede ser suficiente para mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto, siempre que el flujo no sea interrumpido.

Además, la incubadora fue estratégicamente situada en una zona con inclinación natural, lo que hizo posible un flujo permanente de agua sin necesidad de bombeo, simulando en parte las condiciones de corriente moderada que definen el hábitat natural de esta especie, alineándose con lo señalado por López y Lora (2013), quienes sostienen que la circulación del agua favorece la disolución de oxígeno durante el desarrollo embrionario, asimismo permite evitar la acumulación de compuestos residuales, mejorando así la calidad del entorno acuático durante el proceso de incubación.

Cabe señalar que, a pesar de que el sistema artesanal demostró ser funcional bajo las condiciones planteadas en el laboratorio, su efectividad podría haberse visto afectada debido a la falta de control adecuado de la densidad de ovas, la calidad del agua de ingreso o la frecuencia de limpieza del filtro, ya que, como sugieren Trujillo y Alzate (2023), es necesario realizar monitoreos constantes y ajustes según las condiciones específicas del sistema. Igualmente, López y Lora (2013) recomiendan una supervisión continua para garantizar un entorno favorable y controlado.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se halló para *T. punctulatus* una tasa de eclosión promedio del 28 %, sin supervivencia larval y con una mortalidad del 84 %, en un tiempo estimado de eclosión de 3 días, con parámetros fisicoquímicos promedios de 23,8 °C de temperatura, pH 8,35, oxígeno disuelto de 4,09 mg/L y nitritos de 0,08 mg/L. Aunque se evidenció una correlación perfecta ($R = 1.000$) entre estos parámetros y la tasa de eclosión, el modelo estadístico no fue significativo, aceptando la hipótesis nula.
- El 87,5 % de los reproductores evaluados alcanzaron el estadio V de madurez gonadal, con una talla y peso promedio de 12,5 cm y 14 g respectivamente, asimismo una proporción sexual equilibrada de 1:1, evidenciando una adecuada preparación fisiológica de los ejemplares.
- Durante el acondicionamiento previo a la incubación, el ambiente controlado mostró como condiciones consideradas óptimas: una temperatura de 26 °C, pH 7,4, oxígeno disuelto de 3,93 mg/L y nitritos con un valor de 0,6 mg/L.
- Se diseñó una incubadora artesanal como alternativa funcional y de bajo costo, la cual permitió la recirculación y filtración básica del agua en condiciones controladas de laboratorio; sin embargo, es necesario mejorar la construcción del filtro, para obtener mejores resultados en los parámetros físico químicos del agua en condiciones controladas en laboratorio.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda aumentar el número de réplicas y el tamaño de la muestra, con el propósito de lograr la potencia estadística necesaria que permita confirmar el efecto de cada parámetro fisicoquímico en el éxito de la incubación de ovas.
- Se recomienda implantar un sistema de monitoreo continuo y automatizado, instalando sensores digitales de temperatura, pH, oxígeno disuelto y nitritos que registren datos en tiempo real, de manera que cualquier oscilación diaria o pico tóxico sea fácil de detectar. Además, deberán también monitorearse parámetros como el amonio y compuestos adicionales que puedan ser relevantes.
- Se recomienda regular la aireación mediante la prueba de bombas de bajo caudal con control de flujo, ya que permite tener concentraciones de oxígeno de al menos 5 mg/L sin generar corrientes que puedan dañar las ovas, asegurando un aporte constante de este elemento sin comprometer la integridad mecánica de los embriones.
- Se recomienda mejorar el filtrado añadiendo una segunda etapa de biofiltración, tales como lechos de zeolita o medios biológicos activos tras la arena y el carbón activado, para que los niveles de amonio y nitritos estén debajo de 0,5 mg/L y así permitir estabilizar la microbiota del agua y reducir la proliferación de compuestos tóxicos.
