



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



**INFLUENCIA DEL CULTIVO INTENSIVO DE TRUCHAS**  
**(*Oncorhynchus mykiss*) EN LA PRESENCIA DE DIATOMEAS Y**  
**MACROINVERTEBRADOS EN DOS ZONAS DE LAGO**  
**TITICACA, 2023.**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. DENNYS ALFREDO ARPASI ORDOÑO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



# DENNYS ALFREDO ARPASI ORDOÑO

## INFLUENCIA DEL CULTIVO INTENSIVO DE TRUCHAS (Oncorhynchus mykiss) EN LA PRESENCIA DE DIATOMEAS Y ...

Universidad Nacional del Altiplano

### Detalles del documento

Identificador de la entrega  
trn:oid::8254417856522

88 Páginas

Fecha de entrega  
20 dic 2024, 10:14 a.m. GMT-5

18,484 Palabras

Fecha de descarga  
20 dic 2024, 10:16 a.m. GMT-5

94,596 Caracteres

Nombre de archivo  
TESIS DENNYS ALFREDO ARPASI ORDOÑO REPOSITORIO 5.pdf

Tamaño de archivo  
3.7 MB





## 4% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

### Fuentes principales

- 4% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 3% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

- **Texto oculto**  
2 caracteres sospechosos en N.º de página

El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarse.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

**Gilmer Casalliel Goymate Camacho**  
COLBIOP N° 1142  
Dr. Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente



Dr. Gilmer Goymate Camacho  
Unidad de Investigación  
FCOEB - UNA





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

INFLUENCIA DEL CULTIVO INTENSIVO DE TRUCHAS (*Oncorhynchus mykiss*)  
EN LA PRESENCIA DE DIATOMEAS Y MACROINVERTEBRADOS EN DOS  
ZONAS DE LAGO TITICACA, 2023

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. DENNYS ALFREDO ARPASI ORDOÑO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

APROBADA POR:

PRESIDENTE:

  
Dra. MARTHA ELIZABETH APARICIO SAAVEDRA

PRIMER MIEMBRO:

  
Dr. ANGEL CANALES GUTIERREZ

SEGUNDO MIEMBRO:

  
M.Sc. MARISOL ROJAS BARRETO

DIRECTOR / ASESOR:


  
Dr. GILMAR GAMALIEL GOZQUETA CAMACHO

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 26/12/2024

ÁREA: Ciencias Biomédicas

SUBLINEA: Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales



  
VºBº Dra. VICKY CRISTINA GONZALES ALCOS  
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN-FCCBB



## DEDICATORIA

*A mis padres,*

*Héctor y Olga, por su amor incondicional, su apoyo constante y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Sin su orientación y sacrificio, este logro no habría sido posible.*

*A mi hermana Mariela,*

*por formar parte de mi vida, su comprensión y motivación en los momentos difíciles.*

*¡Este pasó en mi vida, se la dedico a ustedes!*

***Dennys Alfredo Arpasi Ordoño***



## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza y la salud para completar esta etapa de mi vida.*

*A la Universidad Nacional del Altiplano, la plana docente de la Facultad de Ciencias Biológicas, por los momentos únicos vividos, por sus enseñanzas y brindarme las herramientas necesarias para crecer profesionalmente.*

*A mi asesor de tesis, Dr. Gilmar Goyzueta, por su invaluable orientación, consejos y su disposición para guiarme en cada etapa de este trabajo. Sus aportes han sido cruciales para la culminación de esta tesis.*

*Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) y a todos los miembros del proyecto “AQUARESIDUOS – Contrato N° PE501079712-2022-PROCIENCIA”, por el financiamiento y el apoyo brindado para la ejecución de este proyecto de investigación.*

*Al Dr. Marcelino Aranibar, por las facilidades brindadas para la ejecución del presente proyecto, así como por compartir su experiencia y conocimiento para la realización de este proyecto de investigación.*

*Al Blgo. Cesar Gamarra, Coordinador del Laboratorio Continental de Puno, por la recomendación al proyecto, las facilidades brindadas para el análisis del proyecto de investigación y su apoyo en la orientación externa del proyecto.*

*A los profesionales del Laboratorio Continental de Puno - IMARPE, por facilitarme los recursos y el tiempo necesario para llevar a cabo mi investigación. Agradezco especialmente a la Blga. Carmen Villanueva, mi mentora de laboratorio por su colaboración y apoyo durante todo este proceso.*

*Finalmente, agradezco a mis amigos y colegas, que con sus palabras de ánimo y su apoyo emocional me han dado fuerzas para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.*



# ÍNDICE DE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE DE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>14</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
2.2.1. Lago Titicaca.....	22
2.2.2. Cultivo intensivo de Truchas. ....	22
2.2.3. Diatomeas bentónicas.....	23
2.2.4. Macroinvertebrados bentónicos. ....	24
2.2.5. Bioindicadores.....	25
2.2.6. Índices de diversidad específica.....	25



2.2.6.1. Riqueza específica.....	26
2.2.6.2. Abundancia .....	26
2.2.6.3. Índice de Shannon y Wiener (H'). .....	27

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. LUGAR DE ESTUDIO.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2. TIPO DE ESTUDIO .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>32</b>
3.3.1. Determinación de la influencia de la crianza intensiva de truchas ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) en presencia de diatomeas en dos zonas del lago Titicaca.....	32
3.3.1.1. Diseño y frecuencia de muestreo. ....	32
3.3.1.2. Descripción del uso de equipos, materiales e insumos. ....	32
3.3.1.3. Variables que se analizó.....	37
3.3.1.4. Aplicación estadística. ....	37
3.3.2. Determinación de la influencia de la crianza intensiva de truchas ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) en presencia de macroinvertebrados en dos zonas del lago Titicaca. ....	38
3.3.2.1. Diseño y frecuencia de muestreo. ....	38
3.3.2.2. Descripción del uso de equipos, materiales e insumos .....	39
3.3.2.3. Variables que se analizó.....	41
3.3.2.4. Aplicación estadística. ....	41





## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

<b>4.1. INFLUENCIA DE LA CRIANZA INTENSIVA DE TRUCHAS (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) EN PRESENCIA DE LAS DIATOMEAS BENTÓNICAS EN DOS ZONAS DEL LAGO TITICACA.....</b>	<b>42</b>
4.1.1. Riqueza y composición taxonómica.....	42
4.1.2. Abundancia. ....	45
4.1.3. Diversidad. ....	53
4.1.4. Condiciones ambientales, relación entre los parámetros fisicoquímicos y la abundancia de diatomeas.....	55
<b>4.2. INFLUENCIA DE LA CRIANZA INTENSIVA DE TRUCHAS (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) EN PRESENCIA DE MACROINVERTEBRADOS EN DOS ZONAS DEL LAGO TITICACA. ....</b>	<b>59</b>
4.2.1. Presencia/ausencia.....	59
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>66</b>
<b>VII. REFERENCIAS.....</b>	<b>67</b>

**ÁREA:** Ciencias Biológicas

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Conservación y aprovechamiento de recursos naturales

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 26 de diciembre de 2024



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Coordenadas UTM de los puntos de muestreo en la zona de Barco – Chucuito. .....	29
<b>Tabla 2</b> Coordenadas UTM de los puntos de muestreo en la zona de Chucasuyo - Juli. .....	31
<b>Tabla 3</b> Presencia y ausencia de especies registradas para la zona de Barco- Chucuito. .....	42
<b>Tabla 4</b> Presencia y ausencia de especies registradas para la zona de Chucasuyo (Juli). .....	44
<b>Tabla 5</b> Parámetros físicos y químicos registrados en la zona de Barco. ....	56
<b>Tabla 6</b> Parámetros físicos y químicos registrado en la zona de Chucasuyo.....	58
<b>Tabla 7</b> Macroinvertebrados registrados en las zonas de Barco y Chucasuyo. ....	59



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Estaciones de muestreo en la zona de Barco – Chucuito. ....	29
<b>Figura 2</b> Estaciones de muestreo para la zona de Chucasuyo – Juli. ....	31
<b>Figura 3</b> Colecta de sedimento del fondo lacustre. ....	33
<b>Figura 4</b> Colecta de muestras de diatomeas. ....	34
<b>Figura 5</b> Proceso de limpieza de diatomeas. ....	36
<b>Figura 6</b> Análisis de laboratorio. ....	37
<b>Figura 7</b> Muestreo de macroinvertebrados. ....	39
<b>Figura 8</b> Lavado y secado de muestras de macroinvertebrados para su análisis. ....	40
<b>Figura 9</b> Análisis de macroinvertebrados en laboratorio. ....	41
<b>Figura 10</b> Abundancia total de las diatomeas en las zonas de estudio. ....	46
<b>Figura 11</b> Abundancia de diatomeas (ind/m <sup>2</sup> ) registradas durante los seis meses de evaluación. ....	48
<b>Figura 12</b> Abundancia relativa de las especies registradas en la zona de Barco. ....	50
<b>Figura 13</b> Abundancia relativa de las especies registradas en la zona de Chucasuyo	52
<b>Figura 14</b> Índice de diversidad de Shannon -Wiener (H'). ....	54
<b>Figura 15</b> Comparación de la presencia de macroinvertebrados en la zona de Barco entre áreas con jaulas y sin jaulas. ....	60
<b>Figura 16</b> Comparación de la presencia de macroinvertebrados en la zona de Chucasuyo entre áreas con jaulas y sin jaulas. ....	61
<b>Figura 17</b> Rastros de especies identificadas durante la evaluación. ....	62



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1</b> Densidad de especies identificadas en áreas con jaulas y sin jaulas durante 6 meses de evaluación en la zona de Barco (Chucuito). .....	79
<b>ANEXO 2</b> Densidad de especies identificadas en áreas con jaulas y sin jaulas durante 6 meses de evaluación en la zona de Chucasuyo (Juli). .....	80
<b>ANEXO 3</b> Valores de diversidad calculados (Shannon-Wiener ( $H'$ )) para las zonas de evaluación. ....	81
<b>ANEXO 4</b> Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) registrada en las zonas de Barco y Chucasuyo, set-dic 2023 y ene-feb 2024. ....	82
<b>ANEXO 5</b> pH registrado en las zonas de Barco y Chucasuyo, set-dic 2023 y ene-feb 2024. ....	83
<b>ANEXO 6</b> Oxígeno disuelto registrado en las zonas de Barco y Chucasuyo, set-dic 2023 y ene-feb 2024. ....	84
<b>ANEXO 7</b> Conductividad eléctrica registrado en las zonas de Barco y Chucasuyo, set-dic 2023 y ene-feb 2024. ....	85



## ACRÓNIMOS

<b>cm:</b>	Centímetros
<b>ECAS:</b>	Estándares de calidad ambiental
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:</b>	Peróxido de hidrógeno
<b>HCl:</b>	Ácido clorhídrico
<b>ind/m<sup>2</sup>:</b>	Individuos por metro cuadrado
<b>km:</b>	Kilómetros
<b>km<sup>2</sup>:</b>	Kilómetros cuadrados
<b>m:</b>	Metros
<b>m<sup>2</sup>:</b>	Metros cuadrados
<b>m.s.n.m.:</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>MINAM:</b>	Ministerio del ambiente
<b>ml:</b>	Mililitros
<b>mm:</b>	Milímetros
<b>pH:</b>	Potencial de Hidrogeniones
<b>PRODUCE:</b>	Ministerio de la Producción
<b>t:</b>	Tonelada
<b>µm:</b>	Micras
<b>UTM:</b>	Universal Transversal de Mercator
<b>%:</b>	Porcentaje
<b>°C:</b>	Grados Celsius



## RESUMEN

En la actualidad, el cultivo intensivo de truchas en el lago Titicaca ha aumentado, junto con el aporte de nutrientes, y con el tiempo podría ser un problema para ecosistema. Este estudio tuvo como objetivos: a) Evaluar la influencia del cultivo en presencia de diatomeas en dos zonas y b) Evaluar la influencia del cultivo en presencia de macroinvertebrados en dos zonas. Durante seis meses, se recolectaron muestras de sedimento en áreas con y sin jaulas, utilizando una draga Van Veen. Para las diatomeas, se empleó un cuadrante de 10x10 cm, y para los macroinvertebrados, una red de 500  $\mu\text{m}$ . En Barco, se identificaron 23 géneros y 39 especies de diatomeas, las áreas con jaulas mostraron mayor riqueza, con 19 géneros y 36 especies, frente a las áreas sin jaulas con 19 géneros y 28 especies, mientras que en Chucasuyo, se registraron 25 géneros y 39 especies, siendo mucho mayor en áreas con jaulas (23 géneros y 36 especies) respecto a áreas sin jaulas (17 géneros y 24 especies). En la zona de Barco, la abundancia de diatomeas fue significativamente mayor en áreas con jaulas, con valores máximos de 2570248 ind/m<sup>2</sup> y 2105619 ind/m<sup>2</sup> en Chucasuyo, frente a 291322 ind/m<sup>2</sup> y 121900 ind/m<sup>2</sup> en áreas sin jaula. La diversidad siguió un patrón similar, en Barco, las áreas con jaulas mostraron un valor de 2.61 bits.ind<sup>-1</sup> frente a 2.08 bits.ind<sup>-1</sup> en áreas sin jaulas; mientras que en Chucasuyo, los valores fueron de 2.18 bits.ind<sup>-1</sup> y 1.35 bits.ind<sup>-1</sup> respectivamente. Aunque no se encontraron macroinvertebrados vivos, se identificaron rastros de géneros como Heleobia, Sphaerium, Taphius y Littoridina. Los análisis estadísticos confirmaron diferencias significativas en la riqueza, abundancia y diversidad de diatomeas ( $p < 0.001$ ), confirmando la influencia del cultivo intensivo de truchas en la comunidad de diatomeas.

**Palabras clave:** Acuicultura, Diatomeas, Eutrofización, Lago Titicaca, Macroinvertebrados.



## ABSTRACT

Currently, intensive trout farming in Lake Titicaca has increased, along with nutrient input, and over time could be a problem for the ecosystem. The objectives of this study were: a) To evaluate the influence of culture on the presence of diatoms in two zones and b) To evaluate the influence of culture on the presence of macroinvertebrates in two zones. During six months, sediment samples were collected in areas with and without cages, using a Van Veen dredge. For diatoms, a 10x10 cm quadrat was used, and for macroinvertebrates, a 500  $\mu\text{m}$  net was used. In Barco, 23 genera and 39 species of diatoms were identified, the areas with cages showed greater richness, with 19 genera and 36 species, compared to the areas without cages with 19 genera and 28 species, while in Chucasuyo, 25 genera and 39 species were recorded, being much higher in areas with cages (23 genera and 36 species) compared to areas without cages (17 genera and 24 species). In the Barco area, diatom abundance was significantly higher in areas with cages, with maximum values of 2570248 ind/m<sup>2</sup> and 2105619 ind/m<sup>2</sup> in Chucasuyo, compared to 291322 ind/m<sup>2</sup> and 121900 ind/m<sup>2</sup> in areas without cages. Diversity followed a similar pattern, in Barco, areas with cages showed a value of 2.61 bits.ind<sup>-1</sup>, versus 2.08 bits.ind<sup>-1</sup> in areas without cages; while in Chucasuyo, the values were 2.18 bits.ind<sup>-1</sup> and 1.35 bits.ind<sup>-1</sup> respectively. Although no live macroinvertebrates were found, traces of genera such as Heleobia, Sphaerium, Taphius and Littoridina were identified. Statistical analyses confirmed significant differences in diatom richness, abundance and diversity ( $p < 0.001$ ), confirming the influence of intensive trout farming on the diatom community.

**Keywords:** Aquaculture, Diatoms, Eutrophication, Lake Titicaca, Macroinvertebrates.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura ha experimentado un crecimiento exponencial a nivel mundial, aportando beneficios económicos significativos, pero también ocasionando impactos negativos, como la acumulación de materia orgánica en los ecosistemas acuáticos donde se desarrolla esta actividad (Buschmann, 2001; Folke et al., 1998). En el Perú, la abundancia de recursos hídricos, con un promedio de 60,000 m<sup>3</sup> de agua dulce per cápita, junto con una diversidad climática y ecosistémica excepcional, ha impulsado el desarrollo de diversas actividades económicas, destacando la acuicultura, en particular la producción de trucha (Salinas y Alarcón, 2017; Chura y Mollocondo, 2009).

En la región de Puno, el lago Titicaca se ha consolidado como el principal escenario para la acuicultura (Chura y Mollocondo, 2009). Ubicado a una altitud promedio de 3809 m.s.n.m. y con una superficie aproximada de 8400 km<sup>2</sup> (Goyzueta, 2020), el lago facilita el desarrollo de cultivos intensivos, principalmente desde la zona norte (Barco) hasta el sur, en Pomata (Yapuchura, 2006). Según PRODUCE (2023) la región alcanzó una producción récord de 50914 toneladas en 2018; sin embargo, esta cifra disminuyó en los años siguientes, registrando 32549 toneladas en 2019, 33962 toneladas en 2020 y 32673 toneladas en 2021. En 2022, se observó una recuperación con una producción de 41645.6 toneladas.

A pesar de su enorme potencial, la falta de orden, enfoque ecosistémico y manejo sustentable de la actividad acuícola puede generar impactos negativos en los ecosistemas. Estudios señalan que una producción superior a 10 toneladas por año contribuye al deterioro y eutrofización de los cuerpos de agua, con consecuencias negativas para las





especies acuáticas (Buschmann, 2001; Cornel y Whoriskey, 1993; León, 2006; Velasco et al., 2012).

El uso de bioindicadores se ha convertido en una herramienta fundamental para monitorear la salud ambiental, ya que proporcionan datos fácilmente accesibles y cuantificables, facilitando la interpretación de información relacionada con distintos tipos de contaminación (Lanza et al., 2000). En particular, las diatomeas, por su alta sensibilidad a las perturbaciones ambientales derivadas del exceso de materia orgánica, se consideran indicadores confiables del estado ecológico de los cuerpos de agua continentales (Godínez, 2008; Gomà et al., 2002). De manera complementaria, los macroinvertebrados bentónicos, debido a su estilo de vida sedentario y su variada tolerancia a la contaminación, son ampliamente utilizados para evaluar la calidad del agua y los efectos asociados a su deterioro (Barbour et al., 1999; González G. et al., 2012; Roldan, 1999).

Por lo tanto, el presente trabajo busca aportar al análisis de los impactos que afecta a los organismos acuáticos, específicamente diatomeas y macroinvertebrados que habitan en los sedimentos del lago Titicaca. Se espera que los resultados obtenidos sirvan como una base adicional en la realización de futuras investigaciones que promuevan el manejo sostenible de la acuicultura en la región.

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar la influencia de la crianza intensiva de truchas (*Oncorhynchus mykiss*) en presencia de diatomeas y macroinvertebrados en dos zonas del lago Titicaca.