- Se recomienda efectuar ensayos de “prueba de estrés” con cambios deliberados y controlados de parámetros fisicoquímicos, para así delimitar los rangos de tolerancia de los embriones y ajustar los protocolos de incubación según estos márgenes, haciendo posible determinar valores límite y configurar acciones preventivas o correctivas ante cualquier alteración del sistema.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, S., 2023. *Diversidad de especies de bagre altoandino (Trichomycterus spp.) Utilizando marcadores moleculares en la provincia de Chachapoyas, Perú.*, s.l.: s.n.
- Anahua, I., 2017. *Evaluación de la talla de primera madurez sexual y ciclo reproductivo del "mauri" (Trichomycterus dispar, Tschudi, 1846) del lago Titicaca*, s.l.: s.n.
- Bardach, J. & Ryther, J., 1986. Acuicultura: crianza y cultivo de organismos marinos y de agua dulce.
- Beirão, J. y otros, 2019. Sperm handling in aquatic animals for artificial reproduction. *Theriogenology*, 133(1), pp. 161-178.
- Boza, A., 2019. Influencia de la Geomorfología y la Meteorización en la Humedad del suelo y recargas de agua en la cabecera de cuenca del río Jequetepeque. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 22(43), pp. 99-106.
- Cabrera, M. y otros, 2023. Effects of intensive agriculture and urbanization on water quality and pesticide risks in freshwater ecosystems of the Ecuadorian Amazon.. *Chemosphere*, 337(1), p. 139286.
- Castellanos, C. A. & Galvis, F.. Las especies del género *Trichomycterus* (Siluriformes: Trichomycteridae) en Colombia. *Boletín Científico Museo de Historia Natural*, 16(1), pp. 194-206.
- Castillo, E., 2013. *Evaluación de la viabilidad de embriones conservados de Cachama blanca (Piaractus brachypomus) obtenidos en diferentes horas post-fertilización.*, s.l.: Universidad del Magdalena.
- Castro, L. & Rodriguez, E., 2021. *Relación entre las prácticas de alimentación y su efecto sobre la calidad del agua en estanques de piscicultura*, s.l.: s.n.
- Chambilla, G., Flores, E. & Suaña, D., 2024. Evaluación de consentimiento de alimento balanceado sobre el crecimiento de la especie endémica *Trichomycterus dispar* (mauri) viable para la acuicultura. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 35(2), pp. e26008-e26008.
- Chen, X., Liu, B. & Lin, D., 2022. Sexual Maturation, Reproductive Habits, and Fecundity of Fish. *Biology of Fishery Resources*, 1(1), pp. 113-142.
- Chereguini, M., 2007. *Contribución a la gestión y conservación de gametos de rodaballo Scophthalmus maximus (Linneaus, 1758)*, s.l.: Centro Oceanográfico de Santander.
- Comizzoli, P. & Holt, W., 2019. Breakthroughs and new horizons in reproductive biology of rare and endangered animal species. *Biology of Reproduction*, 101(3), pp. 514-525.
- Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2020. CDB. [En línea] Available at: <https://www.cbd.int/convention/text/default.shtml>
- Cruz, R. y otros, 2020. Trends and environmental drivers of giant catfish catch in the lower Amazon River. *Marine and Freshwater Research*, 72(5), pp. 647-657.
- Espino, E., González, Á., Santana, H. & González, H., 2008. *Manual de Biología Pesquera*, s.l.: s.n.
- FishBase, 2024. [En línea] Available at: <https://fishbase.se/photos/ThumbnailsSummary.php?ID=48720>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. FAO. [En línea] Available at: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/c7faaaeb-3738-4931-88fd-98314589c027/content>

García, M., 2012. *Eclosión de ovas embrionadas nacionales e importadas y supervivencia de larvas de trucha arco iris en la Psicigranja Gruta Milagrosa Acopalca-Huancayo.*, Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Gerencia Regional de Desarrollo Productivo - Lambayeque, 2020. [En línea] Available at: <https://www.gob.pe/institucion/regionlambayeque-grdp/normas-legales/4203910-000013-2020-gr-lamb-grdp-dapa>

Gobierno Regional Cajamarca, 2021. [En línea] Available at: <https://www.gob.pe/institucion/regioncajamarca/noticias/550303-gobierno-regional-impulsa-200-proyectos-acuicolas-para-combatir-desnutricion-y-anemia-cronica>

González, E., Duque, G. & Ángel, D., 2022. Cambios ambientales en agua y sedimentos por acuicultura en jaulas flotantes en el Lago Guamuez, Nariño, Colombia. *Acta Agronómica*, 7(11), pp. 22-28.

Hasan, R., Prapti, D., Mostakim, G. & Chakraborty, T., 2021. System Requirement Specification of Mobile Apps for shrimp farming in Shyamnagar of Bangladesh. *American Journal of Agricultural Science, Engineering, and Technology*, 5(2), pp. 1-10.

Huaccha, M., 2023. Parámetros fisicoquímicos del agua de los estanques de Salitre, en la madurez sexual de *Trichomycterus punctulatus* (Valenciennes, 1846), life, en el Valle del Jequetepeque, Cajamarca, periodo 2020-2021. *Liderazgo en Educación e Innovación en Ingeniería en el Marco de las Transformaciones Globales: Integración y Alianzas para el Desarrollo Integral*(LACCEI) , 1(1).

Huayhua, R., 2022. *Eclosión de ovas embrionadas en dos tipos de incubadoras y supervivencia de larvas de Oncorhynchus mykiss "trucha". Tutumbaro-Huanta, 2021.*, Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Ibarra, E. & García, C., 2023. Ecología trófica y reproductiva del bagresito endémico *Trichomycterus nigromaculatus* (Siluriformes: Trichomycteridae) en el río Gaira, Colombia. *Intropica*, 86(99), pp. 2389-7864.

Ibearugbulam, H. y otros, 2021. A study on physicochemical parameters of fish pond effluents: A case study of Umudibia fish farm. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* , 106(1), p. 012005.

Islam, M., Kunzmann, A. & Slater, M., 2022. Responses of aquaculture fish to climate change-induced extreme temperatures: A review. *Journal of the World Aquaculture Society*, 53(2), pp. 314-366.

Lescano, I. y otros, 2021. Especies vegetales con potencial fitorremediador de los humedales de la cuenca baja del río Moche, La Libertad-Perú. *REBIOL*, 41(2), pp. 195-203.

López, J. & Lora, M., 2013. Crecimiento de *Trichomycterus punctulatus* "Life" en tres densidades poblacionales en un sistema de cultivo intensivo con recirculación. *Scientia Agropecuaria*, 4(3), pp. 243 - 249.

Mamani, J. y otros, 2023. Longitud total poslarvaria de *Trichomycterus rivulatus* Valenciennes, 1846 (suche) en condiciones controladas. *Paideia XXI*, 13(1), pp. 185-191.

Marimuthu, K., Palaniandya, H. & Muchlisin, Z., 2019. Effect of different water pH on hatching and survival rates of African catfish *Clarias gariepinus* (Pisces: Clariidae).. *Aceh Journal of Animal Science*, 4(2), pp. 80-88.

Ministerio de Agricultura y Riego, 2015. *Evaluación de Recursos Hídricos de la Cuenca del río Jequetepeque*, s.l.: s.n.

Ministerio del Ambiente, 2021. MINAM. [En línea]
Available at: <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/1778265-0004-2021-minam>

Miñope, C., 2021. Percepción de la problemática de la cuenca del río Jequetepeque. *Revista Xilema*, 31(1), pp. 57-74.

Montoya, P. & Noboa, A., 2020. Descripción morfométrica Trichomycteridae (Siluriformes) de las cuencas hidrográficas de la cordillera Chongón-Colonche, provincia de Santa Elena, Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 14(1), pp. 119-126.