## 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la influencia de la crianza intensiva de truchas (*Oncorhynchus mykiss*) en presencia de diatomeas (bentónicas) en dos zonas del lago Titicaca.
- Determinar la influencia de la crianza intensiva de truchas (*Oncorhynchus mykiss*) en presencia de macroinvertebrados (bentónicos) en dos zonas del lago Titicaca.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

La rápida expansión de la acuicultura en los últimos años ha suscitado una creciente preocupación por las externalidades ambientales asociadas a esta actividad (Rabassó, 2011), y a nivel mundial, la acuicultura se ha posicionado como una de las actividades económicas de mayor crecimiento, aunque también ha generado impactos significativos en los ecosistemas acuáticos, estudios como los de Buschmann (2001) y Folke et al. (1998) han documentado como el aporte de materia orgánica y nutrientes de las jaulas puede causar eutrofización, disminución de la biodiversidad y alteraciones tróficas en cuerpos de agua dulce.

La biodiversidad depende en gran medida del funcionamiento de los sistemas lacustres, los cuales son altamente vulnerables a la contaminación derivada de actividades humanas en las cuencas hidrográficas (Esquivel, 2014; Margalef, 1983; Reques, 2005). En el Perú, se han realizado estudios sobre comunidades acuáticas continentales, abordando aspectos de taxonomía, ecología y características fisicoquímicas del agua (Ortega et al., 2014; Wilhem, 1981).

El lago Titicaca enfrenta un acelerado deterioro ambiental debido al crecimiento demográfico en las zonas ribereñas y al aumento de la carga orgánica e inorgánica, factores que han intensificado los procesos de eutrofización (Lazzaro et al., 2016; Ministerio del ambiente, 2014; Northcote et al., 1991); este fenómeno se ve agravado por el incremento de la actividad acuícola, que afecta la calidad del agua y los servicios ecosistémicos del lago (Escobar, 2019). En este contexto, el aumento de los productores



primarios, como el fitoplancton, desempeña un papel determinante en la progresión de la eutrofización, ya que su crecimiento responde directamente a la disponibilidad de nutrientes en el ecosistema (Dolbeth et al., 2003; Fontúrbel, 2003; Margalef, 1983).

Diversos estudios internacionales han documentado los impactos de la acuicultura en jaulas sobre los ecosistemas acuáticos, así tenemos a Cornel y Whoriskey (1993) y Buschmann (2001) reportaron casos de eutrofización en lagos con jaulas flotantes de truchas, lo que ocasionó el fracaso de las operaciones debido a la alteración del ecosistema; de manera similar, Troell et al. (1997) registraron un aumento en las concentraciones de amonio y una proliferación de microalgas en áreas cercanas a las jaulas. En esta misma línea, estudios como los de Graneli et al. (1989), Hallegraeff (1992) y Smayda (2002) corroboraron la relación positiva entre la abundancia de fitoplancton y la presencia de sistemas de cultivo.

En Turquía, Karaca y Pulatsü (2003) encontraron que los residuos orgánicos provenientes de las jaulas contribuyen significativamente a la acumulación de materia orgánica en los sedimentos; de manera consistente, estudios realizados por Buschmann et al. (1996), Folke y Kautky (1989) y Soto y Norambuena (2004) confirmaron que el depósito de esta materia orgánica bajo las jaulas tiene un efecto negativo sobre la biodiversidad. Por otro lado, en Polonia, Teodorowicz et al. (2006) reportaron que las granjas de truchas incrementaron las cargas anuales de fósforo entre un 19-26% y las de nitrógeno entre un 10-22%, lo que provocó una disminución en la saturación de oxígeno, especialmente durante el verano.

Sindilariu et al. (2009), Buschmann et al. (2006) y González et al. (2018) reportaron que los efluentes provenientes de jaulas incrementan los niveles de materia orgánica, lo que afecta de manera significativa la diversidad de macroinvertebrados. En



Perú, Mantilla (2008) y Vilca (2008) concluyeron que la truchicultura tiene un impacto negativo tanto en la flora macrófita como en la fauna bentónica, registrando parámetros fisicoquímicos que superan los estándares de calidad ambiental; por su parte, Trapp (2018) señaló que los efluentes de la acuicultura alteran el potencial Redox y el pH de los sedimentos, lo que termina impactando la estructura y composición de las comunidades bentónicas.

En otros estudios, Fontúrbel et al. (2006) reportaron simplificación de comunidades acuáticas dominadas por géneros como *Oscillatoria*, *Closterium* y *Mougeotia* en condiciones de alta eutrofización, mientras que Cornel y Whoriskey (1993) documentaron, en lagos con jaulas de cultivo, una disminución en la abundancia de zooplancton, como *Daphnia* spp., acompañada de un incremento en la materia orgánica y los nutrientes depositados en los sedimentos. De manera similar, Peraza (2017) encontró una relación directa entre la diversidad de fitoplancton y los factores ambientales, concluyendo que las altas temperaturas favorecen la abundancia de este grupo.

En consecuencia, los antecedentes mencionados evidencian que el aumento e incorporación de nutrientes en los ecosistemas acuáticos, junto con el incremento de la producción primaria asociado a la eutrofización, generan efectos negativos significativos, tales como cambios en la diversidad biológica, desequilibrios en las relaciones tróficas por la pérdida del control ejercido por los organismos consumidores, un aumento en la frecuencia y abundancia de floraciones algales, así como interrupciones en el funcionamiento general de los ecosistemas.



## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Lago Titicaca.**

El lago Titicaca, el mayor cuerpo de agua dulce de América del Sur con una reserva que supera los 900 mil millones de metros cúbicos (Claude Dejoux y Iltis, 1991), es un ecosistema único que alberga numerosas especies de animales y plantas endémicas y fue el escenario donde se desarrollaron civilizaciones andinas prehispánicas como los Pukara, Tiwanaku, Colla, Lupaka e Inca, cuya influencia persiste hasta la actualidad (Binford et al., 1997; Contreras, 2010); sin embargo, a pesar de sus características excepcionales, el conocimiento sobre su funcionamiento ecológico, su biogeoquímica y su contribución al microclima local sigue siendo limitado.

Sin embargo, la población ribereña enfrenta riesgos significativos debido a los cambios globales, los cuales se ven exacerbados por el relieve extremo de los Andes (Andrade, 2008; Urrutia y Vuille, 2009), lo que subraya la necesidad urgente de consolidar el conocimiento actual sobre el lago, identificar los vacíos existentes y coordinar esfuerzos hacia un monitoreo integral a largo plazo; en este sentido, resulta fundamental prevenir la contaminación, restaurar las áreas degradadas y fomentar un uso racional y sostenible de los recursos hídricos y acuáticos (Lazzaro y Gamarra, 2014).

### **2.2.2. Cultivo intensivo de Truchas.**

La región de Puno posee un enorme potencial para la acuicultura gracias a sus abundantes recursos hídricos, que incluyen 354 lagunas, 316 ríos y 7 represas, siendo el lago Titicaca el principal escenario para el desarrollo de esta actividad (Dirección Regional de Producción, 2009). Según, Chura y Mollocondo (2009) a



acuicultura se define como el conjunto de actividades tecnológicas destinadas al cultivo o crianza de especies acuáticas, que pueden abarcar un ciclo biológico completo o parcial en medios controlados o seleccionados, ya sea en aguas naturales, artificiales, marinas, dulces o salobres.

En el lago Titicaca, esta actividad se remonta a la década de 1940 con la instalación de las primeras piscigranjas en Chucuito en 1939 (Mantilla, 2004), mientras que las primeras experiencias con jaulas flotantes se llevaron a cabo en 1977 en la zona de Kajje-Chucasuyo (Juli), donde se implementaron estas estructuras para el cultivo de trucha (Atencio et al., 2009; B. Mantilla, 2004). A partir de 1984, la producción mostró un crecimiento constante, registrando 140 toneladas en 1989; aunque hubo un ligero descenso en años posteriores, a partir de 1996 comenzó un crecimiento significativo, alcanzando las 7204 toneladas en 2008 y 8534 toneladas en 2009 (Dirección Regional de Producción, 2009).

### **2.2.3. Diatomeas bentónicas.**

Existe una amplia y, en ocasiones, confusa nomenclatura para describir las formas de vida o asociaciones de microorganismos que habitan en relación con algún sustrato (Martin Farfan, 2016). El término perifiton se refiere a la comunidad microbiótica que vive sobre sustratos sumergidos de diversa naturaleza, como superficies duras, vegetación acuática (viva o muerta) y sedimentos (Wetzel, 2001), mientras que el término fitobentos hace referencia a los organismos autótrofos asociados al fondo de los ecosistemas acuáticos, incluyendo cianobacterias, algas (micro o macroscópicas) y macrófitos (Casco, 1990).



El fitobentos ha sido ampliamente utilizado como indicador de la calidad del agua, la eutrofización y otros tipos de contaminación, mediante la medición de clorofila-a (para estimar la biomasa algal) o el análisis de la abundancia y composición taxonómica de grupos específicos de algas (Douterelo et al., 2004; Lee y Lee, 2009). Dentro de esta comunidad, el ficoperifiton está compuesto principalmente por algas bénticas, que representan el elemento predominante del perifiton y desempeñan un papel crucial en la productividad de la comunidad, con un claro dominio de las diatomeas, organismos que colonizan la mayoría de los sustratos, se fijan en pequeñas superficies y ocupan zonas accesibles para otros competidores (Arcos y Gómez, 2006; Montoya y Aguirre, 2013).

Las diatomeas, por su parte, son organismos microscópicos y unicelulares cuya pared celular, conocida como frústulo, está compuesta por pectina y sílice, lo que las hace altamente resistentes (Canizal, 2009; Rivas et al., 2010); además, estos microorganismos tienen una distribución cosmopolita y amplia presencia geográfica (Maidana et al., 2005), debido a estas características, diversos estudios han señalado a las diatomeas como indicadores sensibles de perturbaciones físicas en hábitats fluviales (Pan et al., 2006), mientras que su alta sensibilidad a la eutrofización las convierte en bioindicadores clave para la evaluación de la calidad ambiental en cuerpos de agua (Bojorge y Cantoral, 2016).

#### **2.2.4. Macroinvertebrados bentónicos.**

Los macroinvertebrados bentónicos son invertebrados que presentan un tamaño que oscila entre 2 mm y 30 cm y que, por lo general, habitan adheridos al fondo de los sistemas acuáticos (Figuroa y Sánchez, 1997), dentro de este grupo





se incluye insectos, crustáceos, moluscos y oligoquetos, que constituyen la mayor parte de la comunidad bentónica (O'sullivanm y Reynolds, 2008).

Estos organismos, ampliamente distribuidos y abundantes, son reconocidos como importantes bioindicadores de contaminación, ya que cada grupo presenta diferentes niveles de tolerancia y respuesta negativas frente a distintos tipos de contaminación del agua (Bojsen y Barriga, 2002; Escobar y Montoya, 2019; Solimini et al., 2006).

#### **2.2.5. Bioindicadores.**

Los bioindicadores, también llamados indicadores biológicos, son atributos de los sistemas biológicos utilizados para analizar características específicas del ambiente, abarcando desde especies y asociaciones de especies hasta poblaciones y comunidades (Gomez et al., 2021).

En los ecosistemas acuáticos, la diversidad de hábitats permite que los organismos, a través de su presencia en un espacio y tiempo determinado, desarrollen estrategias de supervivencia que les confieren la capacidad de actuar como bioindicadores (Margalef, 1983); sin embargo, no todos los organismos poseen las características necesarias para cumplir esta función (Markert et al., 2003). Para evaluar los impactos en cuerpos de agua, se consideran diferentes niveles de organización biológica, lo que facilita un análisis más detallado de las consecuencias de estos impactos (Gomez et al., 2021).

#### **2.2.6. Índices de diversidad específica.**

El concepto de diversidad es fundamental en el campo de la ecología, ya que permite comprender la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas; su



medición, aunque objeto de debate, resulta crucial para cuantificar las variables bióticas y describir detalladamente los componentes de un sistema. En este sentido, los cambios en los niveles de diversidad no solo reflejan alteraciones en el equilibrio ecológico, sino que también sirven como indicadores clave para justificar y orientar acciones de protección que promuevan la conservación y sostenibilidad de los ecosistemas (Marrugan, 1983).

#### **2.2.6.1. Riqueza específica.**

Este índice es un indicador básico que representa el número total de especies presentes en una comunidad o ecosistema (Moreno, 2001), es una medida sencilla que no considera las abundancias relativas de las especies, solo la cantidad (Ministerio del ambiente, 2015).

- La fórmula es:

$$S = N_s$$

$S$  = Riqueza específica (número de especies diferentes en el área de estudio).

$N_s$  = Número total de especies observadas.

#### **2.2.6.2. Abundancia**

Este índice considera el número de individuos presentes en un ecosistema, en pocas palabras determina el número de individuos en un área total determinada (Ministerio del ambiente, 2015).

Entonces, la abundancia relativa se calcula de la siguiente manera:



$$AR = \frac{L_x}{N_1} * 100$$

- Donde:

$L_x$  = número de registros de individuos.

$N_1$  = número total de registros en el área.

### 2.2.6.3. Índice de Shannon y Wiener ( $H'$ ).

Este índice considera la riqueza y abundancia, empleando una escala logarítmica; cero (0) es cuando hay una sola especie, toma el máximo valor cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos. Entonces se usa en ecología para medir la biodiversidad, sus valores oscilan entre 1 y 5 (0.0 – 1.5 = Poca; 1.6 – 3.0 = Mediana; 3.1 – 5.0 = Alta) (Moreno, 2001).

- La fórmula de hallar este índice es:

$$H' = \sum_{i=1}^s (p_i)(\log 2p_i)$$

Dónde:

$H'$  = Índice de diversidad de Shannon-Wiener.

$S$  = Número de especies.

$p_i$  = Proporción de la abundancia de la especie y del total de la muestra.



## CAPÍTULO III

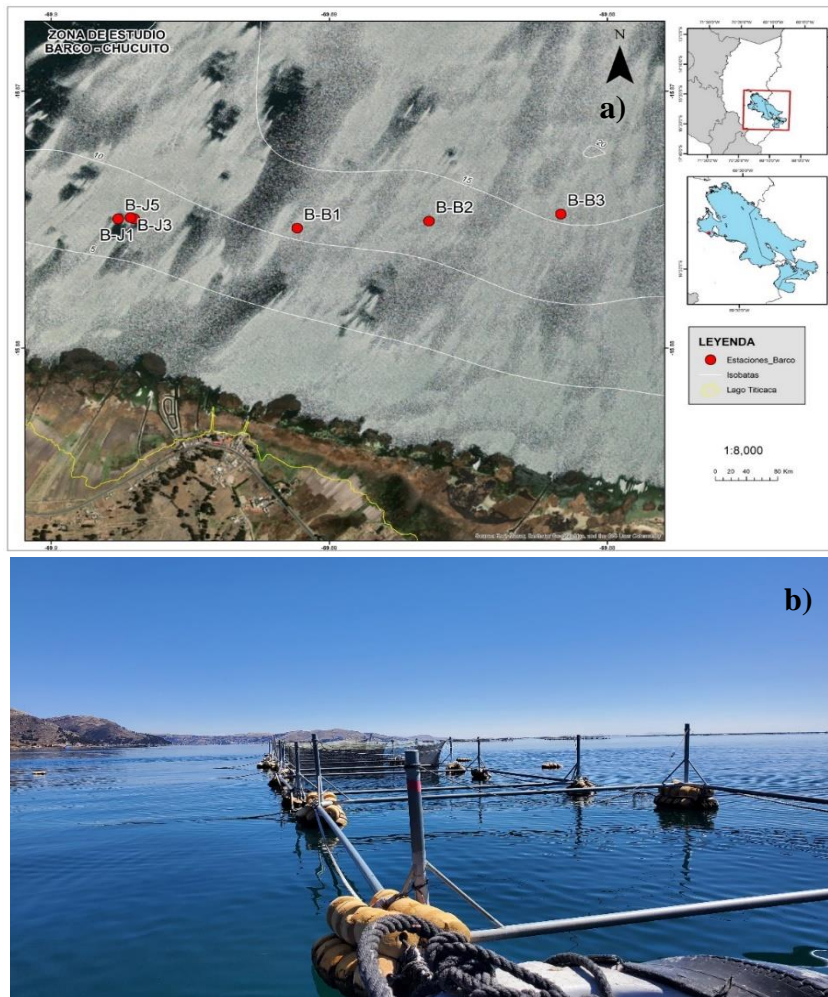
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE ESTUDIO

La bahía de Puno tiene una superficie acuática de 588 km<sup>2</sup>, con una longitud de 41 km, un ancho de 30 km, una profundidad máxima de 51 m y una profundidad media de 8 m. La zona de estudio específica, conocida como zona Barco y ubicada en el distrito de Chucuito, presenta profundidades que varían entre 10 y 15 m. En esta zona se establecieron tres puntos de muestreo en áreas con actividades de cultivo de truchas (área con jaulas), denominados B-J1, B-J3 y B-J5, los cuales fueron ubicados estratégicamente dentro del centro de producción de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA-Puno). De manera complementaria, se definieron tres puntos de muestreo en áreas libre de infraestructuras para el cultivo (área sin jaulas), identificados como B-B1, B-B2 y B-B3 (Figura 1).

**Figura 1**

*Estaciones de muestreo en la zona de Barco – Chucuito.*



Nota: Figura a) Mapa que representa la distribución de los puntos de muestreo; Figura b) vista panorámica del área de estudio en la zona de Barco.

**Tabla 1**

*Coordenadas UTM de los puntos de muestreo en la zona de Barco – Chucuito.*

Zona	Sitios de muestreo	UTM (19k)		
		Puntos	Este (X)	Norte (Y)
Barco - Chucuito	Con Jaulas	B-J1	403965	8244689
		B-J3	403951	8244695
		B-J5	403902	8244689
	Sin Jaulas	B-B1	404592	8244652
		B-B2	405100	8244684
		B-B3	405607	8244717

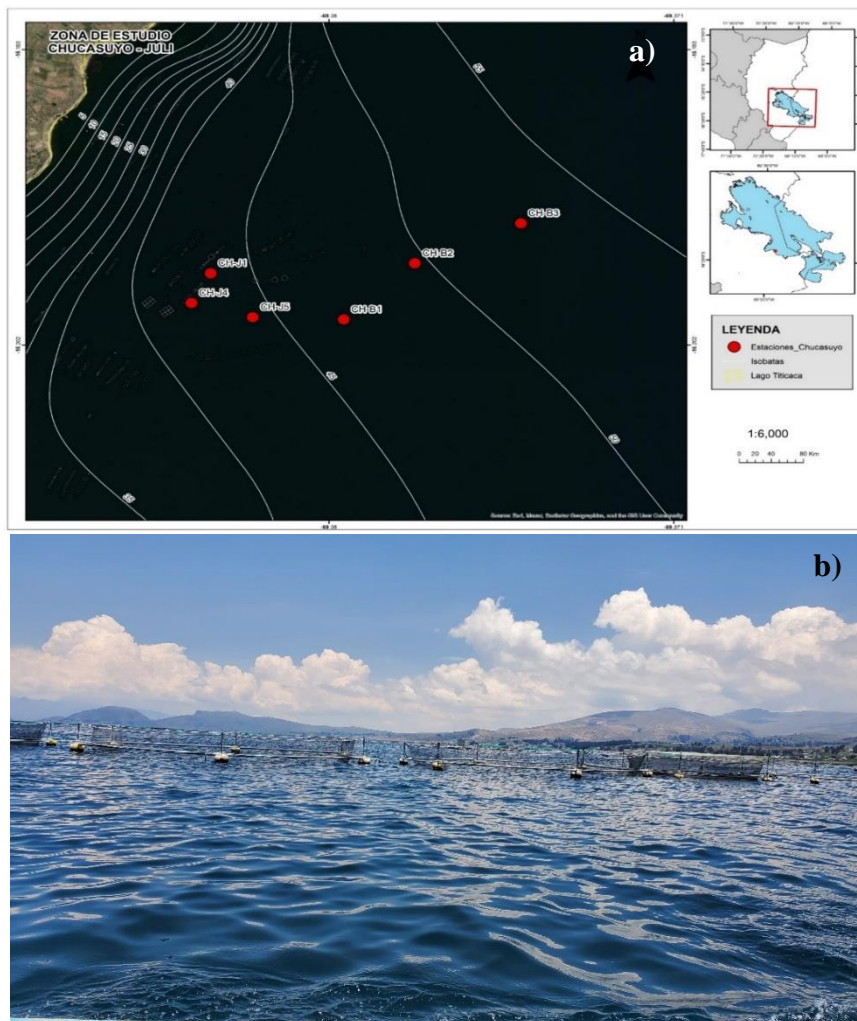
Nota: Los datos fueron obtenidos utilizando un GPS Garmin eTREX 20.