Mora, C. & Runcio, M., 2009. El Life (*Trichomycterus* sp.) y su importancia en la Iconografía Mochica. *Archaeobios*, 3(1), pp. 55-87.

Nobile, A. y otros, 2022. Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), pp. 1495-1517.

Ochoa, L. y otros, 2020. Species delimitation reveals an underestimated diversity of Andean catfishes of the family Astroblepidae (Teleostei: Siluriformes).. *Neotropical Ichthyology*, 18(1), p. 200048.

OMS, 2022. Organización Mundial de la salud. [En línea]
Available at: <https://iris.who.int/handle/10665/352803>

Ortega, H., Hidalgo, M. & Correa, E., 2010. *Lista anotada de los peces de aguas continentales del Perú: estado actual del conocimiento, distribución, usos y aspectos de conservación*, s.l.: s.n.

Polte, P. y otros, 2021. Reduced reproductive success of western Baltic herring (*Clupea harengus*) as a response to warming winters. *Frontiers in Marine Science*, 8(1), p. 589242.

Rahman, A., Jahanara, I. & Jolly, Y., 2021. Assessment of physicochemical properties of water and their seasonal variation in an urban river in Bangladesh. *Water Science and Engineering*, 14(2), pp. 139-148.

Rodríguez, J. y otros, 2020. Maduración Gonadal en Híbridos de *Pseudoplatystoma metaense* x *Leiarius marmoratus* (Siluriformes: Pimelodidae). *Revista Internacional de Morfología*, 38(5), pp. 1405-1411.

Sifuentes, M., 2017. *Composición, distribución y ecología de la ictiofauna de la cuenca del río Cañete, Lima, Perú*, s.l.: s.n.

Small, B. & Bates, T., 2001. Effect of low-temperature incubation of channel catfish *Ictalurus punctatus* eggs on development, survival, and growth.. *Journal of the world aquaculture society*, 32(2), pp. 189-194..

Trujillo, E. & Alzate, C., 2023. Ecología trófica y reproductiva del bagresito endémico *Trichomycterus nigromaculatus* (Siluriformes: Trichomycteridae) en el río Gaira, Colombia. *Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 18(1), pp. 86-99.

Vera, A., Oyague, E., Castañeda, L. & Quinteros, Z., 2013. Hábitos alimentarios del bagre" vida" *Trichomycterus punctulatus* (Valenciennes, 1846)(Actinopterygii, Siluriformes) en el río Pisco, Perú. *Ecología aplicada*, 12(2), pp. 121-131.

Villanueva, R., 2022. *La salud de diez millones de peruanos está en riesgo por el envenenamiento del agua con sustancias tóxicas*. [En línea]
Available at: <https://news.un.org/es/story/2022/12/1517512>

Yanarico, D., Mamani, J., Suca, Q. & Argota, G., 2022. Primera alimentación pre-larvaria de *Trichomycterus rivulatus* valenciennes, 1846 (suche) en condiciones controladas. *Biotempo*, 19(1), pp. 81-87.

Zhou, X. y otros, 2022. Modelling and controlling dissolved oxygen in recirculating aquaculture systems based on mechanism analysis and an adaptive PID controller. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192(1), p. 106583.

APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Pregunta general - ¿Cómo afectan los parámetros fisicoquímicos del agua al éxito del proceso de incubación de ovas de <i>Trichomycterus punctulatus</i> en condiciones de laboratorio?	Objetivo general - Determinar los parámetros fisicoquímicos óptimos del agua para el éxito del proceso de incubación de ovas, tendientes a la reproducción de <i>Trichomycterus punctulatus</i> bajo condiciones de laboratorio Objetivos específicos - Determinar el estado de madurez sexual, cronológicamente, de los reproductores de <i>Trichomycterus punctulatus</i> mediante análisis morfológicos y biológicos. - Identificar los valores óptimos de temperatura, pH, oxígeno disuelto, amonio y nitritos en el agua en condiciones de laboratorio para la reproducción de <i>Trichomycterus punctulatus</i> . - Implementar incubadoras artesanales para la incubación de ovas de <i>Trichomycterus punctulatus</i> .	Hipótesis general - Los parámetros fisicoquímicos del agua tienen un efecto significativo en el éxito del proceso de incubación de ovas de <i>Trichomycterus punctulatus</i> en condiciones de laboratorio.	Variable independiente: Parámetros fisicoquímicos del agua Variable dependiente: Incubación inducida de ovas de <i>Trichomycterus punctulatus</i> .	Enfoque: Cuantitativo Tipo: Básico Diseño: Experimental Población: 110 ejemplares de <i>Trichomycterus punctulatus</i> que se encuentran en el oasis ubicado en Salitre, dentro de la cuenca del Jequetepeque, Cajamarca. Perú. Muestra: 8 ejemplares de <i>Trichomycterus punctulatus</i> . Unidad de análisis: cada individuo de <i>Trichomycterus punctulatus</i> o que se utilice en la prueba experimental y sean seleccionados como posibles reproductores Muestreo: Seleccionada de manera aleatoria, de manera no probabilística, considerando varios sitios de muestreo para garantizar la representatividad de la muestra. Técnica de recolección de datos: Observación Instrumento de recolección de datos: Ficha de recolección de datos

Apéndice 2. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	CATEGORÍA O VALOR	INSTRUMENTO
Variable independiente Parámetros fisicoquímicos del agua	Son las cualidades o propiedades del agua que ofrecen datos acerca de sus características físicas y químicas, las cuales son determinantes para evaluar su calidad (Rahman, <i>et al.</i> , 2021).	Para el cultivo y reproducción de <i>Trichomycterus punctulatus</i> en laboratorio, se determinará y controlará cuidadosamente varios parámetros fisicoquímicos óptimos del agua durante el proceso de reproducción.	pH	Valor de pH	Ácido	Peachímetro digital
					Neutro	
					Alcalino	
			Temperatura	Valor de T°	Grados Celsius (°C)	Termómetro
			Oxígeno disuelto	Concentración de OD	Miligramos por litro (mg/L)	Medidor de Oxígeno Disuelto
			Amonio	Concentración de NH ₄ ⁺	Miligramos por litro (mg/L)	Analizador Multiparámetro Hach DR 3900
Variable dependiente: Incubación de Ovas de <i>Trichomycterus punctulatus</i> .	Se refiere al proceso controlado de mantener y proporcionar condiciones óptimas para el desarrollo de los huevos fertilizados de los peces hasta la eclosión (Polte, <i>et al.</i> , 2021).	El éxito de la incubación de ovas se evaluará mediante indicadores como la eclosión de huevos, la mortalidad, el tiempo de eclosión, la viabilidad y la frecuencia de anomalías.	Eclosión de huevos	Tasa de eclosión	Porcentaje (%)	Ficha de recolección de datos
				Mortalidad	Porcentaje (%)	
			Tiempo de eclosión	Cantidad de tiempo	Días	
			Viabilidad	Proporción de ovas viables	Porcentaje (%)	
			Anomalías	Frecuencia de anomalías en las ovas	Porcentaje (%)	

Apéndice 3. Instrumento de recolección de datos

Ficha de registro de Parámetros Fisicoquímicos del Agua

Fecha de Medición	Hora de Medición	ID del Recipiente/Incubadora	Temperatura (°C)	pH	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Amonio (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Notas Adicionales	Cambios en los Parámetros	Incidenias Inusuales

Registro de datos biométricos de reproductores

Fecha					
Nº pez	Sexo	Longitud (cm)	Peso (g)	Estadio de desarrollo	Observaciones
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Registro de datos de huevos

Fecha		Parámetros productivos				
	Tasa de eclosión (%)	Mortalidad (%)	Tiempo de Eclosión (días)	Viabilidad (%)	Anomalías (%)	Observaciones