El lago mayor, también conocido como lago abierto, posee una superficie de 6 493 km<sup>2</sup>, con una longitud de 151 km, un ancho de 69 km, una profundidad máxima de 284 m y una profundidad media de 135 m. La zona específica de estudio, denominada zona de Chucasuyo y ubicada en el distrito de Juli, presenta profundidades que oscilan entre 20 a 50 m. En esta zona se establecieron tres puntos de muestreo en áreas con actividades de cultivo de truchas (área con jaulas), identificados como CH-J1, CH-J4 y CH-J5. De manera similar, se definieron tres puntos de muestreo adicionales en áreas libre de infraestructuras para cultivo (área sin jaulas), designados como CH-B1, CH-B2 y CH-B3, con el propósito de realizar un análisis comparativo (Figura 2).

## Figura 2

*Estaciones de muestreo para la zona de Chucasuyo – Juli.*



Nota: Figura a) Mapa que representa la distribución de los puntos de muestreo; Figura b) vista panorámica del área de estudio en la zona de Chucasuyo.

## Tabla 2

*Coordenadas UTM de los puntos de muestreo en la zona de Chucasuyo - Juli.*

Zona	Sitios de muestreo	UTM (19k)		
		Estaciones	Este (X)	Norte (Y)
Chucasuyo - Juli	Con Jaulas	CH-J1	459054	8208924
		CH-J4	459001	8208824
		CH-J5	459172	8208777
	Sin Jaulas	CH-B1	459425	8208769
		CH-B2	459624	8208959
		CH-B3	459919	8209094

Nota: Los datos fueron obtenidos utilizando un GPS Garmin eTREX 20.



### **3.2. TIPO DE ESTUDIO**

Estudio de carácter descriptivo y comparativo, pretende mostrar la influencia de la acuicultura en la comunidad de diatomeas y macroinvertebrados bentónicos.

### **3.3. METODOLOGÍA**

#### **3.3.1. Determinación de la influencia de la crianza intensiva de truchas (*Oncorhynchus mykiss*) en presencia de diatomeas en dos zonas del lago Titicaca.**

##### **3.3.1.1. Diseño y frecuencia de muestreo.**

Las zonas de estudio incluyeron las localidades de Barco-Chucuito y Chucasuyo-Juli, las muestras fueron recolectadas tanto en: áreas con actividades de cultivo de truchas (áreas con jaulas) y aquellas libres de infraestructuras para cultivo (áreas sin jaulas). Los muestreos se llevaron a cabo de manera sistemática y mensual durante un periodo de seis meses, siguiendo los protocolos de colecta y análisis descritos en los estándares de APHA-AWWA-WEF (2012a, 2012b).

##### **3.3.1.2. Descripción del uso de equipos, materiales e insumos.**

- **Colecta en Campo.**

Según Ortega et al. (2014), los sustratos deben permanecer en zonas inundadas de manera continua al momento de la colecta, evitando áreas que hayan sido inundadas recientemente. Para los Andes, se recomienda un periodo mínimo de 3 a 6 semanas, y en el presente estudio, al realizarse muestreos mensuales, se cumple con esta recomendación. La recolección de muestras de sedimento se llevó a cabo utilizando una draga



tipo Van Veen con un área de muestreo de 0.05 m<sup>2</sup> (Figura 3), en áreas tanto con jaulas como sin jaulas.

### Figura 3

*Colecta de sedimento del fondo lacustre.*



**Nota:** Se utilizó una draga tipo Van Venn de un área de 0.05 m<sup>2</sup>.

La colecta de diatomeas se realizó utilizando un área de 10x10 cm del sedimento obtenido (Figura 4). Las muestras fueron depositadas en frascos de plástico de 100 ml de capacidad, los cuales se llenaron hasta el 90% con agua de la muestra para garantizar su conservación durante el traslado al laboratorio.

## Figura 4

*Colecta de muestras de diatomeas.*



Nota: La recolección se realizó utilizando una espátula, teniendo como área 10x10cm.

- **Preservación y etiquetado.**

El fijador empleado fue formol al 5%. Sin embargo, Ortega et al. (2014) recomiendan fijar previamente las muestras con una solución de Lugol (0.5-1 ml, dependiendo de la cantidad de material), agitando suavemente antes de añadir el formol. Las muestras fijadas fueron almacenadas en condiciones frescas (entre 4°C y 15°C) y protegidas de la luz.

Para facilitar su identificación, las muestras fueron etiquetadas utilizando un bolígrafo de tinta indeleble, anotando con letra legible los siguientes datos: estación, fecha y hora de colecta.



- **Limpieza de diatomeas.**

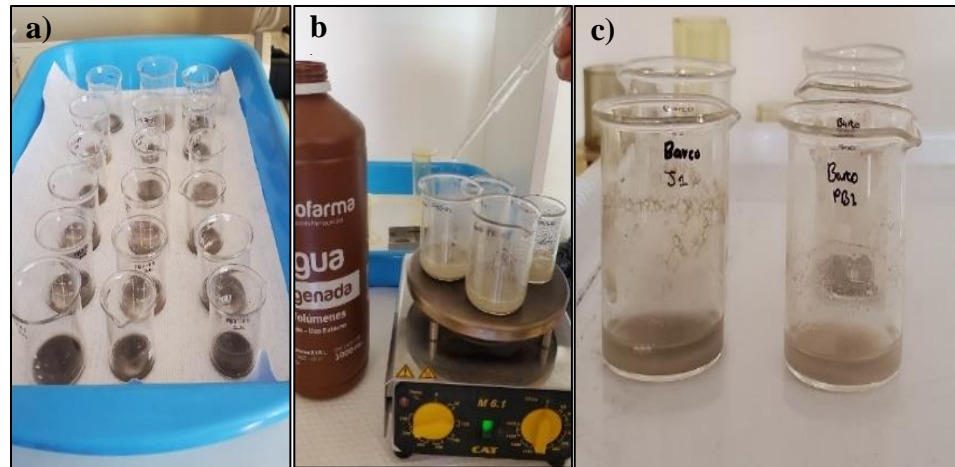
Se utilizó la metodología descrita por Gomez (1973) y Bettarbee (1986) (modificada), donde se tomó una alícuota de 5 ml de la muestra y se colocó en vasos de precipitados de 50 ml de capacidad. A continuación, se agregaron 10 ml de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) al 4% para facilitar la eliminación de materia orgánica (Figura 5a).

Las muestras se calentaron en una cocinilla eléctrica a 80 °C durante dos horas para eliminar la materia orgánica adherida a las diatomeas, añadiendo  $H_2O_2$  periódicamente para evitar que la muestra se seque (Figura 5b). Posteriormente, los vasos de precipitados se dejaron enfriar y se realizaron múltiples enjuagues con agua destilada para eliminar los residuos de  $H_2O_2$ . Luego, se añadieron de 5 a 10 gotas de ácido clorhídrico (HCl) al 30% con el objetivo de disolver los compuestos calcáreos presentes en la muestra (Figura 5c).

Finalmente, se repitió el proceso de enjuague hasta alcanzar un pH neutro y las muestras fueron almacenadas en frascos con alcohol al 30% para su conservación.

## Figura 5

*Proceso de limpieza de diatomeas.*



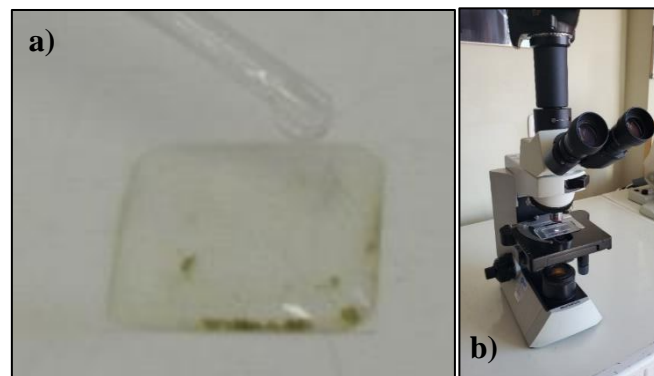
Nota: El proceso de limpieza se realizó en tres etapas: a) Preparación inicial de muestras; b) Tratamiento con agua oxigenada y calentamiento controlado para eliminar materia orgánica; c) Muestras con HCl para eliminación de materia calcárea.

- **Análisis en laboratorio.**

Las lecturas se realizaron en el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), en su sede descentralizada del Laboratorio Continental de Puno. Para el análisis cuantitativo, se utilizaron laminillas de 22x22 mm, en las cuales se añadió una alícuota de muestra preparada previamente (Figura 6a). La identificación de las especies se llevó a cabo mediante un microscopio compuesto OLYMPUS CX-41 (Figura 6b), equipado con campo oscuro. Para la determinación taxonómica, se emplearon trabajos y claves dicotómicas de Bourrelly (1985), Carney et al. (1987), Acleto y Zuñiga (1998), Acleto O. (1974), Liberman y Miranda (1987), Aldave (1989), Acosta y Ponce (1978) y Parra et al. (1982).

## Figura 6

*Análisis de laboratorio.*



**Nota:** a) Preparación de muestras procesadas en laminillas para su análisis; b) Análisis en microscopio óptico para identificar y cuantificar las diatomeas.

### 3.3.1.3. Variables que se analizó.

- Variable Independiente.
  - Sitios de muestreo
  
- Variable dependiente.
  - Abundancia
  - Riqueza
  - Diversidad

### 3.3.1.4. Aplicación estadística.

Se aplicó la prueba estadística de U de Mann-Whitney (no paramétrico), debido a que los datos obtenidos no presentaron una distribución normal. Esta prueba permitió comparar la presencia (abundancia, riqueza y diversidad) de diatomeas entre dos grupos independientes: áreas con jaulas y áreas sin jaulas. El objetivo fue determinar si existían diferencias significativas entre las medianas o

distribuciones de los grupos evaluados. Para el análisis estadístico se utilizó el software Jamovi.

$$U = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1$$

Donde:

$n_1, n_2$ : tamaños de muestra de los dos grupos (con jaulas, sin jaulas)

$R_1$  : Suma de los rangos del grupo 1.

$H_0$ : Las distribuciones de los grupos son iguales.

$H_1$ : Las distribuciones de los grupos son diferentes.

Tamaño de muestra dentro de cada zona:

Se cuenta con 3 puntos de muestreo por área (con jaulas y sin jaulas). Por lo tanto, el tamaño de muestra por grupo en una zona es: 3 puntos/área = 3 observaciones por grupo. Considerando los dos grupos (áreas), se tienen 6 observaciones en total por zona de estudio.

### **3.3.2. Determinación de la influencia de la crianza intensiva de truchas (*Oncorhynchus mykiss*) en presencia de macroinvertebrados en dos zonas del lago Titicaca.**

#### **3.3.2.1. Diseño y frecuencia de muestreo.**

Las zonas de estudio incluyeron las localidades de Barco-Chucuito y Chucasuyo-Juli, las muestras fueron recolectadas tanto en: áreas con actividades de cultivo de truchas (áreas con jaulas) y aquellas libres de infraestructuras para cultivo (áreas sin jaulas). Los muestreos se

realizaron de forma sistemática y periódica durante un periodo de seis meses, siguiendo los protocolos de colecta y análisis establecidos en las normativas propuestas por APHA-AWWA-WEF (2012c).

### 3.3.2.2. Descripción del uso de equipos, materiales e insumos.

- **Colecta en Campo.**

Las muestras de sedimento se recolectaron utilizando una draga Van Veen con un área de 0.05 m<sup>2</sup>, tanto en áreas con presencia de jaulas como en áreas sin jaulas. Las muestras obtenidas fueron lavadas con una red de 500 µm de abertura de malla para separar el material fino. Posteriormente, se colocaron en bolsas Ziploc, debidamente rotuladas, y se fijaron con formol al 5% para su conservación.

#### Figura 7

*Muestreo de macroinvertebrados.*



Nota: a) obtención de muestras de macroinvertebrados utilizando una red de 500 µm; b) Muestras obtenidas luego del lavado con la red.

- **Análisis en laboratorio.**

Para el análisis cuantitativo y cualitativo, las muestras fueron lavadas previamente para eliminar el conservante y, posteriormente, extendidas en placas Petri. Luego, se dejaron secar a temperatura ambiente para su análisis (Figura 8).

### **Figura 8**

*Lavado y secado de muestras de macroinvertebrados para su análisis.*



Nota: Proceso de lavado y secado de muestras de macroinvertebrados.

Para la identificación de las especies, se utilizó un estereoscopio de la marca MEIJI (Figura 9). El análisis se realizó siguiendo los trabajos de Claude Dejoux y Iltis (1991), Dominguez y Fernández (2009), Pennak (1946) y Needham et al. (1978), permitiendo identificar los organismos hasta el nivel taxonómico más bajo posible.



## Figura 9

*Análisis de macroinvertebrados en laboratorio.*



Nota: Uso de estereoscopio para observar características morfológicas específicas.

### 3.3.2.3. Variables que se analizó.

- Variable Independiente
  - Sitios de muestreo
  
- Variable dependiente
  - Presencia/Ausencia

### 3.3.2.4. Aplicación estadística.

No se realizaron pruebas estadísticas debido a la ausencia de especímenes vivos en el presente estudio. Por esta razón, se optó por elaborar una tabla y figuras que representen la presencia o ausencia de organismos, proporcionando una visualización cualitativa de los resultados obtenidos

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1. INFLUENCIA DE LA CRIANZA INTENSIVA DE TRUCHAS (*Oncorhynchus mykiss*) EN PRESENCIA DE LAS DIATOMEAS BENTÓNICAS EN DOS ZONAS DEL LAGO TITICACA.

##### 4.1.1. Riqueza y composición taxonómica.

En la zona de Barco (Chucuito) se identificaron 23 géneros con 39 especies de diatomeas. De este total, 19 géneros con 36 especies se registraron en el área con jaulas, mientras que en el área sin jaulas se identificaron 19 géneros con 28 especies (Tabla 3).

**Tabla 3**

*Presencia y ausencia de especies registradas para la zona de Barco- Chucuito.*

Especies	2023						2024					
	Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero	
	CJ	SJ	CJ	SJ	CJ	SJ	CJ	SJ	CJ	SJ	CJ	SJ
<i>Achnanthes</i> sp.	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Amphipleura</i> sp.	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Amphora ovalis</i>	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	-	-
<i>Asterionella formosa</i>	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cocconeis placentula</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Cocconeis</i> sp.	X	-	-	X	X	-	X	X	-	-	-	-
<i>Craticula</i> sp.	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Cyclotella</i> sp.	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cymatopleura solea</i>	-	-	-	-	X	-	X	-	-	X	-	-
<i>Cymbella</i> sp.	X	-	X	X	X	-	X	X	X	X	-	-
<i>Diatoma</i> sp.	-	-	X	-	X	-	X	-	-	X	X	-
<i>Discostella stelligera</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Epithemia adnata</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
<i>Epithemia soresx</i>	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-
<i>Epithemia</i> sp.	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Epithemia zebra</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
<i>Fragilaria construens</i>	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fragilaria crotonensis</i>	X	X	X	-	-	-	-	X	X	-	-	X
<i>Gomphonema gracile</i>	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gomphonema hebridense</i>	-	-	X	-	X	-	-	-	-	X	-	-
<i>Gomphonema</i> sp.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
<i>Gyrosigma</i> sp.	X	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Navicula pseudocari</i>	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula radiosa</i>	X	-	X	X	X	-	X	-	X	X	X	X
<i>Navicula</i> sp.	X	X	X	-	X	X	X	X	-	X	X	X
<i>Neidium</i> sp.	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-

Especies	2023								2024			
	Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero	
	CJ	SJ	CJ	SJ	CJ	SJ	CJ	SJ	CJ	SJ	CJ	SJ
<i>Nitzschia acicularis</i>	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia linearis</i>	-	-	x	-	-	-	x	-	-	-	x	-
<i>Nitzschia sigmoidea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-
<i>Nitzschia</i> sp.	x	x	x	-	x	x	x	-	x	-	-	-
<i>Pinnularia divergens</i>	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia</i> sp.	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	x	-	-	-	-	-	x	-	-	-	x	x
<i>Rhoicosphenia</i> sp.	x	-	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-
<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>	-	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stephanodiscus astraea</i>	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-
<i>Stephanodiscus</i> sp.	-	x	-	-	x	x	-	x	-	x	x	x
<i>Surirella</i> sp.	x	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-
<i>Synedra</i> sp.	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: CJ = Con Jaulas, SJ = Sin Jaulas; (x) = Presencia, (-) Ausencia.

Existe diferencia significativa de la riqueza de diatomeas entre áreas con jaula y sin jaula para ambas zonas estudio (Barco:  $U = 2.5$ , valor  $p < 0.001$ ) con un nivel de confianza de  $\alpha = 0.05$ , indicando que existe mayor riqueza en áreas con jaulas respecto a áreas sin jaulas (Figura 10). Estos resultados podrían estar relacionados con lo observado por Calizaya et al. (2013) quienes documentaron un aumento en el número de especies capaces de adaptarse a altos niveles de perturbación ambiental.

Los resultados obtenidos para la zona de Barco- Chucuito, en el presente estudio muestran un número superior de especies de diatomeas en comparación con estudios previos realizados en áreas circundantes de la zona de estudio: Casas y Puntaca (2014) registraron 14 especies de diatomeas planctónicas en Ichu, Caceres (2024) reportó 12 especies en Chimú, Dominguez (2022) documentó 8 especies en la estación E-5 cerca de Barco, y Delgado y Bernaldes (2009) identificaron solo 3 especies en Chimú. Actualmente se registraron 39 especies de diatomeas para la zona de Barco en áreas de cultivo de trucha.

Por otro lado, en la zona de Chucasuyo (Juli), se identificaron 25 géneros con 39 especies de diatomeas. De este total, 23 géneros con 36 especies corresponden al área con jaulas, mientras que 17 géneros con 24 especies para el área sin jaulas (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Presencia y ausencia de especies registradas para Chucasuyo (Juli).*

Especies	2023								2024			
	Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero	
	CJ	SJ	CJ	SJ	CJ	SJ	CJ	SJ	CJ	SJ	CJ	SJ
<i>Achnanthes</i> sp.	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Amphipleura</i> sp.	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Amphora ovalis</i>	X	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Asterionella formosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Campylodiscus</i> sp.	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Cocconeis placentula</i>	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X
<i>Cocconeis</i> sp.	X	-	X	-	-	-	-	-	X	-	X	-
<i>Cyclotella</i> sp.	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Cymatopleura solea</i>	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cymbella</i> sp.	X	-	X	X	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Diatoma</i> sp.	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Diploneis smithii</i>	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-
<i>Discostella stelligera</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Epithemia adnata</i>	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	-	-
<i>Epithemia sorex</i>	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-
<i>Epithemia</i> sp.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
<i>Epithemia zebra</i>	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	-
<i>Fragilaria capucina</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Fragilaria crotonensis</i>	X	-	-	-	-	-	X	X	X	-	X	-
<i>Gomphonema dichotomum</i>	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gomphonema</i> sp.	X	-	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-
<i>Iconella biseriata</i>	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Iconella nervosa</i>	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula aueri</i>	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula radiosa</i>	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula</i> sp.	X	X	-	X	X	-	X	-	X	-	X	-
<i>Nitzschia acicularis</i>	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia</i> sp.	X	X	-	-	X	-	-	X	-	-	X	-
<i>Placoneis</i> sp.	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhoicosphenia</i> sp.	-	-	X	-	X	-	X	-	-	-	X	X
<i>Rhopalodia</i> sp.	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stephanodiscus astraea</i>	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Stephanodiscus</i> sp.	-	-	-	X	-	-	X	X	-	-	X	-
<i>Surirella ovalis</i>	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Surirella</i> sp.	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Synedra</i> sp.	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Synedra ulna</i>	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: CJ = Con Jaulas, SJ = Sin Jaulas; (x) = Presencia, (-) Ausencia.

La prueba de U-Mann Whitney indica que existe diferencia significativa de la riqueza de diatomeas entre áreas con jaula y sin jaula para ambas zonas



estudio (Chucasuyo  $U = 40$ , valor  $p < 0.001$ ), con un nivel de confianza de  $\alpha = 0.05$ , señalando que existe mayor riqueza en áreas con jaulas respecto a áreas sin jaulas, similar a la zona de Barco (Figura 10). Estos resultados también podrían estar relacionados con lo observado por Calizaya et al. (2013) quienes registraron un aumento en el número de especies en áreas de perturbación ambiental.

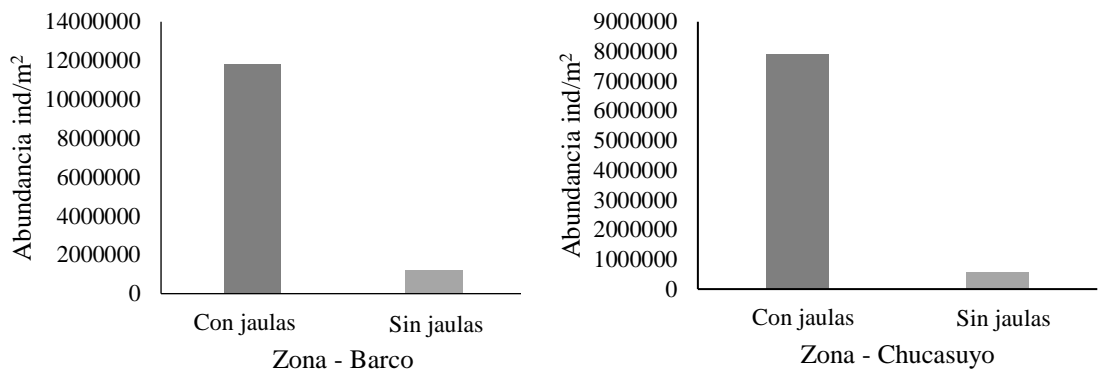
Puesto que, Puntaca y Cáceres (2022) reportaron 19 géneros de diatomeas planctónicas en la zona de Juli y actualmente se registraron 25 géneros con 39 especies de diatomeas. Este aumento en el número de especies observado en las áreas con jaulas podría atribuirse a las condiciones particulares del área evaluada, donde la influencia directa de las actividades acuícolas genera un enriquecimiento trófico que favorece el crecimiento de especies tolerantes a medios eutróficos, como lo han demostrado estudios previos de Buschmann et al. (1996), Buschmann (2001), Cornel y Whoriskey (1993), Dolbeth et al. (2003), Folke y Kautky (1989), Fontúrbel (2003), Hallegraeff (1992), Margalef (1983), Ramírez et al. (2012), Sellner et al. (2003), Smayda (2002) y Soto y Norambuena (2004).

#### **4.1.2. Abundancia.**

Se presentan los resultados de la abundancia total comparada entre las áreas con jaulas y sin jaulas en ambas zonas de estudio. En la zona de Barco, se registraron 11834711 ind/m<sup>2</sup> en áreas con jaulas y 1229339 ind/m<sup>2</sup> en áreas sin jaulas. Por otro lado, en la zona de Chucasuyo, los valores fueron de 7896694 ind/m<sup>2</sup> en áreas con jaulas y 555785 ind/m<sup>2</sup> en áreas sin jaulas (Figura 11).

**Figura 10**

*Abundancia total de las diatomeas en las zonas de estudio*



Nota: Comparación de la abundancia total de diatomeas (ind/m<sup>2</sup>) entre sitios de muestreo, en dos zonas.

Existe diferencia significativa de la abundancia de diatomeas entre sitios de muestreo para ambas zonas estudio (Barco:  $U = 0.0$ , valor  $p < 0.001$ ; Chucasuyo  $U = 0.0$ , valor  $p < 0.001$ ), con un nivel de confianza de  $\alpha = 0.05$ . Indicando que la abundancia total de diatomeas es significativamente mayor en áreas con jaulas en comparación con las áreas sin jaulas, lo cual se respalda en las diferencias observadas en la Figura 10.

Este comportamiento también fue observado en un estudio realizado por Cáceres (2024), quien reportó una abundancia de 63188 ind/L en la zona de Chimu, mientras que, en la bahía interior, cerca de la isla Espinar, registró un total de 231978 ind/L, evidenciando mayores valores en áreas con perturbaciones ambientales. Esto respalda la idea de que la abundancia tiende a ser mayor en zonas influenciadas por nutrientes o sometidas a perturbaciones ambientales (Buschmann et al., 1996).



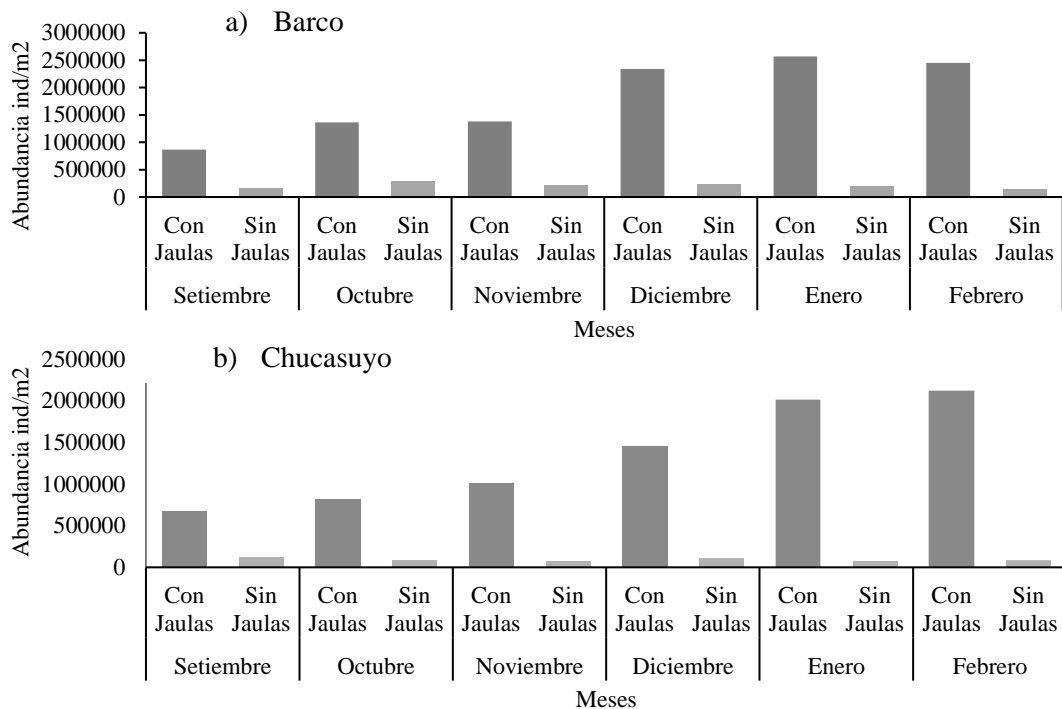
En la zona de Barco, los valores máximos de abundancia en áreas con jaulas se registraron en enero, con 2570248 ind/m<sup>2</sup>, mientras que el valor mínimo se observó en septiembre, con 865702 ind/m<sup>2</sup>. Por su parte, en las áreas sin jaulas, la máxima abundancia ocurrió en octubre, con 291322 ind/m<sup>2</sup>, y la mínima en febrero, con 146694 ind/m<sup>2</sup> (Figura 11a).

En la zona de Chucasuyo, el área con jaulas alcanzó su máxima abundancia en febrero, con 2105619 ind/m<sup>2</sup>, y la mínima en septiembre, con 677685 ind/m<sup>2</sup>. Por su parte, en el área sin jaulas, la mayor abundancia se registró en septiembre, con 121900 ind/m<sup>2</sup>, mientras que la menor ocurrió en noviembre, con 76440 ind/m<sup>2</sup> (Figura 11b).

Durante el periodo de monitoreo, se observó que la abundancia total de diatomeas fue consistentemente mayor en áreas con jaulas, especialmente durante los últimos tres meses del estudio en ambas zonas (Figura 11a, 11b).

**Figura 11**

*Abundancia de diatomeas (ind/m<sup>2</sup>) registradas durante los seis meses de evaluación.*



Nota: Variación mensual de la abundancia de diatomeas (ind/m<sup>2</sup>).

La prueba estadística aplicada indica que la abundancia mensual entre sitios presenta diferencias significativas (Barco:  $U = 0.1$ , valor  $p < 0.001$ ; Chucasuyo  $U = 0.1$ , valor  $p < 0.001$ ). Esto evidencia que, mensualmente, la abundancia es significativamente mayor en las áreas de jaulas en comparación a las áreas sin jaulas, lo cual se respalda en las diferencias observadas en la figura 11.

Entonces, estos resultados donde la abundancia es mayor en áreas con jaulas, también se observa un aumento significativo durante los últimos tres meses del estudio que podría deberse a la acumulación progresiva de materia orgánica y nutrientes, asociada al incremento de la producción acuícola entre diciembre y abril PRODUCE (2023). Durante este periodo, la mayor actividad piscícola



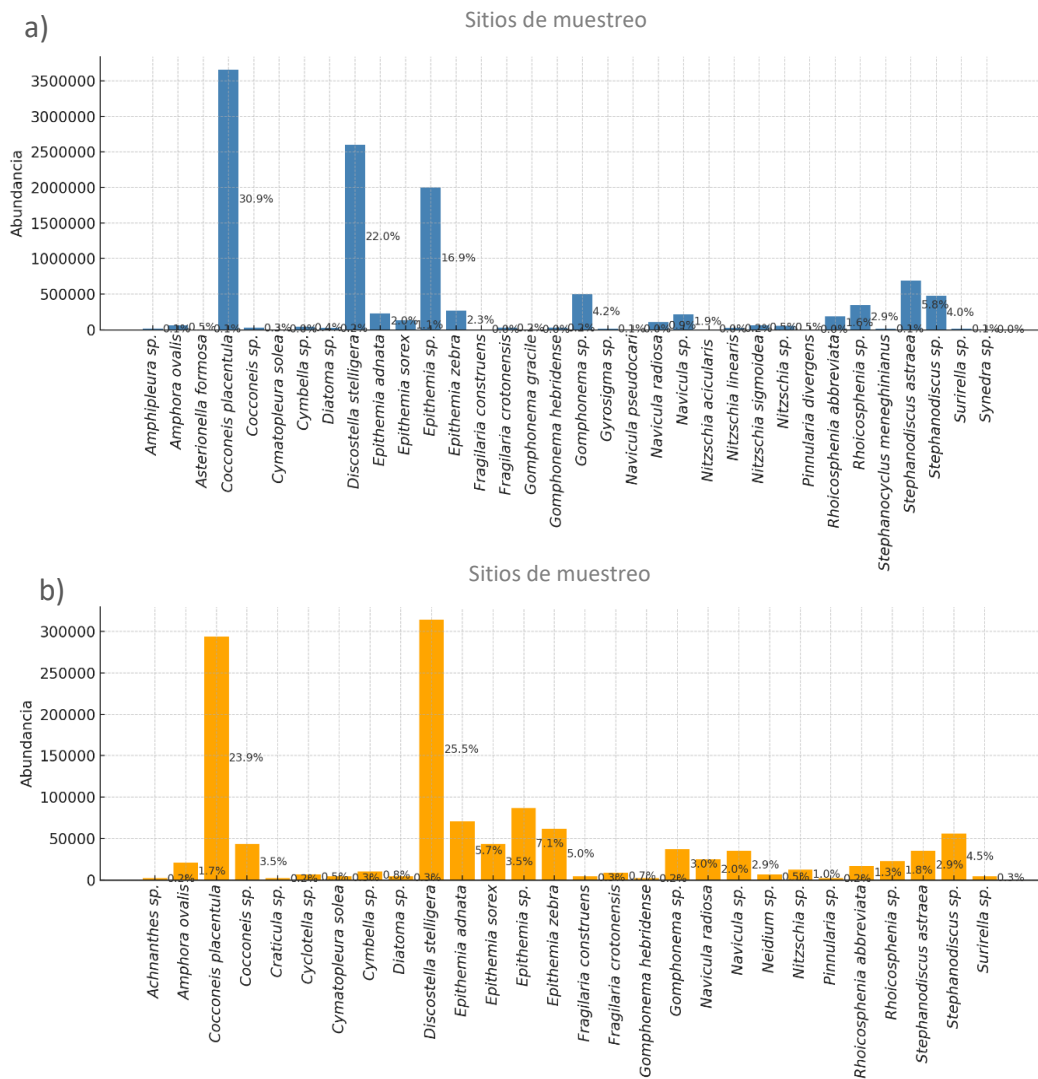


incrementa la disponibilidad de alimento y heces, enriqueciendo el ambiente con nutrientes que favorecen el crecimiento de diatomeas, como también lo reportaron Graneli et al. (1989), Sellner et al. (2003) y Troell et al. (1997) en estudios similares.

En cuanto a las especies predominantes. En la zona de Barco, las especies predominantes en el sedimento evaluado en áreas con jaulas fueron *Cocconeis placentula* (30.9%), *Discostella stelligera* (22%) y *Epithemia* sp. (16.9%), con abundancias absolutas de 3657025 ind/m<sup>2</sup>, 2601240 ind/m<sup>2</sup> y 2002066 ind/m<sup>2</sup>, respectivamente (Figura 12a). Por otro lado, en las áreas sin jaulas de la misma zona, las especies dominantes fueron *D. stelligera* (25.5%) y *C. placentula* (23.9%), que en conjunto representaron casi el 50% de la abundancia relativa total, con abundancias absolutas de 314049 ind/m<sup>2</sup> y 293388 ind/m<sup>2</sup>, respectivamente (Figura 12b).

**Figura 12**

*Abundancia relativa de las especies registradas en la zona de Barco.*



Nota: a) Especies con mayor abundancia registrada en las áreas con jaulas; b) Especies con mayor abundancia registrada en las áreas sin jaulas.

Estos resultados coinciden con estudios de Moreira et al. (2010), Donato (1991), Ruiz et al. (1984), MAAMA (2012) los cuales clasifican a estas especies como características de ambientes con condiciones meso-eutróficas. Las especies en cuestión son *C. placentula*, *D. stelligera* y *Epithemia* sp.

Estos hallazgos sugieren que las áreas con jaulas, podrían estar generando un proceso de eutrofización local (Hermes et al., 2007), y esta influencia podría extenderse también a las áreas sin jaulas, ya que ambas comparten las mismas



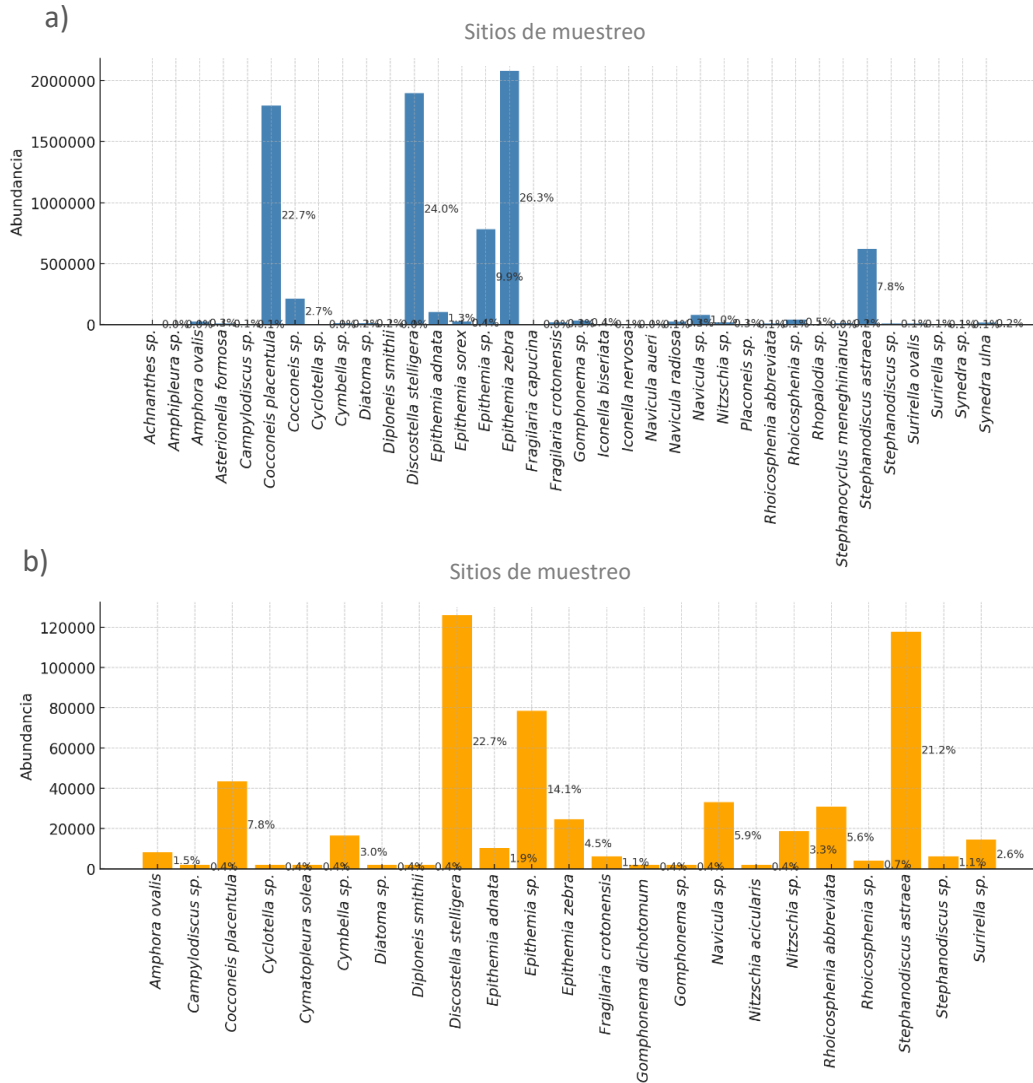
especies dominantes, lo que indica una posible dispersión de nutrientes y efectos asociados.

Mientras, en la zona de Chucasuyo, las especies predominantes en el sedimento fueron *Epithemia zebra* (23.6%), *D. stelligera* (24%) y *C. placentula* (22.7%), con abundancias absolutas de 20800579 ind/m<sup>2</sup>, 1898760 ind/m<sup>2</sup> y 1795455 ind/m<sup>2</sup>, respectivamente (Figura 13a).

En las áreas sin jaulas, las especies predominantes fueron: *D. stelligera* (22.7%), *Stephanodiscus astraea* (21.2%) y *Epithemia* sp. (14.1%), con abundancias absolutas de 126033 ind/m<sup>2</sup>, 117768 ind/m<sup>2</sup> y 78512 ind/m<sup>2</sup> respectivamente (Figura 13b).

**Figura 13**

*Abundancia relativa de las especies registradas en la zona de Chucasuyo.*



Nota: a) Especies con mayor abundancia registrada en las áreas con jaulas; b) Especies con mayor abundancia registrada en las áreas sin jaulas.

Los resultados coinciden con otros estudios que, debido al aporte constante de materia orgánica y nutrientes derivados del cultivo intensivo de truchas, podrían estar promoviendo un proceso de eutrofización local. Este fenómeno se refleja en la dominancia de especies como *C. placentula*, *D. stelligera* y *Epithemia* sp., reconocidas como indicadores de condiciones meso-eutróficas (Donato, 1991; MAAMA, 2012; Moreira et al., 2010; Pinilla, 2000; Ruiz et al., 1984).

Por otro lado, la predominancia de *S. astraea* en las áreas sin jaulas sugiere características más representativas de ambientes oligotróficos, con menor influencia de nutrientes antropogénicos (Avendaño y Caballero, 2020; MAAMA, 2012) y esto pone de manifiesto el papel de las diatomeas como bioindicadores sensibles, ya que su composición específica refleja las condiciones ambientales del entorno.

Este planteamiento es respaldado por estudios previos, como los de Avendaño y Caballero (2020), Calizaya et al. (2013), Donato y Martínez (2003) y Rivas et al. (2010) quienes destacaron la utilidad de las diatomeas para evaluar las condiciones tróficas de ecosistemas acuáticos y la capacidad de estas especies para responder rápidamente a cambios en la calidad del agua; las convierte en herramientas valiosas para monitorear los efectos del cultivo intensivo en cuerpos de agua como el lago Titicaca.

#### **4.1.3. Diversidad.**

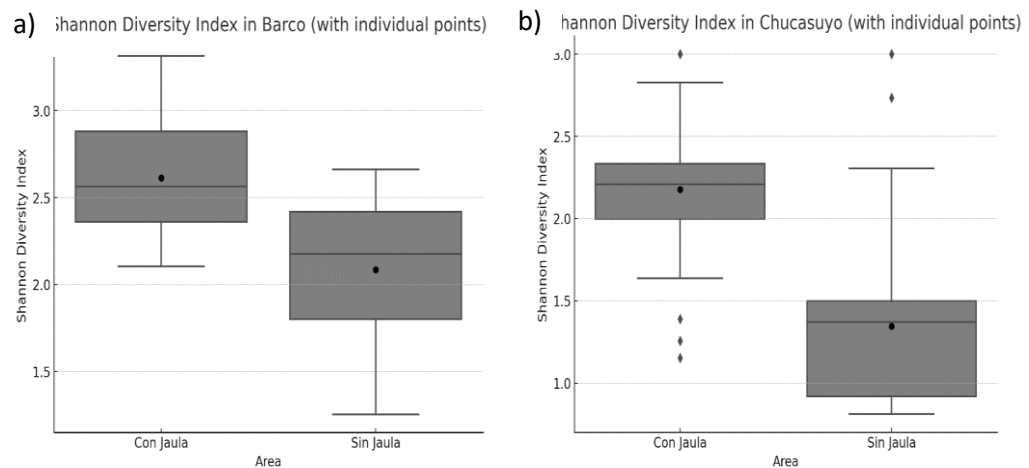
La diversidad ( $H'$ ) en Barco mostró valores variables entre las áreas con y sin jaulas. En el área con jaulas el valor máximo fue de 3.31 bits.ind<sup>-1</sup> y el mínimo de 2.1 bits.ind<sup>-1</sup>, con un promedio de 2.61 bits.ind<sup>-1</sup>; lo que indica una diversidad moderada. Por otro lado, en el área sin jaulas el valor máximo registrado fue de 2.66 bits.ind<sup>-1</sup> y el mínimo de 1.25 bits.ind<sup>-1</sup>, con un promedio de 2.08 bits.ind<sup>-1</sup> también representando una diversidad moderada (Figura 14a).

Por otro lado, la diversidad ( $H'$ ) en Chucasuyo, mostró diferencias notables entre las áreas con y sin jaulas. En el área con jaulas, el valor máximo registrado fue de 3 bits.ind<sup>-1</sup> y el mínimo fue de 1.15 bits.ind<sup>-1</sup>, con un promedio 2.18 bits.ind<sup>-1</sup>, lo que indica una diversidad moderada. En contraste, en el área sin

jaulas, el valor máximo fue de 3 bits.ind<sup>-1</sup>, mientras que el mínimo fue de 0.81 bits.ind<sup>-1</sup>, con un promedio de 1.35 bits.ind<sup>-1</sup>, lo que refleja una diversidad baja (Figura 14b).

### Figura 14

*Índice de diversidad de Shannon -Wiener (H').*



Nota: Comparaciones del índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), a) zona Barco, b) zona Chucasuyo.

Existe diferencia significativa de la diversidad de diatomeas entre áreas con jaula y sin jaula para ambas zonas estudio (Barco:  $U = 488$ , valor  $p < 0.001$ ; Chucasuyo  $U = 277.5$ , valor  $p < 0.001$ ), siendo mayor en áreas con jaulas respecto a áreas sin jaulas (Figura 11), con un nivel de confianza de  $\alpha = 0.05$ .

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran valores de diversidad ligeramente superiores en comparación con investigaciones previas realizadas en ambientes similares, donde Dominguez (2022) registró una diversidad de 1.61 bits.ind<sup>-1</sup> en la bahía exterior de Puno, mientras que Caceres (2024) reportó un promedio de 2.21 bits.ind<sup>-1</sup> en la zona de Chimú.

La diferencia con Dominguez (2022) podría deberse a las condiciones específicas de la bahía exterior de Puno, donde factores ambientales y aportes



antropogénicos afectan la estructura de las comunidades; en cambio, los valores de Cáceres (2024) son más cercanos a los de este estudio, lo que indica una similitud en las condiciones fisicoquímicas y biológicas de los cuerpos de agua evaluados.

Aunque se podría asumir que los ambientes con jaulas, por estar perturbados, tendrían menor diversidad, los resultados de este estudio muestran lo contrario: las áreas con jaulas registraron una mayor diversidad; este fenómeno podría explicarse por la heterogeneidad del hábitat generada por la acuicultura, que crea condiciones favorables para especies tanto tolerantes como sensibles, promoviendo un equilibrio dinámico en la comunidad (Stewart et al., 2000).

Sin embargo, según Fontúrbel et al. (2006), estas dinámicas pueden, con el tiempo, llevar a una simplificación de las comunidades, donde pocas especies terminan dominando el ecosistema. Esto parece evidenciarse en el presente estudio, ya que ciertas especies resultaron particularmente representativas en las áreas evaluadas.

#### **4.1.4. Condiciones ambientales, relación entre los parámetros fisicoquímicos y la abundancia de diatomeas.**

Para comprender las condiciones ambientales, se registraron parámetros fisicoquímicos en las áreas con y sin jaulas en ambas zonas de evaluación. Estos parámetros incluyen temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y transparencia del agua.

En la zona de Barco, los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos fueron los siguientes: la temperatura osciló entre 16.35 °C en el área con jaulas y 16.18 °C en el área sin jaulas; el pH varió entre 8.54 en el área

con jaulas y 8.77 en el área sin jaulas; el oxígeno disuelto (OD) fue de 6.4 mg/L en el área con jaulas y 6.49 mg/L en el área sin jaulas; por último, la conductividad eléctrica registró valores de 1543  $\mu$ S/cm en el área con jaulas y 1546  $\mu$ S/cm en el área sin jaulas (Tabla 5).

**Tabla 5**

*Parámetros físicos y químicos registrados en la zona de Barco.*

Parámetros fisicoquímicos (x)	Diatomeas (y)	Barco - CHUCUITO		p-valúe	Correlación (r)	
		Con jaula	Sin jaula		Con jaula	Sin jaula
Temperatura (°C)	Abundancia	16.35 $\pm$ 1.17	16.18 $\pm$ 0.97	0.371	<b>0.91*</b>	0.13
pH	Abundancia	8.54 $\pm$ 0.25	8.77 $\pm$ 0.29	<b>&lt; .001</b>	<b>0.65*</b>	-0.18
Oxígeno Disuelto (mg/L)	Abundancia	6.4 $\pm$ 0.5	6.49 $\pm$ 0.49	0.365	-0.48	-0.35
Conductividad Eléctrica ( $\mu$ S/cm)	Abundancia	1543 $\pm$ 24	1546 $\pm$ 25	0.600	-0.06	0.49
Transparencia (m)	Abundancia	8 $\pm$ 0.6	8 $\pm$ 1	0.667	0.07	-0.34

Nota: (r) = Coeficiente de Correlación; (\*) Relación alta; (x), (y) = variables para correlación de Pearson.

De todos los parámetros registrados, solo el pH mostró una diferencia significativa (Barco:  $U = 674$ ;  $p < 0.001$ ), siendo ligeramente más alto en las áreas sin jaulas en comparación con las áreas con jaulas (Tabla 5), con un nivel de confianza de  $\alpha = 0.05$ .

Los valores de pH registrados en este estudio son consistentes con investigaciones previas en la bahía exterior de Puno, lo que respalda la fiabilidad de los resultados obtenidos. Caceres (2024) reportó un pH de 8.60, mientras que Turpo y Sanga (2013) registraron valores ligeramente superiores de 8.7, por su parte Iquise (2017) obtuvo un promedio de 8.51, Casas y Puntaca (2014) registraron un valor de 8.79, y Delgado y Bernaldes (2009) registraron un valor de 8.5.

Estos resultados podrían estar relacionados con la actividad acuícola intensiva, ya que, según Trapp (2018), la liberación de desechos acuícolas





incrementa la actividad bacteriana, generando metabolitos de amonio y sulfato. Esto puede alterar el potencial redox y, en algunos casos, reducir el pH, lo cual influye en la estructura poblacional del bentos.

Además, el análisis de correlación de Pearson mostró una fuerte influencia de la temperatura y el pH en la abundancia de diatomeas en áreas con jaulas, aunque la temperatura no fue estadísticamente significativa, su ligero aumento en estas áreas sugiere una posible relación con la abundancia de diatomeas, coincidiendo con Montoya et al. (2012) y Peraza (2017) quienes demostraron que el aumento de temperatura favorece la abundancia de fitoplancton. Por otro lado, el pH también juega un papel clave, al modificar las estructuras poblacionales del bentos, como lo indican Díaz y Rivera (2004) y Trapp (2018).

En la zona de Chucasuyo, los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos fueron los siguientes: la temperatura osciló entre 15.27 °C en el área con jaulas y 15.04 °C en el área sin jaulas; el pH varió entre 8.32 en el área con jaulas y 8.5 en el área sin jaulas; el oxígeno disuelto (OD) fue de 6.15 mg/L en el área con jaulas y 6.15 mg/L en el área sin jaulas; mientras que la conductividad eléctrica presentó valores de 1513  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el área con jaulas y 1512  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el área sin jaulas (Tabla 6).

**Tabla 6***Parámetros físicos y químicos registrado en la zona de Chucasuyo.*

Parámetros fisicoquímicos (x)	Diatomeas (y)	Chucasuyo - JULI			Correlación (r)	
		Con jaula	Sin jaula	p- valúe	Con jaula	Sin jaula
Temperatura (°C)	Abundancia	15.27 ± 1.02	15.04 ± 1.1	0.231	<b>0.88*</b>	-0.39
pH	Abundancia	8.32 ± 0.41	8.52 ± 0.28	0.198	0.39	0.13
Oxígeno disuelto (mg/L)	Abundancia	6.15 ± 0.36	6.15 ± 0.46	0.46	-0.41	0.19
Conductividad eléctrica (μS/cm)	Abundancia	1513 ± 5	1512 ± 2	0.515	0.12	0.01
Transparencia (m)	Abundancia	14.9 ± 2.6	15.7 ± 2.4	0.407	0.23	-0.18

Nota: (r) = Coeficiente de Correlación; (\*) Relación alta; (x), (y) = variables para correlación de Pearson.

De todos los parámetros registrados, ninguno mostró diferencias significativas entre las áreas con jaulas y sin jaulas. No obstante, el análisis de correlación de Pearson reveló una alta relación entre la temperatura y la abundancia de diatomeas en las áreas con jaulas ( $r = 0.88$ ).

Los valores de temperatura registrados en este estudio son superiores a los reportados en investigaciones previas, lo que podría reflejar diferencias ambientales y estacionales en las áreas evaluadas, dado que Casas y Puntaca (2014) documentaron temperaturas de 12.5 °C, mientras que Turpo y Sanga (2013) reportaron un promedio ligeramente superior de 13.3 °C.

Estos resultados sugieren que la actividad acuícola podría generar microhábitats térmicos que favorecen la proliferación de diatomeas, corroborados por estudios previos como los de Fernández et al. (2022), Montoya et al. (2012) y Peraza (2017) coincidiendo que el aumento de temperaturas promueve la abundancia del fitoplancton, lo que es consistente con los patrones observados en este estudio.

## 4.2. INFLUENCIA DE LA CRIANZA INTENSIVA DE TRUCHAS (*Oncorhynchus mykiss*) EN PRESENCIA DE MACROINVERTEBRADOS EN DOS ZONAS DEL LAGO TITICACA.

### 4.2.1. Presencia/ausencia

Se tuvieron registros de especies como presencia/ausencia, debido a que no se hallaron especies vivas, por lo que se realizó comparaciones en base a una tabla de frecuencias, donde se identificaron ocho especies para la zona de Barco y seis especies para la zona de Chucasuyo (Tabla 7).

**Tabla 7**

*Macroinvertebrados registrados en las zonas de Barco y Chucasuyo.*

PHYLLUM	CLASE	FAMILIA	GENERO /ESPECIE	ZONAS			
				BARCO		CHUCASUYO	
				CJ	SJ	CJ	SJ
MOLLUSCA	GASTROPODA	COCHLIOPIDAE	<i>Heleobia</i> sp.	x	x	x	x
		PLANORBIDAE	<i>Taphius</i> sp.	x	x	x	x
		HYDROBIIDAE	<i>Littoridina</i> sp.	x	x	x	x
	<i>Ecpomastrum</i> sp.		x	x	x	x	
	<i>Sphaerium</i> sp.		x	x	x	x	
	BIVALVIA	SPHAERIIDAE	<i>Pisidium</i> sp.	-	x	x	-
ARTROPODA	MALACOSTRACA	HYEALPELLIDAE	<i>Hyalella</i> sp.	x	-	-	-
ANELIDA	CLITELLATA	GLOSSIPHONIIDAE	<i>Helobdella</i> sp.	-	x	-	-

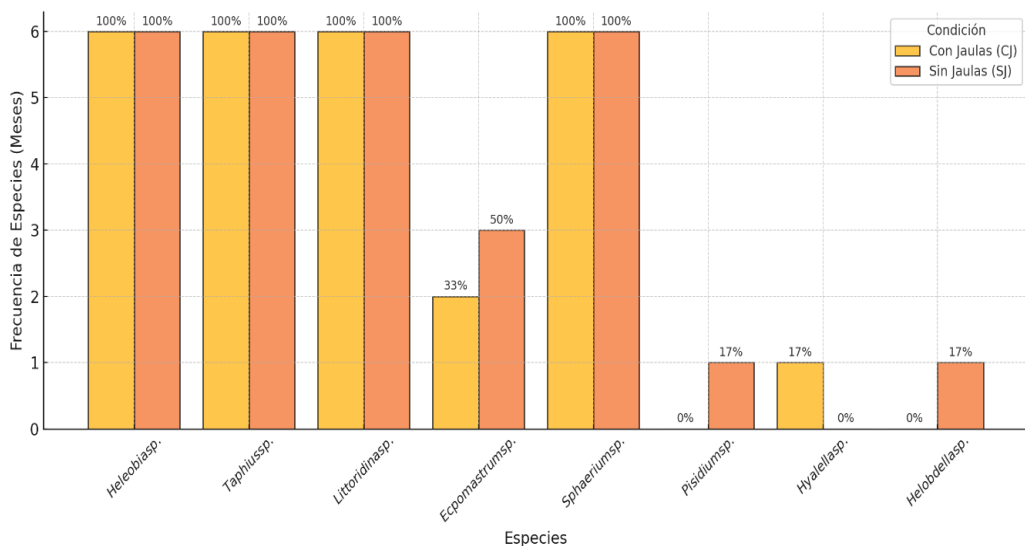
Nota: CJ = Con Jaulas; SJ = Sin Jaulas / (x) = Presencia; (-) = Ausencia

En 2023, el estudio sobre el impacto de las jaulas de cultivo en los macroinvertebrados bentónicos también registro pocas especies vivas, destacando únicamente a la familia Chironomidae (Orna, 2023), lo que corrobora los hallazgos en este estudio. Por su parte, Vilca (2008) identificó únicamente dos grupos de macroinvertebrados, los Gasterópodos e Hirudíneos, lo que sugiere que la distribución de macroinvertebrados podría ser limitada. Así mismo se plantea que estas observaciones podrían estar relacionadas con las metodologías empleadas o con las características particulares de los ecosistemas evaluados.

En la zona de Barco, las áreas con jaulas se ubicaron a profundidades entre 10 y 12 m, mientras que el área sin jaulas se encontraba entre 14 y 18 m. Durante los 6 meses de evaluación, se identificaron cuatro especies frecuentes (Figura 15), los cuales son *Heleobia* sp., *Taphius* sp., *Littoridina* sp. y *Sphaerium* sp. que mostraron una alta presencia en ambas áreas (100%), lo que sugiere que estas especies formaron parte de la comunidad del lago en un pasado reciente y que sus restos persisten en el sedimento con el tiempo. Por otro lado, las especies cuyos restos fueron ausentes o escasos, como *Pisidium* sp., *Hyalella* sp., y *Helobdella* sp., podrían sugerir que sus rastros se degradan rápidamente o que su contribución a la comunidad es baja.

### Figura 15

*Comparación de la presencia de macroinvertebrados en la zona de Barco entre áreas con jaulas y sin jaulas.*



Nota: El grafico expresa términos de frecuencia de las especies halladas en la zona de Barco.

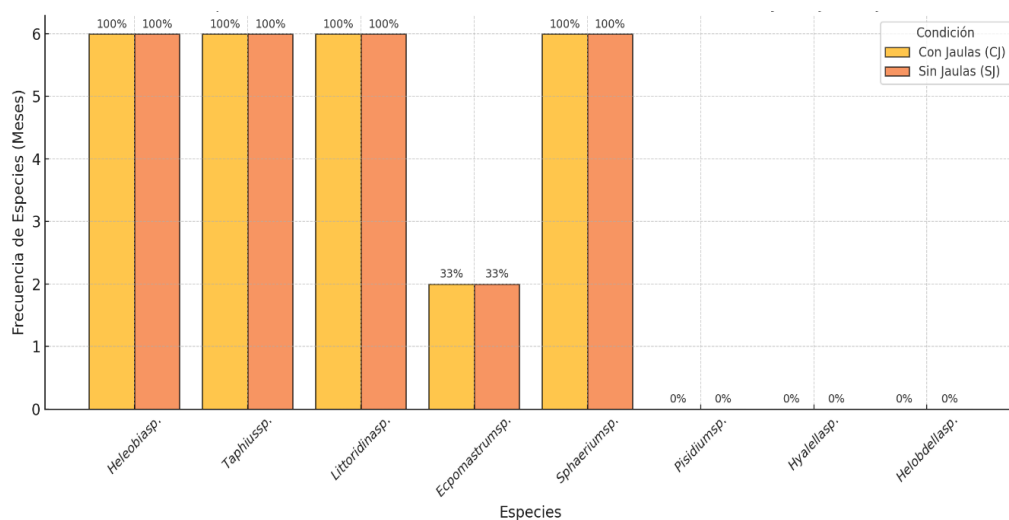
Los hallazgos de este estudio coinciden con los reportados por Enríquez y Marquina (2009), quienes observaron que los taxones Amphipoda y Gastropoda mostraron una mayor dominancia en cuatro áreas del lago Titicaca. Por otro lado,

Rodríguez, et al. (1993) caracterizaron una laguna centrándose en la comunidad bentónica, donde reportaron la presencia de siete especies, Aunque no comparten características exactas, es evidente que cada ecosistema tiene una ecología particular.

En la zona de Chucasuyo, las jaulas de estudio se ubican a profundidades entre 20 a 25 m, mientras que el área sin jaulas se encontraba entre los 45 a 50 m. Durante los seis meses de evaluación, se registraron cuatro especies frecuentes (Figura 16). Las especies *Heleobia* sp. (Gastropoda), *Taphius* sp. (Gastropoda), *Littoridina* sp. (Gastropoda) y *Sphaerium* sp. (Bivalvia) al igual que en la zona de Barco, registraron una alta presencia en ambas áreas (100%), lo que sugiere que estas especies predominan en el lago Titicaca.

### Figura 16

Comparación de la presencia de macroinvertebrados en la zona de Chucasuyo entre áreas con jaulas y sin jaulas.



Nota: El grafico expresa términos de frecuencia de las especies halladas en la zona de Chucasuyo.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son consistentes con los hallazgos previos de Enriquez y Marquina (2009) quienes señalaron que los

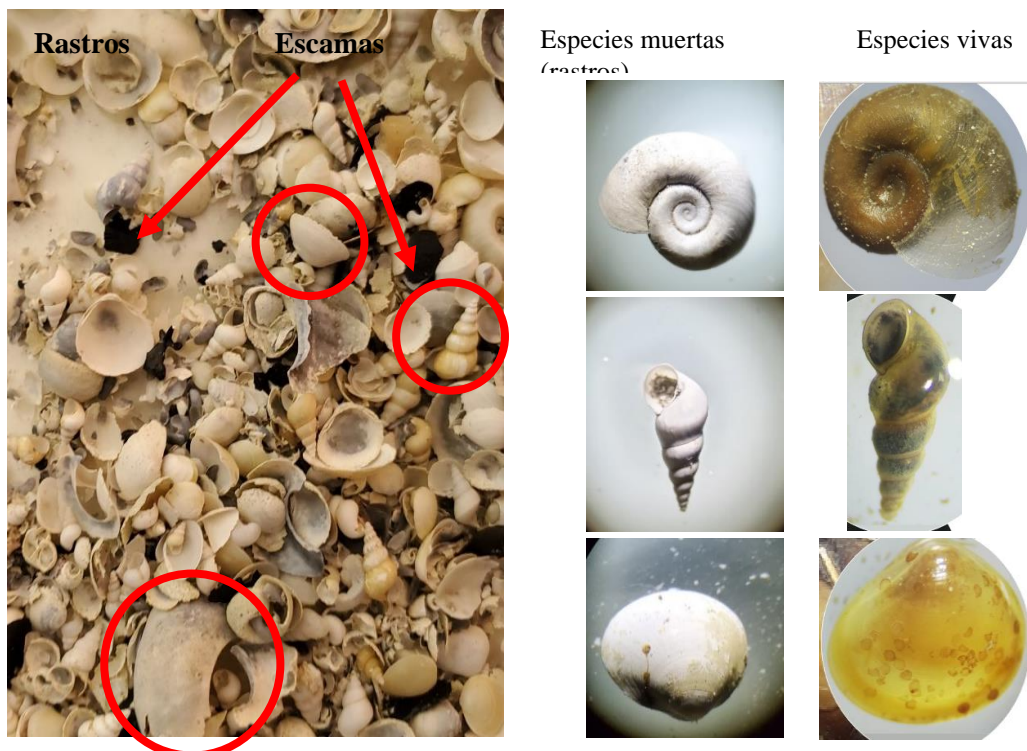
taxones Amphipoda y Gastropoda presentan una mayor dominancia en cuatro zonas del lago Titicaca, con proporciones de 45.9% y 35.2%, respectivamente.

Este patrón de dominancia resalta la importancia de estos grupos en la estructura de las comunidades bentónicas del lago, el estudio reciente de Fernandez (2022) identificó como familias abundantes a Hydrobidae y Planorbidae, a las cuales pertenecen las especies documentadas en el presente estudio, la coincidencia sugiere que dichas familias son componentes clave en los ecosistemas lacustres del lago Titicaca.

Entre tanto los géneros que tuvieron mayor frecuencia fueron Taphius, Littoridinam y Sphaerium mostradas en la Figura 17, estas especies dominaron tanto las áreas con jaulas y aquellas sin jaulas.

### Figura 17

*Rastros de especies identificadas durante la evaluación.*



Nota: Rastros de especies halladas en el presente estudio a comparación de especies vivas.



La ausencia de muestras vivas en el presente estudio podría estar relacionada con la profundidad de las zonas evaluadas (Figura 17), un factor clave que determina la distribución de las comunidades bentónicas en el lago Titicaca, así tenemos a la especie *Taphius montanus*, por ejemplo, mantiene un rango de distribución entre 10 a 82 m, siendo característica de zonas profundas; en Bolivia, esta especie se encuentra distribuida en profundidades que van desde los 2 a 54 m según HAAS (op cit.) y Dejoux y Iltis (1991). De manera similar, *Littoridina lacustris* tiene una distribución desde la superficie hasta los 66 m, mientras que *Littoridina profunda*, registrada cerca de Taman, se ha registrado entre los 56 a 82 m (Dejoux y Iltis, 1991). Finalmente, la especie *Sphaerium titicacense* se ha reportado hasta profundidades de 25 m en la bahía Puno (Kuiper y Hinz, 1983).

Estudios actuales también corroboran la ausencia de especies vivas; Orna (2023) al evaluar profundidades de 10, 15 y 20 m, documentó únicamente especies muertas mediante registros fotográficos, coincidiendo con los resultados obtenidos en este trabajo. De manera similar, Ponce (2019) reportó que, entre todas las profundidades estudiadas, la estación que coincide con el punto de evaluación (E-06) tampoco registró especies vivas, salvo en los meses de febrero y agosto de un año de evaluación.

En contraste, estudios realizados en menores profundidades han demostrado una mayor probabilidad de encontrar organismos vivos, donde Alvarado et al. (2012) reportaron la presencia de especies vivas en áreas cercanas a la orilla, entre la superficie y 1 m de profundidad, mientras que Salamanca (2020) documentó especies vivas a profundidades intermedias, específicamente entre los 6 y 7 m, en la bahía interior de Puno. Estos resultados indican que las comunidades bentónicas tienen una mayor actividad biológica en zonas con



menor profundidad, probablemente debido a mejores condiciones de luz, temperatura y oxigenación.

En general, estos hallazgos indican que la dinámica de las poblaciones de macroinvertebrados podría estar cambiando, con una reducción en su distribución a mayores profundidades. Si bien la interpretación basada únicamente en rastros no permite realizar una evaluación completa de tolerancia o índices comunitarios de las especies vivas, proporciona información relevante sobre la composición histórica de la comunidad y los posibles impactos ambientales.





## V. CONCLUSIONES

- El cultivo intensivo de truchas propicia un aumento de la riqueza, abundancia y diversidad de diatomeas en ambas zonas, esto sugiere un caso contrario a lo esperado y confirma una influencia significativa de las jaulas en la composición y estructura comunitaria de las diatomeas. Aunque estos cambios puedan parecer positivos en términos de diversidad, podrían estar indicando procesos iniciales de eutrofización.
- Si bien no se logró la colecta de especies vivas, el rastro de estas es igualmente significativo debido a que nos proporcionan información relevante acerca de la composición de la comunidad de macroinvertebrados en los sedimentos lacustres. El análisis de presencia y ausencia muestra que existen rastros de cuatro especies que probablemente dominan la comunidad de macroinvertebrados en las zonas estudiadas.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis detallado de la composición química y física del sedimento para establecer una relación con la presencia de diatomeas.
- Se recomienda profundizar en evaluaciones sobre la interacción entre comunidades acuáticas y las condiciones ambientales generadas por la acuicultura, incorporando parámetros fisicoquímicos adicionales como nitritos, nitratos, fosfatos, nitrógeno total, fósforo total y materia orgánica total.



- Acleto, C., y Zuñiga, R. (1998). Introducción a las algas (Edit. Escu).
- Acleto O., C. (1974). Adiciones a las algas de agua dulce de las cascadas de Barranco. *Revista Peruana de Biología*, 1(2), 087–098.  
<https://doi.org/10.15381/rpb.v1i2.8409>
- Acosta, P., y Ponce, H. (1978). Las algas superficiales del lago Titicaca. Universidad Nacional del Altiplano
- Aldave, P. (1989). Algas (Edit. Libe).
- Alván Alvarado, J., Rodríguez Chú, L., y Alvan Aguilar, M. (2012). Evaluación preliminar de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de la laguna de quistococha, Iquitos, Perú. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 2(2), 86.  
<https://doi.org/10.22386/ca.v2i2.30>
- Andrade, M. (2008). Mitos y verdades acerca del cambio climático en Bolivia. *Revista Boliviana de Física*, 14, 42–49.
- APHA-AWWA-WEF. (2012a). Part 10200 Plankton. C.1, F.2, c.1. SMEWW. (21st ed.).
- APHA-AWWA-WEF. (2012b). Part 10300 C, Items 1 y 2, Periphyton. sample analysis. Sedgwick-Rafter Counts. inverted microscope method counts. SMEWW-22nd (22nd ed.).
- APHA-AWWA-WEF. (2012c). Part 10500 C.2. Benthic macroinvertebrates. sample processing and analysis. (22nd Ed.).
- Arcos - Pulido, M. del P., y Gómez Prieto, A. C. (2006). Microalgas perifíticas como indicadores del estado de las aguas de un humedal urbano: Jaboque, Bogotá D.C., Colombia. *Nova*, 4(6), 60–79. <https://doi.org/10.22490/24629448.362>
- Atencio, S., Alfaro, R., y Mollocondo, M. H. (2009). Manual de importación y reincubación de ovas de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*).
- Avendaño, D., y Caballero, M. (2020). Especie *Stephanodiscus niagarae*. En diatomeas: clase Coscinodiscophyceae (L. de Paleolimnología (ed.); Instituto).



- use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish, second edition, EPA 841-B-99-002, EPA Office of Water. rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers, 337.  
<http://www.epa.gov/OWOW/monitoring/techmon.html>
- Bettarbee, R. (1986). Diatoms analysis. handbook of holocene palaeoecology and palaeohydrology.
- Binford, M. B., Kolata, A. L., Brenner, M., Janusek, J. W., Seddon, M. T., Abbott, M., y Curtis, J. H. (1997). Climate variation and the rise and fall of an andean civilization.
- Bojorge-García, M. G., y Cantoral Uriza, E. A. (2016). The ecological importance of algae in rivers. *Hidrobiologica*, 26(1), 1–8.  
<https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2016v26n1/cantoral>
- Bojsen, B. H., y Barriga, R. (2002). Effects of deforestation on fish community structure. *Freshwater Biology*, 47(11), 2246–2260.
- Bourrelly, P. (1985). Les algues d'eau douce initiation à la systématique. Tome III: les algues bleues et rouges les eugléniens, peridiniés et cryptomonadines. Ecitorial N. Boubee et Cie.
- Buschmann, A. H. (2001). Impacto ambiental de la acuicultura (Issue 56).
- Buschmann, A., López, D. A., y Medina, A. (1996). A review of the environmental effects and alternative production strategies of marine aquaculture in Chile. *Aquacultural*.
- Buschmann, Alejandro H., Riquelme, V. A., Hernández-González, M. C., Varela, D., Jiménez, J. E., Henríquez, L. A., Vergara, P. A., Guíñez, R., y Filún, L. (2006). A review of the impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeast pacific. *ICES Journal of Marine Science*, 63(7), 1338–1345.  
<https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.04.021>
- Cáceres, D. (2024). Distribución espacial y vertical de la diversidad y abundancia de fitoplancton en la bahía interior y exterior del lago Titicaca, Puno. Tesis, 1–168.  
[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza\\_Mama\\_ni\\_Joel\\_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mama_ni_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y)



- con diatomeas (Bacillariophyceae), una experiencia en Tacna, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 30(1), 58–63.  
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v30n1/a12v30n1.pdf>
- Canizal, A. (2009). Catálogo ilustrado de diatomeas dulceacuícolas mexicanas. I. Familia NAVICULACEAE. Tesis, 64.  
<http://repositorio.fciencias.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11154/139763/PDFunificado.pdf?sequence=1>
- Carney, H. J., Richerson, P. J., y Eloranta, P. (1987). lake Titicaca (Perú/Bolivia) phytoplankton: species composition and structural comparison with the tropical and temperate lakes. (*Arch. Hydr.*)
- Casas, C. B., y Puntaca, L. A. (2014). Estudio del fitoplancton en el lago Titicaca CR 2014. *Academia*, I (1), 1–11.
- Casco, A. (1990). El perifiton del embalse de la minilla. Universidad de Sevilla.
- Chura, R., y Mollocondo, H. (2009). Desarrollo de la acuicultura en el Lago Titicaca (Perú). *Revista AquaTIC*, 31(February), 6–19.
- Contreras, D. A. (2010). Landscape and Enviroment: Insights from the prehispanic central andes.
- Cornel, G. E., y Whoriskey, F. G. (1993). The effects of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cage culture on the water quality, zooplankton, benthos and sediments of lac du Passage, Quebec. *Aquaculture*, 109(2), 101–117.  
[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90208-G](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90208-G)
- Dejoux, Claude, y Iltis, A. (1991). El lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual (Orstom (ed.)).
- Delgado, E., y Bernales, A. (2009). La comunidad microalgal del invierno 2009 durante crucero de caracterización bio-ecológica de la zona litoral del lago Titicaca en áreas seleccionadas. Cr0907. Diciembre 2009.  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36190.18242>



- su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia*, 26(2), 381–394.
- Dirección Regional de Producción. (2009). Memoria anual de la dirección de acuicultura e investigación 2009.
- Dolbeth, M., Pardal, M. A., Lillebø, A. I., Azeiteiro, U., y Marques, J. C. (2003). Short- and long-term effects of eutrophication on the secondary production of an intertidal macrobenthic community. *Marine Biology*, 143(6), 1229–1238. <https://doi.org/10.1007/s00227-003-1133-5>
- Domínguez, A. (2022). Variabilidad espacial y temporal del fitoplancton en la Bahía de Puno- lago Titicaca.
- Domínguez, E., y Fernández, H. R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos Sudamericanos: Sistemática y Biología (1ra Edición, Issue January).
- Donato, J. C. (1991). Fitoplancton y aspectos fisicoquímicos de la laguna de Chingaza en Cundinamarca, Colombia. *Revista Caldasia*, 16, 489–500.
- Donato, J., y Martínez, L. F. (2003). Efectos del caudal sobre la colonización (Boyacá, Colombia) pical high mountains (Boyacá, Colombia). *Caldasia*, 25(2), 337–354.
- Douterelo, I., Perona, E., y Mateo, P. (2004). Use of cyanobacteria to assess water quality in running waters. *environmental pollution*, 127(3), 377–384. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.08.016>
- Enríquez, E., y Marquina, R. (2009). Evaluación del estado de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos durante el crucero de caracterización bioecológica de la zona litoral del lago Titicaca en áreas seleccionadas cr0907. *IMARPE*, 40–48.
- Escobar, A. F., y Montoya, Y. (2019). Los macroinvertebrados acuáticos y la calidad biológica del agua en una quebrada andina, Antioquia-Colombia. 15, 65–81.
- Escobar, F. (2019). Determinación de parámetros físico-químicos y niveles de metales pesados en agua y sedimentos en la zona de crianza de truchas (*Oncorhynchus mykiss*), bahía de puno del lago Titicaca. In repositorio Institucional UNA-PUNO (Vol. 1). Universidad Nacional del Altiplano.



- Fernández-González, C., Tarran, G. A., Schuback, N., Woodward, E. M. S., Arístegui, J., y Marañón, E. (2022). Phytoplankton responses to changing temperature and nutrient availability are consistent across the tropical and subtropical Atlantic. *Communications Biology*, 5(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03971-z>
- Fernández, L. (2022). Diversidad de macroinvertebrados bentónicos en zonas litorales del lago Titicaca, Julio 2019. *Inf. Inst, Mar Perú*, 49(4), 577–586.
- Figuroa, V., y Sánchez, M. (1997). Tratamiento y utilización de residuos de origen animal, pesquero y alimenticio en la alimentación animal. In *producción y sanidad animal*. <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>
- Folke, C., y Kautky, N. (1989). The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. 18(4), 234–243.
- Folke, C., Kautsky, N., Berg, H., Jansson, A., y Troell, M. (1998). The ecological footprint concept for sustainable seafood production: a review. *ecological applications*, 8(1), S63. <https://doi.org/10.2307/2641363>
- Fontúrbel, F. (2003). Algunos criterios biológicos sobre el proceso de eutrofización a orillas de seis localidades del lago Titicaca. *Ecología Aplicada*, 2, 75–79.
- Fontúrbel, F., Molina, C., y Richard, E. (2006). Evaluación rápida de la diversidad de fitoplancton en aguas eutróficas del lago Titicaca (Bolivia) y su uso como indicador del grado de contaminación. *ciencia abierta internacional*, 29(June 2014), 1–12.
- Godínez, J. (2008). Colectores de algas de México (1787-1954). *Acta Botánica Mexicana*, 85, 75–97. <http://www.scielo.org.mx/pdf/abm/n85/n85a6.pdf>
- Gomà, J., Cambra, J., Ector, L., y Tudesque, L. (2002). Red de diatomeas en la cuenca del Ebro. campaña de muestreo verano 2002. Informe final. Confederación Hidrográfica Del Ebro, 37.
- Gómez, H. (1973). Técnica para limpieza y montaje de diatomeas. In *Ministerio de pesquería* (pp. 46–48). <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3927>



biológicos. 16. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/140318>

- González, E. L., Burbano, E. G., Aparicio, R. R., Duque, G. N., y Imuez, M. F. (2018). Impactos de la acuicultura en los nutrientes del agua y macroinvertebrados bentónicos del lago Guamez. *Revista MVZ Cordoba*, 23, 7035–7047. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1429>
- González G., S. M., Ramírez, Y. P., Meza S., A. M., y Días, L. G. (2012). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. *Boletín científico museo de historia natural*, 16(2), 135–148.
- Goyzueta Camacho, G. G. (2020). Alteración del hábitat y biodiversidad (macrófitos y aves) del lago Titicaca –Perú ocasionado por el trasvase de agua a Bolivia [Universidad Nacional del Altiplano - Puno]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/14779>
- Graneli, E., Carlsson, P., Olsson, P., y Sundstrom, B. (1989). From Anoxia to fish poisoning: The last ten years of phytoplankton blooms in swedish marine waters. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-75280-3\\_24](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-75280-3_24)
- Hallegraef, G. M. (1992). Harmful algal blooms in the Australian region. *Marine pollution bulletin*, 25(5–8), 186–190. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(92\)90223-S](https://doi.org/10.1016/0025-326X(92)90223-S)
- Hermes, R., Pedro, Z., Mario, G., Odila, de la T., Isabel, I., y Peña, M. (2007). Disolución de sílice biogénica en sedimentos de lagos utilizados como bioindicadores de calidad del agua. *E-Gnosis*, 5(4), 20. <https://www.redalyc.org/pdf/730/73000504.pdf>
- Iquise, S. (2017). Variación espacial del zooplancton en tres épocas en relación a factores fisicoquímicos del agua en la bahía interior y exterior del lago Titicaca, Puno.
- Karaca, I., y Pulatsü, S. (2003). The effect of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) cage culture on sediment quality in Kesikköprü reservoir, Turkey. *Turkish journal of fisheries and aquatic sciences*, 27(1), 65–70.





- Spheridae). 137–156.
- Lanza, G., Hernández, S., y Carbajal, L. (2000). Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores).
- Lazzaro, X., Alcoreza, P., Lanza, G., Flores, A., Fernández, P., Fernández, A., Zepita, C., Loayza, E., y Ibañez, C. (2016). Crucero binacional de evaluación de recursos pesqueros y condiciones limnológicas del lago Titicaca- Cr.1507-08 - Jul- Ago 2015- Informe técnico del Equipo Boliviano.
- Lazzaro, Xavier, y Gamarra, C. (2014). Funcionamiento limnológico y fotobiología del lago Titicaca. Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrobiológicos e hidrobiológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del lago Titicaca, 4, 155–193.
- Lee, C. L., y Lee, Y. (2009). Cyanobacterial bio-indicator survey for two main rivers in Taitung Taiwan. *J Ecol. Environ. Sc*, 2(1), 26.
- León, J. N. (2006). Synopsis of salmon farming impacts and environmental management in Chile. Consultancy technical report, 46.
- Liberman, M., y Miranda, C. (1987). Contribución al conocimiento del fitoplancton del lago Titicaca. (C. de A. T. CAF/IMARPE/UMSA (ed.)).
- Maidana, N. I., Izaguirre, I., Vinocur, A., Mataloni, G., y Pizarro, H. (2005). Diatomeas en transecto patagónico-antártica. *Ecología Austral*, 15(2), 159–176.
- Mantilla, B. (2004). Cultivo de truchas en jaulas flotantes (Editorial).
- Mantilla, Belisario. (2008). Efectos de la acuicultura en jaulas flotantes en el ecosistema acuático de la bahía de Chucuito, lago Titicaca. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/616>
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Omega.
- Markert, B. A., Breure, A. M., y Zechmeister, H. G. (2003). Chapter 1 Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment. 6(C), 3–39. [https://doi.org/10.1016/S0927-5215\(03\)80131-5](https://doi.org/10.1016/S0927-5215(03)80131-5)
- Marrugan, E. (1983). Ecological diversity and its measurement.



- sus implicaciones en el diagnóstico de la calidad del agua. Universidad de Sevilla.
- Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. (2012). Catálogo y claves de identificación de organismos fitoplanctónicos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Ministerio del ambiente. (2014). Estado de la calidad Ambiental de la Cuenca del lago Titicaca ámbito peruano. 162. <https://www.minam.gob.pe/puno/wp-content/uploads/sites/55/2014/02/estudio-del-estado-de-la-calidad-ambiental-cuenca-del-titicaca.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). Guía de inventario de la fauna silvestre. In Resolución Ministerial N° 057-2015-MINAM (Vol. 2, Issue 1). <http://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/GUÑA-A-DE-FAUNA-SILVESTRE.compressed.pdf>
- Montoya-Moreno, Y., Sala, S. E., Vouilloud, A. A., y Aguirre, N. (2012). Diatomeas (Bacillariophyta) perifíticas del complejo cenagoso de ayapel, Colombia. *I. Caldasia*, 34(2), 457–474.
- Montoya, Y., y Aguirre, N. (2013). Dinámica del ensamblaje algal epifítico en el sistema de planos inundables de ayapel a través del pulso de inundación. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 16(2), 491–500. <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n2.2013.923>
- Moreira, J., García, M., y García, E. (2010). Atlas de organismos planctónicos en los humedales de Andalucía. [http://personal.telefonica.terra.es/web/ayma/atlas\\_m.htm](http://personal.telefonica.terra.es/web/ayma/atlas_m.htm)
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *MyT - Manuales y Tesis SEA*, 1(June), 84.
- Needham, J. G., Needham, P. R., y Altamira, C. (1978). Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces.



- en el lago Titicaca, Perú: Capacitación investigaciones y manejo.
- O'sullivanm, P., y Reynolds, C. S. (2008). The lakes handbook: limnology and limnetic ecology. In Rehabilitation (Vol. 1).
- Orna, E., y Larico, C. (2023). Impactos de la truchicultura en los nutrientes del agua y macroinvertebrados bentónicos en la bahía de Puno, lago Titicaca. *Revista de Investigación Universitaria*, 13, 949–960.
- Ortega, H., Correa, V., y Hidalgo, M. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. In Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/Métodos-de-Colecta-identificación-y-análisis-de-comunidades-biológicas.compressed.pdf>
- Pan, Y., Hill, B. H., Husby, P., Hall, R. K., y Kaufmann, P. R. (2006). Relationships between environmental variables and benthic diatom assemblages in California Central Valley streams (USA). *Hydrobiologia*, 561(1), 119–130. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1609-z>
- Parra, O., Gonzales, M., Dellarossa, V., Rivera, P., y Orellana, M. (1982). Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales: Bacillariophyceae.
- Pennak, R. W. (1946). The dynamics of Fresh-water plankton populations. (*Ecological*, Vol. 16, Issue 4).
- Peraza, R. (2017). Diversidad y abundancia de fitoplancton del embalse Abreus (Cienfuegos, Cuba).
- Pinilla, G. (2000). Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica. *JANUARY 1998*, 67.
- Ponce, F. J. (2019). Macroinvertebrados bentónicos en principales zonas de contaminación de la bahía de Puno – lago Titicaca. 88. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/830>
- PRODUCE. (2023). Anuario estadístico pesquero y acuícola 2022.



- durante la evaluación de biomasa de recursos pesqueros, julio 2019. Informe Instituto Del Mar Del Perú, 49(4).
- Rabassó, M. (2011). Los impactos ambientales de la acuicultura, causas y efectos. Vector Plus, 54–65.
- Ramírez-R, J. J., González-B, R., y Gutiérrez-V, F. L. (2012). Establecimiento del nutriente limitante con base en los cambios de la estructura del ensamblaje fitoplanctónico en un embalse tropical colombiano. *Caldasia*, 34(2), 421–441.
- Reques, R. (2005). Conservacion de la biodiversidad en los humedales de Andalucía.
- Rivas, A., Gómez, R. E., y Monterrosa, A. (2010). Consideraciones generales para el estudio y monitoreo de diatomeas en los principales ríos de El Salvador (E. el S. Salvador (ed.)).
- Roldan, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 23(88), 375–387.
- Ruiz, J. E., Molina, J. A., Saavedra, G. E., Contreras, M. M., y Mojica, C. J. I. (1984). Incidencia de la precipitación, eutroficación y calidad bacteriológica en la composición planctónica del lago Tota. *HMAT*, 162.
- Salamanca, S. (2020). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad en el lago Titicaca: Bahía Interior de Puno. *Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(2), 1–11.  
[https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri\\_ctd/index](https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/index)
- Salinas, J., y Alarcón, E. (2017). Acuicultura: Trucha, una opción para el desarrollo de comunidades andinas. (Issue 2016). Universidad de Piura.
- Sellner, K. G., Doucette, G. J., y Kirkpatrick, G. J. (2003). Harmful algal blooms: Causes, impacts and detection. *Journal of industrial microbiology and biotechnology*, 30(7), 383–406. <https://doi.org/10.1007/s10295-003-0074-9>
- Sindilariu, P. D., Reiter, R., y Wedekind, H. (2009). Impact of trout aquaculture on water quality and farm effluent treatment options. *Aquatic living resources*, 22(1), 93–103. <https://doi.org/10.1051/alr/2009009>



- expansion of dinoflagellates. In *Journal of Oceanography* (Vol. 58, pp. 281–294).
- Solimini, A. G., Free, G., Donohue, I., Irvine, I., Pusch, M., Rossaro, B., Sandin, L., y Cardoso, A. C. (2006). Using benthic macroinvertebrates to assess ecological status of lakes current knowledge and way forward to support wfd implementation using benthic macroinvertebrates to assess ecological status of lakes current knowledge and way forward to support wfd im (issue january).
- Soto, D., y Norambuena, F. (2004). Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas of southern Chile: A large-scale mensurative experiment. *Journal of Applied Ichthyology*, 20(6), 493–501. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2004.00602.x>
- Stewart, A. J., Jonh, E. A., y Hutchings, M. J. (2000). The world is heterogeneous: ecological consequences of living in a patchy environment. the ecological consequences of environmental heterogeneity, 1–8.
- Teodorowicz, M., Gawronska, H., Lossw, K., y Lopata, M. (2006). Impact of trout farms on water quality in the maróзка river (mazurian lakeland, Poland). *Archives of Polish Fisheries*, 14(1), 243–255. <https://doi.org/10.47604/ijns.2661>
- Trapp, A. (2018). Efectos de la acuicultura sobre las condiciones químicas y biológicas del sedimento.
- Troell, M., Halling, C., Nilsson, A., Buschmann, A. H., Kautsky, N., y Kautsky, L. (1997). Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output. *Aquaculture*, 156(1–2), 45–61. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00080-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00080-X)
- Turpo, R., y Sanga, W. (2013). Diversidad y abundancia de la comunidad planctónica en la bahía de Puno y lago grande (sector peruano) del lago Titicaca.
- Urrutia, R. B., y Vuille, M. (2009). Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st Century. *Journal of Geophysical Research*.



CIAD/Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental. Ap. 711(669).

Vilca, J. (2008). Impacto de la truchicultura en jaulas flotantes sobre el ecosistema acuático en Tiquina, lago Titicaca. Repositorio Institucional UNA-PUNO.

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/618>

Wetzel, R. (2001). Limnology: Lake and river ecosystems (San Diego Academic (ed.)).

Wilhem, E. (1981). Características limnológicas de algunos cuerpos de agua del Perú.

Yapuchura, A. (2006). Producción y comercialización de truchas en el departamento de Puno y nuevo paradigma de producción, Tesis. 54.

<http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/2674>



## ANEXO 1

*Densidad de especies identificadas en áreas con jaulas y sin jaulas durante 6 meses de evaluación en la zona de Barco (Chucuito).*

Especies	2023						2024					
	Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero	
	Con Jaulas	Sin Jaulas	Con Jaulas	Sin Jaulas	Con Jaulas	Sin Jaulas	Con Jaulas	Sin Jaulas	Con Jaulas	Sin Jaulas	Con Jaulas	Sin Jaulas
<i>Achnanthes</i> sp.	0	0	0	2066	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Amphipleura</i> sp.	0	0	4132	0	10331	0	0	0	0	0	0	0
<i>Amphora ovalis</i>	12397	6198	20661	2066	4132	0	18595	6198	8264	6198	0	0
<i>Asterionella formosa</i>	6198	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cocconeis placentula</i>	212810	12397	349174	88843	557851	74380	667355	55785	855372	55785	1014463	6198
<i>Cocconeis</i> sp.	16529	0	0	10331	4132	0	10331	33058	0	0	0	0
<i>Craticula</i> sp.	0	0	0	0	0	2066	0	0	0	0	0	0
<i>Cyclotella</i> sp.	0	0	0	6198	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cymatopleura solea</i>	0	0	0	0	2066	0	2066	0	0	4132	0	0
<i>Cymbella</i> sp.	18595	0	10331	6198	2066	0	8264	2066	4132	2066	0	0
<i>Diatoma</i> sp.	0	0	6198	0	8264	0	6198	0	0	4132	2066	0
<i>Discostella stelligera</i>	76446	45455	256198	43388	535124	78512	774793	49587	384298	43388	574380	53719
<i>Epithemia adnata</i>	8264	4132	72314	28926	61983	4132	68182	18595	6198	14463	14463	0
<i>Epithemia sorex</i>	0	0	57851	20661	49587	2066	6198	4132	14463	16529	0	0
<i>Epithemia</i> sp.	177686	20661	28926	0	214876	35124	233471	14463	853306	4132	493802	12397
<i>Epithemia zebra</i>	41322	14463	68182	37190	43388	2066	55785	2066	26860	6198	30992	0
<i>Fragilaria construens</i>	0	0	0	4132	2066	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fragilaria crotonensis</i>	4132	4132	2066	0	0	0	0	2066	22727	0	0	2066
<i>Gomphonema gracile</i>	0	0	2066	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema hebridense</i>	0	0	2066	0	26860	0	0	0	0	2066	0	0
<i>Gomphonema</i> sp.	28926	6198	167355	14463	181818	2066	95041	10331	16529	4132	8264	0
<i>Gyrosigma</i> sp.	4132	0	2066	0	0	0	2066	0	0	0	0	0
<i>Navicula pseudocari</i>	0	0	4132	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula radiosa</i>	2066	0	12397	2066	16529	0	26860	0	30992	4132	18595	18595
<i>Navicula</i> sp.	14463	12397	8264	0	2066	4132	8264	4132	0	4132	185950	10331
<i>Neidium</i> sp.	0	0	0	6198	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia acicularis</i>	4132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia linearis</i>	0	0	4132	0	0	0	8264	0	0	0	12397	0
<i>Nitzschia sigmoidea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	59917	0	0	0
<i>Nitzschia</i> sp.	39256	10331	2066	0	2066	2066	12397	0	2066	0	0	0
<i>Pinnularia divergens</i>	0	0	0	0	2066	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia</i> sp.	0	0	0	0	0	2066	0	0	0	0	0	0
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	138430	0	0	0	0	0	24793	0	0	0	22727	16529
<i>Rhoicosphenia</i> sp.	12397	0	173554	4132	86777	2066	70248	16529	0	0	0	0
<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>	0	0	2066	0	8264	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stephanodiscus astraea</i>	35124	0	107438	14463	20661	2066	241736	10331	285124	8264	0	0
<i>Stephanodiscus</i> sp.	0	16529	0	0	6198	4132	0	4132	0	4132	466942	26860
<i>Surirella</i> sp.	10331	0	0	0	0	0	0	4132	0	0	0	0
<i>Synedra</i> sp.	2066	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: CJ = Con jaulas; SJ = Sin Jaulas



*Densidad de especies identificadas en áreas con jaulas y sin jaulas durante 6 meses de evaluación en la zona de Chucasuyo (Juli).*

Especies	2023								2024			
	Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero	
	Con Jaulas	Sin Jaulas	Con Jaulas	Sin Jaulas	Con Jaulas	Sin Jaulas	Con Jaulas	Sin Jaulas	Con Jaulas	Sin Jaulas	Con Jaulas	Sin Jaulas
<i>Achnanthes</i> sp.	0	0	2066	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Amphipleura</i> sp.	0	0	2066	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Amphora ovalis</i>	14463	8264	0	0	8264	0	0	0	0	0	0	0
<i>Asterionella formosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	8264	0	0	0
<i>Campylodiscus</i> sp.	0	0	4132	0	0	0	0	2066	0	0	0	0
<i>Cocconeis placentula</i>	126033	12397	119835	2066	417355	0	471074	8264	183884	2066	477273	18595
<i>Cocconeis</i> sp.	10331	0	8264	0	0	0	0	0	6198	0	188017	0
<i>Cyclotella</i> sp.	0	0	2066	0	0	2066	0	0	0	0	0	0
<i>Cymatopleura solea</i>	0	2066	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cymbella</i> sp.	4132	0	8264	8264	0	0	0	8264	0	0	0	0
<i>Diatoma</i> sp.	0	0	14463	2066	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Diploneis smithii</i>	0	0	0	0	2066	2066	0	0	0	0	0	0
<i>Discostella stelligera</i>	146694	8264	18595	10331	353306	8264	188017	35124	481405	30992	710744	33058
<i>Epithemia adnata</i>	26860	0	33058	0	26860	0	2066	6198	14463	4132	0	0
<i>Epithemia sorex</i>	0	0	26860	0	0	0	2066	0	0	0	0	0
<i>Epithemia</i> sp.	61983	28926	2066	4132	16529	22727	14463	8264	183884	14463	502066	0
<i>Epithemia zebra</i>	196281	6198	491736	10331	140496	4132	599174	0	652893	4132	0	0
<i>Fragilaria capucina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2066	0
<i>Fragilaria crotonensis</i>	6198	0	0	0	0	0	4132	6198	4132	0	6198	0
<i>Gomphonema dichotomum</i>	0	0	0	2066	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gomphonema</i> sp.	8264	0	12397	0	14463	2066	0	0	0	0	0	0
<i>Iconella biseriata</i>	0	0	4132	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Iconella nervosa</i>	0	0	2066	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula aueri</i>	0	0	4132	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula radiosa</i>	0	0	0	0	22727	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula</i> sp.	22727	6198	0	26860	12397	0	16529	0	8264	0	18595	0
<i>Nitzschia acicularis</i>	0	2066	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia</i> sp.	14463	8264	0	0	4132	0	0	10331	0	0	2066	0
<i>Placoneis</i> sp.	0	0	4132	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	10331	30992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhoicosphenia</i> sp.	0	0	6198	0	8264	0	22727	0	0	0	4132	4132
<i>Rhopalodia</i> sp.	0	0	0	0	2066	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stephanocyclus meneghinianus</i>	0	0	8264	0	6198	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stephanodiscus astraea</i>	18595	0	18595	12397	61983	35124	82645	22727	175620	20661	262397	26860
<i>Stephanodiscus</i> sp.	0	0	0	4132	0	0	6198	2066	0	0	2066	0
<i>Surirella ovalis</i>	0	0	8264	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Surirella</i> sp.	0	8264	4132	6198	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Synedra</i> sp.	0	0	6198	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Synedra ulna</i>	10331	0	6198	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: CJ = Con jaulas; SJ = Sin Jaulas



### ANEXO 3

Valores de diversidad calculados (Shannon-Wiener ( $H'$ )) para las zonas de evaluación.

Diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ )									
Zona	Área	Estación	Replica	2023				2024	
				Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Barco	Con Jaula	B-J1	R1	2.71	2.98	3.02	2.59	2.25	2.34
			R2	2.92	3.14	2.45	2.80	2.15	2.38
			R3	2.72	3.01	2.51	2.61	2.38	2.31
		B-J2	R1	2.89	3.07	2.80	2.52	2.21	2.30
			R2	3.32	2.93	2.85	2.64	2.11	2.47
			R3	3.00	2.86	2.42	2.28	2.21	2.36
		B-J3	R1	2.92	2.85	2.23	2.78	2.19	2.34
			R2	3.16	2.98	2.43	2.56	2.24	2.41
			R3	2.93	2.79	2.49	2.57	2.38	2.37
	Sin Jaula	B-B1	R1	2.30	2.20	1.84	2.55	2.55	1.91
			R2	1.92	1.69	1.83	2.42	2.42	1.52
			R3	2.12	2.06	1.42	2.50	2.50	2.06
		B-B2	R1	2.32	2.31	2.15	2.50	2.50	1.25
			R2	2.48	2.22	1.34	1.45	1.45	2.16
			R3	1.79	2.31	1.46	2.45	2.45	1.91
		B-B3	R1	2.20	2.58	1.83	1.79	1.79	1.66
			R2	2.25	2.34	2.16	2.63	2.63	2.29
			R3	1.92	2.66	1.46	2.37	2.37	1.38
Chucasuyo	Con Jaula	CH-J1	R1	2.64	2.74	2.56	2.04	2.19	2.28
			R2	2.52	3.00	2.03	2.16	2.14	2.26
			R3	2.71	1.39	2.29	1.67	2.13	2.31
		CH-J2	R1	2.41	1.77	1.99	1.79	2.10	2.29
			R2	2.65	2.31	2.20	1.80	2.25	2.21
			R3	2.78	1.69	2.18	1.83	2.23	2.28
		CH-J3	R1	2.48	1.26	2.25	2.15	2.17	2.27
			R2	2.62	1.64	2.34	1.81	2.20	2.24
			R3	2.83	1.15	1.91	1.92	2.34	2.21
	Sin Jaula	CH-B1	R1	2.74	1.50	0.92	0.99	1.92	0.92
			R2	3.00	1.50	0.92	1.37	1.25	1.52
			R3	1.39	0.92	1.50	1.57	1.50	0.92
		CH-B2	R1	1.77	0.92	0.92	0.92	0.81	1.50
			R2	2.31	0.92	0.92	1.50	0.92	1.46
			R3	1.69	2.11	1.50	2.25	0.92	0.97
		CH-B3	R1	1.26	1.52	0.97	1.37	1.50	1.37
			R2	1.64	0.97	1.50	1.52	0.92	0.92
			R3	1.15	1.38	0.97	0.81	0.81	1.46

Nota: CJ = Con jaulas; SJ = Sin Jaulas

## ANEXO 4

*Temperatura (°C) registrada en las zonas de Barco y Chucasuyo.*

Parámetro: Temperatura (°C)									
Zona	Área	Profundidad	Replica	2023				2024	
				Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Barco	Con Jaulas	Superficie	B-J1	14.2	16.2	16.8	14.6	17.7	17.1
			B-J3	14.8	16.3	17.7	15	18	17.3
			B-J5	15.6	16.5	17.6	14.8	18.3	17.4
		Medio	B-J1	15.6	16.2	16.7	14.5	17.5	17.2
			B-J3	-	16.2	17	14.7	18	17.1
			B-J5	15.3	16.5	17.1	14.6	17.9	17.2
		Fondo	B-J1	15.6	16.1	16.5	14.1	17.5	16.9
			B-J3	15.8	16.2	16.7	14.5	17.7	17
			B-J5	15.7	16.3	17	14.2	17.7	16.9
	Sin Jaulas	Superficie	B-B1	15.4	16.3	16.5	15.8	17.5	17.1
			B-B2	15.4	17	16.5	15.4	17.4	17.1
			B-B3	15.5	16.9	16.6	15.4	17.2	17.1
		Medio	B-B1	15.4	16.9	16.4	14.9	17.6	16.9
			B-B2	15.6	16.2	16.4	14.5	17.2	16.9
			B-B3	15.6	16.2	16.5	14	17	17
Fondo		B-B1	15.7	16	16.4	13.9	17.3	16.9	
		B-B2	15.6	15.8	16.3	14	16.8	17	
		B-B3	15.8	15.2	16.5	13.7	16.7	17	
Chucasuyo	Con Jaulas	Superficie	CH-J1	15.4	15.9	15.8	14.6	16.8	16.7
			CH-J4	15.8	15.8	15.9	15.3	16.9	16.7
			CH-J5	15.5	16.1	15.9	14.7	16.5	16.6
		Medio	CH-J1	15.4	15.6	15.6	14	16.3	16.3
			CH-J4	15.4	15.9	15.6	-	16.3	16.4
			CH-J5	15.4	15.6	15.7	13.4	16.3	16.4
		Fondo	CH-J1	13.7	14.6	14.6	13	15.3	15.1
			CH-J4	13.7	14.6	14.6	13.2	15.2	15.1
			CH-J5	13.8	14.6	14.4	13	14.7	15
	Sin Jaulas	Superficie	CH-B1	15.6	16.2	16	14.6	16.6	16.4
			CH-B2	15.7	16.1	15.9	14.5	16.6	16.4
			CH-B3	15.2	16.1	15.8	14.5	16.6	16.4
		Medio	CH-B1	15.4	15.7	15.7	13.3	16.2	16.5
			CH-B2	15.4	15.3	15	13.3	16.1	16.4
			CH-B3	15.1	15.2	15.1	13.2	16.3	16
Fondo	CH-B1	13.7	14.4	14.4	12.9	14.7	14.9		
	CH-B2	13.6	14.1	14.1	12.9	14.5	14.5		
	CH-B3	13.6	14.2	14	12.9	14.2	14.2		

Nota: Datos tomado desde septiembre a diciembre de 2023, enero a febrero de 2024.

## ANEXO 5

*pH registrado en las zonas de Barco y Chucasuyo.*

Parámetro: pH									
Zona	Área	Profundidad	Replica	2023				2024	
				Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Barco	Con Jaulas	Superficie	B-J1	8.29	8.55	8.57	9.50	8.57	8.59
			B-J3	8.76	8.59	8.57	8.19	8.56	8.60
			B-J5	8.77	8.62	8.54	8.04	8.60	8.53
		Medio	B-J1	8.10	8.59	8.58	8.51	8.60	8.59
			B-J3	-	8.69	8.57	8.14	8.59	8.60
			B-J5	8.73	8.63	8.50	8.01	8.61	8.58
	Fondo	B-J1	8.35	8.61	8.60	8.09	8.62	8.59	
		B-J3	8.74	8.62	8.61	8.10	8.60	8.60	
		B-J5	8.83	8.62	8.59	7.94	8.63	8.59	
	Sin Jaulas	Superficie	B-B1	8.94	8.64	8.63	9.10	8.61	8.59
			B-B2	9.00	8.64	8.62	9.40	8.61	8.59
			B-B3	8.76	8.65	8.62	9.48	8.61	8.61
		Medio	B-B1	8.90	8.63	8.64	9.12	8.63	8.60
			B-B2	9.04	8.58	8.61	9.38	8.61	8.60
			B-B3	8.75	8.63	8.32	9.46	8.62	8.61
	Fondo	B-B1	8.96	8.63	8.62	9.22	8.62	8.61	
		B-B2	9.03	8.59	8.51	9.41	8.57	8.60	
		B-B3	8.74	8.60	8.63	9.41	8.59	8.61	
Chucasuyo	Con Jaulas	Superficie	CH-J1	7.50	8.48	8.50	8.50	8.57	8.55
			CH-J4	7.35	8.51	8.54	7.77	8.51	8.56
			CH-J5	7.54	8.47	8.54	8.21	8.60	8.56
		Medio	CH-J1	7.53	8.49	8.54	8.63	8.59	8.59
			CH-J4	7.39	8.51	8.55	-	8.55	8.59
			CH-J5	7.60	8.49	8.56	8.28	8.61	8.58
	Fondo	CH-J1	7.45	8.39	8.45	8.65	8.49	8.45	
		CH-J4	7.37	8.43	8.46	8.27	8.43	8.48	
		CH-J5	7.52	8.40	8.43	8.75	8.47	8.47	
	Sin Jaulas	Superficie	CH-B1	7.70	8.45	8.57	8.26	8.58	8.60
			CH-B2	8.24	8.46	8.56	8.99	8.59	8.58
			CH-B3	8.25	8.46	8.55	9.07	8.58	8.56
		Medio	CH-B1	8.02	8.47	8.56	9.01	8.59	8.61
			CH-B2	8.34	8.49	8.53	9.09	8.60	8.59
			CH-B3	8.26	8.47	8.54	9.12	8.59	8.55
	Fondo	CH-B1	8.20	8.38	8.43	8.97	8.48	8.46	
		CH-B2	8.15	8.39	8.42	9.04	8.43	8.42	
		CH-B3	8.29	8.43	8.42	9.10	8.37	8.34	

Nota: Datos tomado desde septiembre a diciembre de 2023, enero a febrero de 2024.

## ANEXO 6

*Oxígeno disuelto registrado en las zonas de Barco y Chucasuyo.*

Parámetro: Oxígeno Disuelto (mg/l)									
Zona	Área	Profundidad	Replica	2023				2024	
				Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Barco	Con Jaulas	Superficie	B-J1	6.30	5.96	6.02	7.58	6.46	6.05
			B-J3	6.32	6.02	6.07	7.46	6.42	6.14
			B-J5	6.24	6.09	6.02	7.56	6.55	6.16
		Medio	B-J1	6.40	5.98	6.00	7.54	6.58	6.05
			B-J3	-	6.02	5.97	7.53	6.50	6.12
			B-J5	6.32	6.07	5.80	7.52	6.69	6.06
		Fondo	B-J1	6.36	5.95	6.05	6.69	6.62	6.07
			B-J3	6.31	6.03	6.18	7.42	6.64	6.15
			B-J5	6.33	6.05	6.17	6.96	6.86	6.10
	Sin Jaulas	Superficie	B-B1	6.47	6.25	6.37	7.47	6.60	6.14
			B-B2	6.48	6.23	6.41	7.41	6.54	6.17
			B-B3	6.31	6.31	6.33	7.58	6.51	6.30
		Medio	B-B1	6.53	6.22	6.33	7.42	6.58	6.13
			B-B2	6.52	5.95	6.31	7.43	6.51	6.14
			B-B3	6.26	6.25	6.31	7.65	6.62	6.29
		Fondo	B-B1	6.52	6.06	6.20	7.36	6.57	6.12
			B-B2	6.53	5.86	5.59	7.68	6.31	6.10
			B-B3	6.12	6.34	6.36	7.31	5.98	6.28
Chucasuyo	Con Jaulas	Superficie	CH-J1	-	6.36	5.98	6.45	6.31	6.18
			CH-J4	-	6.33	6.29	6.70	6.30	6.15
			CH-J5	-	6.50	6.33	6.56	6.34	6.19
		Medio	CH-J1	-	6.50	6.36	6.59	6.37	6.26
			CH-J4	-	6.45	6.38	-	6.38	6.24
			CH-J5	-	6.60	6.43	6.66	6.29	6.20
		Fondo	CH-J1	-	5.93	5.81	5.71	5.50	5.66
			CH-J4	-	6.06	5.85	5.64	5.62	5.64
			CH-J5	-	5.81	5.68	5.68	5.51	5.50
	Sin Jaulas	Superficie	CH-B1	-	6.49	6.44	6.73	6.39	6.24
			CH-B2	-	6.48	6.42	6.74	6.38	6.24
			CH-B3	-	6.50	6.46	6.75	6.40	6.24
		Medio	CH-B1	-	6.49	6.41	6.62	6.34	6.22
			CH-B2	-	6.51	6.32	6.68	6.34	6.23
			CH-B3	-	6.44	6.40	6.42	6.34	6.10
		Fondo	CH-B1	-	5.98	5.70	5.86	5.69	5.36
			CH-B2	-	5.78	5.54	5.93	5.46	5.29
			CH-B3	-	6.01	5.40	6.00	5.00	4.98

Nota: Datos tomado desde septiembre a diciembre de 2023, enero a febrero de 2024.

## ANEXO 7

### Conductividad eléctrica registrado en las zonas de Barco y Chucasuyo,

Parámetro: Conductividad Eléctrica (um/s)									
Zona	Área	Profundidad	Replica	2023				2024	
				Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Barco	Con Jaulas	Superficie	B-J1	1530	1580	1572	1532	1527	1520
			B-J3	1519	1581	1573	1531	1527	1520
			B-J5	1532	1581	1573	1513	1527	1520
		Medio	B-J1	1529	1581	1573	1533	1526	1520
			B-J3	-	1581	1574	1532	1526	1521
			B-J5	1533	1580	1571	1532	1526	1519
		Fondo	B-J1	1532	1581	1574	1532	1526	1520
			B-J3	1531	1579	1572	1531	1525	1520
			B-J5	1535	1577	1567	1532	1522	1520
	Sin Jaulas	Superficie	B-B1	1528	1575	1574	1529	1526	1519
			B-B2	1526	1579	1572	1528	1527	1519
			B-B3	1580	1578	1572	1596	1526	1520
		Medio	B-B1	1531	1580	1572	1530	1527	1519
			B-B2	1532	1577	1571	1532	1526	1519
			B-B3	1578	1577	1572	1529	1525	1520
Fondo	B-B1	1533	1576	1572	1528	1524	1520		
	B-B2	1530	1573	1572	1528	1520	1520		
	B-B3	1577	1565	1573	1527	1522	1520		
Chucasuyo	Con Jaulas	Superficie	CH-J1	1513	1517	1510	1513	1510	1510
			CH-J4	1519	1527	1509	1537	1511	1510
			CH-J5	1516	1517	1510	1513	1511	1509
		Medio	CH-J1	1517	1513	1509	1512	1510	1510
			CH-J4	1517	1515	1510	-	1510	1509
			CH-J5	1518	1513	1508	1511	1511	1509
		Fondo	CH-J1	1512	1511	1513	1512	1513	1511
			CH-J4	1512	1513	1514	1511	1511	1511
			CH-J5	1512	1514	1515	1511	1514	1513
	Sin Jaulas	Superficie	CH-B1	1516	1516	1509	1513	1510	1511
			CH-B2	1515	1517	1509	1514	1511	1510
			CH-B3	1520	1515	1510	1511	1510	1509
		Medio	CH-B1	1517	1510	1510	1511	1510	1510
			CH-B2	1517	1515	1512	1512	1511	1510
			CH-B3	1514	1512	1512	1511	1509	1511
Fondo	CH-B1	1511	1510	1513	1511	1512	1515		
	CH-B2	1512	1510	1513	1512	1512	1512		
	CH-B3	1511	1512	1513	1511	1512	1509		

Nota: Datos tomado desde septiembre a diciembre de 2023, enero a febrero de 2024.



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

## CONSTANCIA

EL QUE SUSCRIBE, COORDINADOR DEL LABORATORIO CONTINENTAL DE PUNO DEL INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

HACER CONSTAR,

Que el bachiller **DENNYS ALFREDO ARPASI ORDOÑO**, con código de matrícula 120006 y DNI 70054344, egresado de la facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, ha realizado su trabajo de investigación titulado "**INFLUENCIA DEL CULTIVO INTENSIVO DE TRUCHAS (*Oncorhynchus mykiss*) EN LA PRESENCIA DE DIATOMEAS Y MACROINVERTEBRADOS EN DOS ZONAS DE LAGO TITICACA, 2023**", en el área de Limnología del Laboratorio Continental de Puno – IMARPE, durante los meses de octubre de 2023 hasta mayo de 2024.

Se emite la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que se estime por conveniente.

Puno, 11 de diciembre de 2024

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

BLGO. CESAR GONZALEZ PIRALTA  
COORDINADOR DEL LABORATORIO CONTINENTAL DE PUNO





**AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Por el presente documento, Yo Dennys Alfredo Arpasi Ordóñez,  
identificado con DNI 70054344 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
de Biología

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ Influencia del Cultivo intensivo de truchas (*Oncorhynchus mykiss*)  
en la presencia de diatomeas y macromvertebrados en dos zonas del  
Lago Titicaca, 2023 ”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 19 de diciembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Dennys Alfredo Arpasi Ordoño,  
identificado con DNI 70054344 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
de Biología

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"Influencia del cultivo intensivo de truchas (*Oncorhynchus mykiss*)  
en la presencia de diatomeas y macroinvertebrados ben dos zonas  
del Lago Titicaca, 2023."

Es un tema original.

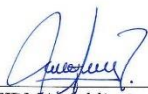
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 19 de diciembre del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella