

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA TRUCHICULTURA EN LOS
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA EN EL SECTOR BARCO DEL**

LAGO TITICACA – 2025

PRESENTADA POR:

DEYBY EDYSON TIQUE ALEJO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2026



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](https://www.upsc.edu.pe/) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



2.25%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 22 APR 2026, 2:18 PM

Originality & Authorship Report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
0.38%

● CHANGED TEXT
1.86%

Report #32631661

DEYBY EDYSON TIQUE ALEJO // EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA TRUCHICULTURA EN LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA EN EL SECTOR BARCO DEL LAGO TITICACA – 2025 RESUMEN La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto de la actividad truchícola sobre los parámetros físicoquímicos del agua en el sector Barco del Lago Titicaca, distrito de Chucuito, región Puno, durante el año 2025. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, longitudinal y de alcance descriptivo-comparativo. La muestra estuvo conformada por ocho puntos fijos de muestreo, clasificados según el nivel de intensidad de la actividad truchícola (alta, media, baja y nula), en los cuales se realizaron mediciones directas de temperatura, pH y oxígeno disuelto utilizando un equipo multiparamétrico YSI EcoSense ODO200/pH100A, a una profundidad aproximada de 10 metros y en horario matinal, durante cuatro semanas consecutivas. Los resultados evidenciaron que la temperatura del agua presentó valores homogéneos en todos los puntos evaluados, manteniéndose dentro de los rangos establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. En cuanto al pH, se registraron valores por debajo del límite mínimo permisible en los puntos correspondientes a zonas de alta intensidad truchícola, mientras que en las zonas de media, baja y nula intensidad los valores se mantuvieron dentro del rango normativo. Respecto al oxígeno disuelto, los

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS
EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA TRUCHICULTURA EN LOS
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA EN EL SECTOR BARCO DEL
LAGO TITICACA – 2025
PRESENTADA POR:
DEYBY EDYSON TIQUE ALEJO
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA


PRIMER MIEMBRO

: 
Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

SEGUNDO MIEMBRO

: 
Dra. CELIA VERENISSEE ORTIZ DE ORUE ROJAS

ASESOR DE TESIS

: 
Mg. LUIS ALBERTH ROSSEL BERNEDO

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 11 de mayo del 2026

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación, en primer lugar, a mis padres Juan Sergio Tique Vilca y Zelmira Alejo Asqui, por su esfuerzo constante, su apoyo incondicional y los valores que me inculcaron desde el inicio de mi formación personal y académica. Gracias por creer en mí, por acompañarme en cada etapa de este camino y por ser el principal motor que me impulsó a culminar mis estudios profesionales.

De igual manera, dedico este logro a mis hermanos, quienes siempre me brindaron su respaldo, comprensión y ánimo en los momentos más exigentes de mi vida universitaria. Su apoyo fue fundamental para no rendirme ante las dificultades y seguir adelante con determinación.

Este trabajo es el reflejo del sacrificio, la perseverancia y el amor de mi familia, a quienes estaré eternamente agradecido.

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a la Universidad Privada San Carlos, por brindarme una formación académica sólida y los conocimientos necesarios para mi desarrollo profesional en el campo de la Ingeniería Ambiental.
- A la Facultad de Ingenierías y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por la orientación académica y el acompañamiento durante todo mi proceso de formación universitaria.
- Expreso mi sincero agradecimiento a los miembros del jurado calificador, por sus observaciones, sugerencias y aportes académicos, los cuales contribuyeron a mejorar la calidad del presente trabajo de investigación.
- De manera especial, agradezco a mi asesor de tesis, por su orientación, paciencia y apoyo constante durante el desarrollo de esta investigación, así como por compartir sus conocimientos y experiencia profesional.
- Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, colaboraron en la realización del trabajo de campo y en la culminación de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	16
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	16
1.2. ANTECEDENTES	16
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	16
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	18
1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	22
---------------------------	-----------

2.1.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA ACUICULTURA Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES	22
2.1.2. ECOSISTEMAS LACUSTRES DE ALTA MONTAÑA: EL CASO DEL LAGO TITICACA	24
2.1.3. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA: FUNDAMENTOS TEÓRICOS	26
2.1.4. IMPACTOS DE LA TRUCHICULTURA SOBRE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	28
2.1.5. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL Y MARCO NORMATIVO	29
2.2. MARCO CONCEPTUAL	31
2.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	31
2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL	31
2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	32
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	33
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	34
3.2.1. POBLACIÓN	34
3.2.2. MUESTRA	35
3.3. MÉTODOS Y MATERIALES	36
3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	36
3.3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	37
3.3.3. MÉTODO	37
3.3.4. MATERIALES	37
3.3.5. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	39
3.4. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICO	39
3.4.1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1: MEDIR LA TEMPERATURA, EL PH Y EL OXÍGENO DISUELTO EN CUATRO PUNTOS ESTRATÉGICOS DEL	

SECTOR BARCO, MEDIANTE EL USO DEL EQUIPO YSI ECOSENSE ODO200/PH100A.	40
3.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2: COMPARAR LOS VALORES OBTENIDOS ENTRE ZONAS CON DISTINTOS NIVELES DE ACTIVIDAD TRUCHÍCOLA (ALTA, MEDIA, BAJA O NULA) PARA IDENTIFICAR POSIBLES DIFERENCIAS.	41
3.4.3. OBJETIVO ESPECÍFICO 3: VERIFICAR SI LOS PARÁMETROS MEDIDOS SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS LÍMITES ESTABLECIDOS POR LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) DEL DECRETO SUPREMO N.º 004-2017-MINAM.	41
3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	42
3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	42
3.6.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	43
CAPÍTULO IV	
EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 01	45
4.1.1. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AGUA	45
4.1.2. DETERMINACIÓN DEL PH DEL AGUA	46
4.1.3. DETERMINACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO DEL AGUA	47
4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 02	49
4.2.1. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AGUA SEGÚN EL NIVEL DE INTENSIDAD TRUCHÍCOLA	49
4.2.2. VARIACIÓN DEL PH DEL AGUA SEGÚN EL NIVEL DE INTENSIDAD TRUCHÍCOLA	51
4.2.3. VARIACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO SEGÚN EL NIVEL DE INTENSIDAD TRUCHÍCOLA	52
4.3. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 03	54
4.3.1. COMPARACIÓN DEL PARÁMETRO TEMPERATURA CON LOS ECA	55

4.3.2. COMPARACIÓN DEL PARÁMETRO PH CON LOS ECA	55
4.3.3. COMPARACIÓN DEL PARÁMETRO OXÍGENO DISUELTO CON LOS ECA	56
4.4. CONTRASTE DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	57
4.4.1. CONTRASTE DE LA HIPÓTESIS GENERAL	57
4.4.2. CONTRASTE DE LA PRIMERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA	57
4.4.3. CONTRASTE DE LA SEGUNDA HIPÓTESIS ESPECÍFICA	58
4.4.4. CONTRASTE DE LA TERCERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA	58
4.5. DISCUSIÓN	59
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	68

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Características principales de los sistemas de cultivo de trucha en jaulas flotantes	23
Tabla 02: Características limnológicas principales del Lago Titicaca	25
Tabla 03: Rangos críticos de parámetros fisicoquímicos para vida acuática	27
Tabla 04: Ubicación, clasificación y coordenadas geográficas de los puntos de muestreo según nivel de intensidad truchícola en el sector Barco del Lago Titicaca	36
Tabla 05: Diseño metodológico para el objetivo específico 1	40
Tabla 06: Diseño metodológico para el objetivo específico 2	41
Tabla 07: Diseño metodológico para el objetivo específico 3	41
Tabla 08: Operacionalización de variables	42
Tabla 09: Registros de temperatura del agua por estación de muestreo en el sector Barco del Lago Titicaca	46
Tabla 10: Registros de pH del agua por estación de muestreo en el sector Barco del Lago Titicaca	47
Tabla 11: Registros de oxígeno disuelto (mg/L) del agua por estación de muestreo en el sector Barco del Lago Titicaca	48
Tabla 12: Estadísticos descriptivos de la temperatura del agua según nivel de intensidad truchícola	49
Tabla 13: Estadísticos descriptivos del pH del agua según nivel de intensidad truchícola	51
Tabla 14: Estadísticos descriptivos del oxígeno disuelto según nivel de intensidad truchícola	53
Tabla 15: Evaluación del cumplimiento del ECA para temperatura	55
Tabla 16: Evaluación del cumplimiento del ECA para pH	56
Tabla 17: Evaluación del cumplimiento del ECA para oxígeno disuelto	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Esquema de liberación de nutrientes en sistemas de cultivo de peces.	24
Figura 02: Vista aérea de jaulas de cultivo de trucha en el Lago Titicaca.	26
Figura 03: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Categoría 4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas	30
Figura 04: Zona de Estudio	34
Figura 05: Temperatura promedio, DE, max y min del agua según nivel de intensidad truchícola en el sector Barco del Lago Titicaca.	50
Figura 06: pH promedio, DE, max y min del agua según nivel de intensidad truchícola	52
Figura 07: Oxígeno disuelto promedio, DE, max y min según nivel de intensidad truchícola	54

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de Consistencia	69
Anexo 02: Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM	70
Anexo 03: Fichas de Registros de Parámetros Físicoquímicos	80
Anexo 04: Punto de muestreo P1, Intensidad truchícola alta	82
Anexo 05: Punto de muestreo P2, Intensidad truchícola media	84
Anexo 06: Punto de muestreo P3, Intensidad truchícola baja	86
Anexo 07: Punto de muestreo P5 – P6, Intensidad truchícola nula	87
Anexo 08: Panel Fotográfico de la Recolección de Datos en cuanto a Temperatura, pH y Oxígeno Disuelto	88

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto de la actividad truchícola sobre los parámetros fisicoquímicos del agua en el sector Barco del Lago Titicaca, distrito de Chucuito, región Puno, durante el año 2025. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, longitudinal y de alcance descriptivo-comparativo. La muestra estuvo conformada por ocho puntos fijos de muestreo, clasificados según el nivel de intensidad de la actividad truchícola (alta, media, baja y nula), en los cuales se realizaron mediciones directas de temperatura, pH y oxígeno disuelto utilizando un equipo multiparamétrico YSI EcoSense ODO200/pH100A, a una profundidad aproximada de 10 metros y en horario matinal, durante cuatro semanas consecutivas. Los resultados evidenciaron que la temperatura del agua presentó valores homogéneos en todos los puntos evaluados, manteniéndose dentro de los rangos establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. En cuanto al pH, se registraron valores por debajo del límite mínimo permisible en los puntos correspondientes a zonas de alta intensidad truchícola, mientras que en las zonas de media, baja y nula intensidad los valores se mantuvieron dentro del rango normativo. Respecto al oxígeno disuelto, los valores obtenidos fueron relativamente homogéneos en todo el sector de estudio, cercanos al límite mínimo establecido por la normativa, cumpliendo con los ECA en todos los puntos de muestreo. Se concluye que la actividad truchícola se asocia con variaciones en los parámetros fisicoquímicos del agua, siendo el pH el parámetro más sensible en zonas con mayor intensidad de cultivo, lo que evidencia la necesidad de fortalecer el monitoreo ambiental y promover prácticas de manejo acuícola orientadas a la sostenibilidad del ecosistema lacustre.

Palabras clave: Calidad del agua, Jaulas flotantes, Lago Titicaca, Parámetros fisicoquímicos, Truchicultura.

ABSTRACT

The present research aimed to evaluate the impact of trout farming activity on the physicochemical parameters of water in the Barco sector of Lake Titicaca, Chucuito district, Puno region, during the year 2025. The study was developed under a quantitative approach, with a non-experimental, longitudinal, and descriptive-comparative design. The sample consisted of eight fixed sampling points, classified according to the level of trout farming activity intensity (high, medium, low, and none), at which direct measurements of temperature, pH, and dissolved oxygen were carried out using a YSI EcoSense ODO200/pH100A multiparameter instrument, at an approximate depth of 10 meters and during morning hours, over four consecutive weeks. The results showed that water temperature presented homogeneous values at all evaluated points, remaining within the ranges established by the Environmental Quality Standards (EQS) of Supreme Decree No. 004-2017-MINAM. Regarding pH, values below the minimum permissible limit were recorded at sampling points corresponding to areas with high trout farming intensity, while in areas of medium, low, and no intensity the values remained within the regulatory range. With respect to dissolved oxygen, the values obtained were relatively homogeneous throughout the study sector, close to the minimum limit established by the regulations, complying with the EQS at all sampling points. It is concluded that trout farming activity is associated with variations in the physicochemical parameters of water, with pH being the most sensitive parameter in areas with higher farming intensity, which highlights the need to strengthen environmental monitoring and promote aquaculture management practices oriented toward the sustainability of the lake ecosystem.

Keywords: Water quality, Floating cages, Lake Titicaca, Physicochemical parameters, Trout farming.

INTRODUCCIÓN

En el altiplano peruano, el Lago Titicaca constituye uno de los ecosistemas lacustres más importantes del país, no solo por su valor ambiental y biodiversidad, sino también por su relevancia social y económica para las poblaciones que habitan en su entorno. En este contexto, la actividad truchícola se ha consolidado como una de las principales actividades productivas en la región de Puno, desarrollándose mayoritariamente mediante sistemas de jaulas flotantes instaladas en el cuerpo de agua. Si bien esta actividad contribuye al desarrollo económico local y a la seguridad alimentaria, su expansión progresiva ha generado preocupación respecto a sus posibles efectos sobre la calidad del agua del lago.

En el sector Barco del distrito de Chucuito, se ha evidenciado un incremento sostenido en la concentración de jaulas de cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), sin que exista información técnica actualizada que permita determinar si dicha actividad está influyendo en los parámetros fisicoquímicos del agua. La ausencia de un monitoreo sistemático y de estudios locales específicos limita la capacidad de las autoridades y de los propios productores para tomar decisiones orientadas a la gestión sostenible del recurso hídrico.

Los parámetros fisicoquímicos del agua, como la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto, son indicadores fundamentales para evaluar la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos, ya que influyen directamente en la estabilidad del medio y en la supervivencia de los organismos acuáticos. Alteraciones en estos parámetros pueden generar impactos negativos tanto en el ecosistema lacustre como en la sostenibilidad de la actividad truchícola. En ese sentido, resulta necesario evaluar si los valores registrados en el sector Barco se mantienen dentro de los rangos establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, definidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

Diversos estudios internacionales, nacionales y locales han abordado la relación entre la acuicultura en jaulas y la calidad del agua en ecosistemas lacustres, evidenciando que la intensidad de cultivo puede generar variaciones localizadas en parámetros como el pH y

el oxígeno disuelto. No obstante, los resultados no son homogéneos y dependen de factores como la densidad de cultivo, las características del cuerpo de agua y las prácticas de manejo, lo que resalta la importancia de realizar evaluaciones específicas en cada contexto. En el sector Barco del Lago Titicaca, la información disponible sigue siendo limitada, lo que justifica la realización del presente estudio.

En función de esta problemática, la presente investigación plantea como hipótesis que la actividad truchícola se asocia con variaciones en los parámetros fisicoquímicos del agua, algunas de las cuales podrían encontrarse fuera de los límites establecidos por la normativa ambiental vigente. Para contrastar esta hipótesis, se definió como variable independiente la actividad truchícola, considerada según su nivel de intensidad (alta, media, baja y nula), y como variable dependiente los parámetros fisicoquímicos del agua: temperatura, pH y oxígeno disuelto.

El estudio tiene como objetivo general evaluar el impacto de la actividad truchícola sobre los parámetros fisicoquímicos del agua en el sector Barco del Lago Titicaca, comparando los valores obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Para ello, se desarrolló un trabajo de campo basado en mediciones directas realizadas en ocho puntos de muestreo, utilizando un equipo multiparamétrico certificado, lo que permitió obtener información confiable y representativa de las condiciones actuales del cuerpo de agua.

La investigación se estructura en cuatro capítulos:

El Capítulo I, presenta el planteamiento del problema, los antecedentes de investigación y los objetivos que orientan el estudio.

El Capítulo II, desarrolla el marco teórico, el marco conceptual y las hipótesis de la investigación, proporcionando el sustento teórico y normativo necesario para la interpretación de los resultados.

El Capítulo III, describe la metodología empleada, incluyendo el área de estudio, el diseño de investigación, los métodos de muestreo, los instrumentos utilizados y el tratamiento estadístico de los datos.

El Capítulo IV expone y analiza los resultados obtenidos, contrastándolos con los objetivos planteados y la normativa ambiental vigente.

Finalmente, a partir del análisis de los resultados, se formulan conclusiones orientadas a establecer el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua en relación con la intensidad de la actividad truchícola en el sector Barco del Lago Titicaca, así como su nivel de cumplimiento respecto a los Estándares de Calidad Ambiental. Asimismo, se proponen recomendaciones dirigidas a las autoridades competentes, a los productores truchícolas y a futuras investigaciones, con el fin de contribuir a una gestión ambiental sostenible de la actividad acuícola en el ámbito de estudio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el altiplano peruano, la truchicultura ha experimentado un crecimiento acelerado en las últimas décadas, consolidándose como una de las principales actividades económicas de las comunidades que habitan alrededor del Lago Titicaca. Particularmente, en el sector Barco, distrito de Chucuito, se ha identificado una concentración creciente de jaulas flotantes destinadas a la crianza intensiva de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). A pesar de su importancia económica, esta expansión se ha desarrollado sin estudios técnicos actualizados que permitan conocer su influencia sobre la calidad del agua.

La principal preocupación radica en que no se ha determinado si esta actividad acuícola está alterando parámetros fisicoquímicos esenciales del agua, como la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto, los cuales son determinantes para la estabilidad del ecosistema lacustre. Estos parámetros se consideran indicadores críticos de la calidad ambiental del agua y su desviación podría afectar no solo la salud de los organismos acuáticos, sino también la sostenibilidad de la truchicultura misma.

Asimismo, no existe una línea base ambiental ni un monitoreo sistemático en el sector Barco que permita establecer si dichos parámetros cumplen con los valores establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, el cual regula los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para cuerpos de agua destinados a la acuicultura. Esta falta de información técnica representa una debilidad para la toma de decisiones ambientales tanto por parte de las autoridades como de los propios productores.

Además, se desconoce si existe una relación entre el nivel de intensidad de la truchicultura (alta, media, baja o nula) y posibles alteraciones en dichos parámetros. Esta brecha de información genera incertidumbre sobre el estado actual del ecosistema en el sector Barco y plantea la necesidad de evaluar el impacto de la actividad truchícola en la calidad fisicoquímica del agua, a través de mediciones confiables, utilizando un equipo certificado como el YSI EcoSense ODO200 y YSI EcoSense pH100A.

Frente a esta problemática, se plantea desarrollar una investigación que permita medir, analizar y comparar los valores de temperatura, pH y oxígeno disuelto en zonas con diferentes niveles de actividad truchícola. Con ello, se busca determinar si los valores observados se mantienen dentro de los rangos normativos y si existe evidencia estadística que relacione la intensidad de la actividad con alteraciones en la calidad del agua.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo influye la actividad truchícola en los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, pH y oxígeno disuelto) en el sector Barco del Lago Titicaca?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles son los valores de temperatura, pH y oxígeno disuelto en los distintos puntos del sector Barco donde se desarrolla la actividad truchícola?
- ¿Existen diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos del agua entre zonas con distintos niveles de intensidad truchícola?
- ¿Qué nivel de cumplimiento presentan los parámetros fisicoquímicos obtenidos en el sector Barco respecto a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, Categoría 2 - subcategoría C4?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Okechi et al. (2025), compararon estaciones con jaulas y control en cuatro sitios del Lago Victoria (Dunga, Ndere, Naya y Mfangano) durante marzo 2023 y marzo 2024, mediante perfiles verticales cada 1 m con muestreo por triplicado (OD, pH, T, entre otros). En 2023

hallaron diferencias significativas en Ndere ($F = 23.794$; $p = 0.0001$), Naya ($F = 12.419$; $p = 0.0001$) y Mfangano ($F = 20.078$; $p = 0.0001$), mientras que Dunga no fue significativo ($F=2.958$; $p=0.0901$). En 2024 el efecto persiste pero menor: Dunga ($F = 2.889$; $p = 0.0345$), Ndere ($F = 2.400$; $p = 0.0347$), Naya ($F = 5.717$; $p = 0.0017$) y Mfangano ($F = 3.828$; $p = 0.0025$). Las variables que más separaron jaulas y controles fueron oxígeno disuelto y pH, con DO típicamente menor en jaulas a lo largo del gradiente limnológico. El muestreo por perfiles a 1 m y triplicado de Okechi et al. (2025) es equiparable a nuestros perfiles YSI para estimar el efecto de las jaulas sobre OD y pH frente a controles.

Pepe et al. (2025), monitorearon un sistema RAS de trucha arcoíris midiendo T y OD a diario y TAN/NO₃⁻ quincenalmente en puntos HT, CT3, CT4 y DT durante 36 meses. Hallaron T = 7–21 °C y una relación inversa T–OD (Kendall $\tau = -0.475$; $p = 8.65 \times 10^{-5}$). Los mínimos de OD ocurrieron en CT3 = 1.78 mg/L y CT4 = 1.82 mg/L (nov–dic), valores por debajo del rango recomendado para salmónidos (7.5 – 12 mg/L); en el DT se observaron también caídas críticas (p. ej., 4.84 mg/L en dic.). El nitrato superó el límite sugerido (< 110 mg/L) con pico de 135 mg/L (enero, HT), mientras que el amonio pasó de < 0.1 a 0.63 mg/L con peces. La alcalinidad se mantuvo baja (~40 mg CaCO₃/L) frente al rango recomendado (75 – 150 mg/L), favoreciendo excursiones de pH. Concluyen que aireación y biofiltración/renovaciones son críticas para evitar hipoxia y variabilidad de pH; estos umbrales (T, OD y picos de NO₃⁻/TAN) es útil para contrastar las mediciones y discutir efectos de carga orgánica cerca de jaulas.

Lubembe et al. (2024), compararon dos bahías con jaulas (Ndendere, Honga) y una sin jaulas (Nyofu) en el Lago Kivu (RD Congo), con muestreos mensuales de abr–sep 2023 y perfiles a 0, 5, 10, 15 y 20 m usando sonda YSI 550 para T, pH, CE y OD; clorofila-a y nutrientes se analizaron en laboratorio. Reportaron pH 9.2 – 9.4 (por encima del límite superior 9 en todas las estaciones), OD típico ~6 – 7 mg/L en la columna, y excedencias puntuales de PO₄³⁻ > 0.1 mg/L y NO₂⁻ > 0.02 mg/L en algunas profundidades. Los índices oscilaron en WQI 51 – 90 (calidad media–buena), OPI 4.6 – 5.0 (mínima polución orgánica) y CTSI 50 – 70 (estado eutrófico). Concluyeron que, al nivel de producción

evaluado, las jaulas no deterioraron la calidad del agua, pero recomiendan monitoreo continuo.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Cardenas (2024), evaluó 24 piscigranjas activas en Abancay (Apurímac) para analizar la asociación entre buenas prácticas acuícolas y la calidad del agua, midiendo oxígeno disuelto (OD), pH y temperatura con multiparámetro a la entrada, en el estanque y a la salida de cada unidad de cultivo. El diseño incluyó contraste estadístico entrada vs. salida (t emparejada, IC95%) y clasificación operativa frente a rangos de referencia. Los resultados muestran una disminución significativa del OD entre entrada y salida ($11.73 \rightarrow 9.74$ mg/L; $\Delta = -1.99$ mg/L; $p < 0.001$), mientras que pH ($8.26 \rightarrow 8.11$) y temperatura ($11.75 \rightarrow 12.20$ °C) no variaron de forma significativa. En estanques ($n = 38$) se obtuvieron promedios de OD = 10.51 mg/L, pH = 8.06 y T = 11.24 °C. El autor concluye que, aunque los valores se mantienen en rangos aceptables, el OD debe monitorearse con mayor cuidado por su descenso sistemático a la salida, y que la temperatura es el parámetro más sensible a la implementación de prácticas.

Escobar et al. (2023), muestrearon un área con jaulas de trucha y un punto control a 500 m en la bahía de Puno, realizando 14 campañas entre julio de 2017 y septiembre de 2018 y perfiles a 1, 5, 10 y 15 m; midieron T, pH, CE, TDS y OD en el sitio con equipo multiparamétrico y completaron análisis en el laboratorio de IMARPE. En agua, reportaron T media = 14.4 ± 2 °C, pH = 8.79 ± 0.03 (rango 8.24 – 9.09) y OD = 6.81 ± 0.20 mg/L (rango 6.00–7.65 mg/L), sin diferencias significativas entre zona de jaulas y control y dentro de ECA-Perú. En sedimentos, Hg, Cd, Pb, Zn y Cu se mantuvieron dentro de límites, mientras que presentó valores de 25.7–27.3 mg/kg (área de jaulas) y 41.1–23.9 mg/kg (control) según mes, con excedencia del estándar ISQG-Canadá. Los autores advierten que aumentos no controlados en la producción podrían comprometer la calidad del agua, por lo que recomiendan monitoreo continuo.

Tunque (2022), evaluó el efecto de la crianza intensiva de trucha en jaulas flotantes sobre la calidad del agua en la laguna Choclococha mediante un estudio no experimental y

transeccional, contrastando resultados con los ECA-Agua (D.S. 2004-2017-MINAM). El muestreo consideró tres puntos: PM1 (entrada), PM2 (zona de jaulas) y PM3 (salida/represa); se recolectaron muestras puntuales (tres por punto) a ~25 cm de profundidad, con análisis en laboratorio acreditado y tratamiento estadístico (p. ej., prueba t). En agua, el oxígeno disuelto fue 7.34 mg/L (PM1), 7.19 mg/L (PM2) y 7.09 mg/L (PM3); el pH = 6.5 (estable en los tres puntos) y la temperatura ~11–12 °C. En nutrientes, fósforo total pasó de 0.135 mg/L (PM1) a 0.146 mg/L (PM3) y nitratos de 0.764 mg/L (PM1) a 1.17 mg/L (PM3); nitrógeno total aumentó de 0.252 a 0.505 mg/L (PM1→PM3). La DBO (<2 mg/L) y DQO (<10 mg/L) se mantuvieron bajas. El autor concluye que OD y pH cumplen ECA (sin cambios sustantivos), pero hay señales de presión en nitrógeno/fósforo, recomendando monitoreo continuo.

1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES

Maquera (2025), evaluó el impacto del cultivo intensivo de trucha en jaulas en la Sede Barco (Centro Experimental Chucuito, UNA-Puno) comparando zona con cultivo vs. zona sin cultivo durante julio–noviembre de 2023. En el promedio del período, registró en con cultivo: T = 16.9 °C, pH = 8.19, OD = 8.2 mg/L, conductividad ≈ 1 800 (escala reportada); y en sin cultivo: T = 17.2 °C, pH = 8.12, OD = 6.13 mg/L, conductividad ≈ 1 770. El ANOVA indicó diferencias significativas entre zonas en oxígeno disuelto, pH y conductividad, evidenciando efecto local del cultivo sobre la calidad del agua.

Arpasi (2024), evaluó la influencia del cultivo intensivo de truchas en jaulas sobre la calidad del agua y la biota en dos zonas del Titicaca (Barco–Chucuito y Chucasuyo–Juli), comparando áreas con jaulas vs. sin jaulas durante 6 meses (sep–dic 2023; ene–feb 2024). Se registraron T, pH, OD, conductividad y transparencia (estratos superficie–medio–fondo) y se analizó la comunidad bentónica (diatomeas y macroinvertebrados). En Barco, los promedios mostraron pH significativamente menor en zonas con jaulas (8.54 ± 0.25) frente a zonas sin jaulas (8.77 ± 0.29 ; $p < 0.001$); OD ≈ 6.40 ± 0.50 vs. 6.49 ± 0.49 mg/L (n.s.); T ≈ 16.35 ± 1.17 vs. 16.18 ± 0.97 °C (n.s.); CE ≈ 1543 ± 24 vs. 1546 ± 25 μS/cm (n.s.); transparencia ≈ 8 m en ambos casos. En

Chucasuyo no se detectaron diferencias significativas (OD ~6.15 mg/L; pH 8.32–8.52; T ~15 °C; CE ~1512–1513 $\mu\text{S}/\text{cm}$; transparencia ~15 m). El patrón en Barco sugiere un efecto local sobre pH cerca de jaulas con OD operativo (~6 – 6.5 mg/L), lo que es directamente comparable para cuantificar “qué tanto” varían estos parámetros entre jaulas y controles.

Tarapa (2023), evaluó la bahía interior de Puno en tres puntos (Muelle Espinar, Muelle del Puerto Puno y Embarcadero 1), siguiendo el Protocolo Nacional de Monitoreo (RJ 010-2016-ANA) y análisis en laboratorio acreditado por INACAL. Se midieron temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), DBO_5 , nitratos, amoníaco, sulfuros, aceites y grasas, fósforo total, SDT y coliformes termotolerantes. Los resultados clave muestran pH ≈ 8.4 (cumple ECA 6.5–9), OD entre 6.93 y 8.76 mg/L (≥ 5 mg/L, cumple ECA), CE $\approx 1652\text{--}1654$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ (>1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no cumple), sulfuro ≈ 0.02 mg/L (>0.002 mg/L, no cumple) y fósforo total ≈ 0.49 mg/L (>0.035 mg/L, no cumple). Concluye que la calidad no es óptima por excedencias puntuales (CE, P, sulfuros) asociadas a ingresos de efluentes (zona Espinar), aunque pH y OD permanecen dentro de norma. Los umbrales locales recientes para pH y OD y un escenario de presión difusa: aun con OD adecuado, nutrientes y sales pueden aumentar, lo que favorece descensos de transparencia y variabilidad de pH.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto de la actividad truchícola sobre los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, pH y oxígeno disuelto) en el sector Barco del Lago Titicaca, en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros fisicoquímicos en diferentes puntos estratégicos del sector Barco donde se desarrolla la actividad truchícola.

- Analizar las variaciones de los parámetros fisicoquímicos en función de los distintos niveles de intensidad de truchicultura.
- Comparar los valores obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, Categoría 2 - subcategoría C4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA ACUICULTURA Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES

2.1.1.1. Conceptos fundamentales de la acuicultura

La acuicultura se define como el cultivo controlado de organismos acuáticos en ambientes naturales o artificiales, con el objetivo de incrementar la producción más allá de las capacidades naturales del medio (FAO, 2020). Esta actividad ha experimentado un crecimiento exponencial a nivel mundial, consolidándose como una alternativa sostenible para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico de comunidades rurales. Según la FAO (2020), la acuicultura implica algún tipo de intervención en el proceso de crianza para mejorar la producción, como el abastecimiento regular, la alimentación y la protección contra depredadores.

2.1.1.2. Truchicultura: características y modalidades de cultivo

La truchicultura, específicamente el cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), representa una de las modalidades acuícolas más extendidas en ecosistemas de agua dulce. El sistema de jaulas flotantes, ampliamente utilizado en lagos y embalses, permite el aprovechamiento de cuerpos de agua naturales manteniendo condiciones controladas de cultivo. Sin embargo, esta modalidad genera interacciones directas entre la actividad productiva y el ecosistema receptor, lo que puede resultar en alteraciones de los parámetros fisicoquímicos del agua (Cárdenas, 2024).

Tabla 01: Características principales de los sistemas de cultivo de trucha en jaulas flotantes

Parámetro	Rango Óptimo	Efectos de Desviación	Fuente
Temperatura (°C)	10-16	Estrés térmico, reducción crecimiento	(FAO, 2020; Poole & Berman, 2001)
Densidad (kg/m ³)	15-25	Competencia, deterioro calidad agua	(PRODUCE, 2015; Lubembe et al., 2024)
Flujo de agua (L/min/kg)	10-15	Acumulación desechos, hipoxia	(FAO, 2020)
Profundidad mínima (m)	>15	Estratificación térmica inadecuada	(PRODUCE, 2015)

2.1.1.3. Impactos ambientales de la acuicultura intensiva

La acuicultura intensiva, particularmente en sistemas de jaulas flotantes, puede generar diversos impactos sobre el medio acuático. Estos incluyen el aporte de materia orgánica proveniente de alimentos no consumidos y desechos metabólicos, la liberación de nutrientes (nitrógeno y fósforo), y las alteraciones de las condiciones fisicoquímicas locales del agua. La magnitud de estos impactos está directamente relacionada con la intensidad de cultivo, las prácticas de manejo y las características del ecosistema receptor (Okechi et al., 2019; Lubembe et al., 2024).

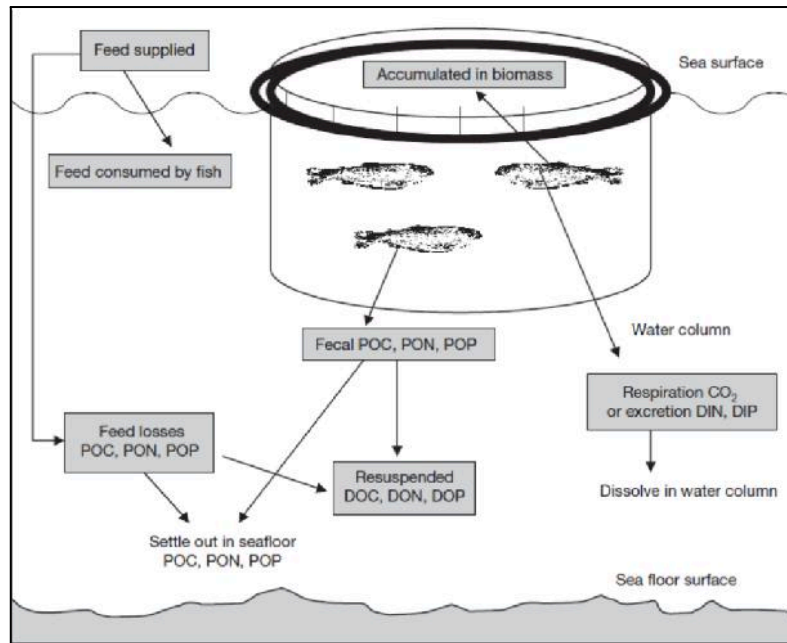


Figura 01: Esquema de liberación de nutrientes en sistemas de cultivo de peces.

Fuente: Case Studies in Salmon Aquaculture (2013).

2.1.2. ECOSISTEMAS LACUSTRES DE ALTA MONTAÑA: EL CASO DEL LAGO TITICACA

2.1.2.1. Características limnológicas del Lago Titicaca

El Lago Titicaca, ubicado a 3,812 metros sobre el nivel del mar, constituye el lago navegable más alto del mundo y presenta características limnológicas únicas. Su gran volumen (893 km³), profundidad máxima (281 m) y ubicación altiplánica le confieren propiedades térmicas estables, con temperaturas que oscilan entre 10-16°C. Estas condiciones han permitido el desarrollo de un ecosistema endémico altamente especializado, caracterizado por especies nativas adaptadas a condiciones de baja presión atmosférica y temperaturas frías (Pepe et al., 2025).

Tabla 02: Características limnológicas principales del Lago Titicaca

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Superficie media del Lago	8,200.92	km ²	Compartido Perú-Bolivia
Volumen de Agua	950.44	km ³	Mayor lago de Sudamérica por volumen
Profundidad máxima	277.21	m	Sector Lago Grande
Profundidad media	134	m	Lago Grande
Temperatura superficial	10-16	°C	Variación estacional mínima
pH	8.6	-	Condiciones alcalinas
Transparencia (Secchi)	4.5-10.5	m	Alta transparencia
Tiempo de residencia	1,343	años	Renovación muy lenta

Fuente: Basado en Richerson et al. (1975), Dejoux & Iltis (1992), y reportes de la Autoridad Binacional del Lago Titicaca (ALT, 2025).

2.1.2.2. Vulnerabilidad de ecosistemas lacustres altoandinos

Los ecosistemas lacustres de alta montaña presentan mayor vulnerabilidad a las perturbaciones antropogénicas debido a sus características particulares: menor capacidad de dilución, tiempos de residencia prolongados del agua, y comunidades bióticas especializadas con rangos de tolerancia estrechos. En el Lago Titicaca, estas características implican que las alteraciones en los parámetros fisicoquímicos pueden tener efectos más pronunciados y duraderos que en ecosistemas de menor altitud (Vásquez et al., 2016).



Figura 02: Vista aérea de jaulas de cultivo de trucha en el Lago Titicaca.

Fuente: Dreamstime (2023). Jaulas de cultivo de trucha en el Lago Titicaca, Puno, Perú.

2.1.3. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1.3.1. Temperatura del agua como factor regulador

La temperatura del agua constituye un parámetro maestro que regula múltiples procesos ecológicos. Controla la tasa metabólica de los organismos, la velocidad de las reacciones químicas, la solubilidad de los gases (especialmente el oxígeno), y la densidad del agua, influyendo en los patrones de estratificación térmica. En ambientes acuáticos de alta montaña, donde los organismos están adaptados a condiciones térmicas estables, incluso pequeñas variaciones pueden inducir estrés térmico y alterar la estructura de las comunidades bióticas (Poole & Berman, 2001).

2.1.3.2. pH: equilibrio ácido-base y biodisponibilidad química

El pH representa la concentración de iones de hidrógeno en el agua y determina el grado de acidez o alcalinidad del medio. Su importancia ecológica radica en que controla la forma química y biodisponibilidad de numerosos compuestos, incluyendo nutrientes esenciales y contaminantes potencialmente tóxicos. Un pH fuera del rango óptimo (6.5 - 8.5) puede afectar procesos fisiológicos fundamentales en peces, macroinvertebrados y

microorganismos, además de influir en la toxicidad de metales pesados y la solubilización de compuestos nitrogenados (Robertson, 2004).

2.1.3.3. Oxígeno disuelto: crítico indicador de calidad acuática

El oxígeno disuelto (OD) constituye uno de los indicadores más sensibles y críticos para evaluar la calidad ecológica de los cuerpos de agua. Su presencia es indispensable para la respiración de organismos aeróbicos, y su concentración está directamente relacionada con la capacidad del ecosistema para sostener la vida acuática. Niveles bajos de OD (<5 mg/L) pueden generar condiciones hipóxicas que afectan el comportamiento, crecimiento y supervivencia de especies acuáticas. Además, el OD está inversamente relacionado con la carga orgánica del agua: a mayor demanda biológica de oxígeno (DBO), menor disponibilidad de oxígeno disuelto (Vásquez et al., 2016).

Tabla 03: Rangos críticos de parámetros fisicoquímicos para vida acuática

Parámetro	Óptimo	Aceptable	Crítico	Efectos en Crítico
Temperatura (°C)	10-16	8-18	<8 o >20	Estrés térmico, mortalidad
pH	7.0-8.5	6.5-9.0	<6.0 o >9.5	Daño branquial, mortalidad
Oxígeno disuelto (mg/L)	>7	5-7	<3	Hipoxia, mortalidad masiva
Conductividad (µS/cm)	200-800	100-1000	>1500	Estrés osmótico

Fuente: Elaboración propia basada en Boyd (2015), Colt (2006) y PRODUCE (2015).

2.1.3.4. Interrelaciones entre parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos del agua no actúan de forma independiente, sino que presentan interrelaciones complejas que determinan la calidad integral del ecosistema acuático. La temperatura regula procesos ecológicos esenciales y afecta la solubilidad del oxígeno, con consecuencias importantes para la calidad del agua y las condiciones del hábitat acuático (Caissie, 2006). Estas interacciones implican que la alteración de un parámetro puede desencadenar efectos en cascada sobre otros, amplificando los impactos ambientales.

2.1.4. IMPACTOS DE LA TRUCHICULTURA SOBRE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

2.1.4.1. Mecanismos de alteraciones fisicoquímicas

La truchicultura en jaulas flotantes puede alterar los parámetros fisicoquímicos del agua a través de diversos mecanismos. El principal es el aporte de materia orgánica proveniente de alimentos no consumidos y desechos metabólicos de los peces, lo que incrementa la demanda biológica de oxígeno y puede reducir las concentraciones de oxígeno disuelto. Además, la descomposición de materia orgánica puede generar compuestos que alteran el pH del agua, mientras que la concentración de organismos en espacios reducidos puede generar microclimas térmicos localizados (Cárdenas, 2024).

2.1.4.2. Evidencia científica de impactos fisicoquímicos

Estudios recientes han documentado impactos significativos de la truchicultura sobre parámetros fisicoquímicos en diversos ecosistemas lacustres. Okechi et al. (2019) reportaron diferencias significativas en oxígeno disuelto y pH entre zonas con jaulas y controles en el Lago Victoria, con valores sustancialmente menores de OD en áreas de cultivo. En el contexto nacional, Maquera (2025) documentó una disminución significativa del oxígeno disuelto entre la entrada y salida de piscigranjas (11.73 → 9.74 mg/L), mientras que estudios en el Lago Titicaca han mostrado variaciones localizadas en pH y conductividad asociadas a la intensidad de cultivo (Lubembe et al., 2024).

2.1.4.3. Factores que determinan la magnitud del impacto

La magnitud del impacto de la truchicultura sobre los parámetros fisicoquímicos está determinada por múltiples factores: la densidad de cultivo, las prácticas de alimentación, las características hidrológicas del sitio, la capacidad de carga del ecosistema, y las condiciones climáticas. La intensidad de cultivo (alta, media, baja) constituye un factor determinante, ya que a mayor densidad de peces, mayor es la carga orgánica y nutricional aportada al medio (Lubembe et al., 2024).

2.1.5. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL Y MARCO NORMATIVO

2.1.5.1. Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM

El Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en el Perú, definiendo valores máximos permisibles para diversos parámetros fisicoquímicos según el uso destinado del recurso hídrico. Para la Categoría 2 - subcategoría C4 (actividades marinas costeras y continentales de acuicultura), se establecen rangos específicos para temperatura, pH y oxígeno disuelto, basados en criterios científicos que consideran los requerimientos fisiológicos de las especies cultivadas y la protección del ecosistema receptor (Ministerio del Ambiente del Perú, 2017).

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

Figura 03: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Categoría 4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Fuente: Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM

2.1.5.2. Criterios científicos para la definición de estándares

Los estándares establecidos en la normativa peruana se fundamentan en evidencia científica internacional sobre los rangos de tolerancia de organismos acuáticos y los

umbrales críticos para el mantenimiento de funciones ecosistémicas. Para el oxígeno disuelto, el valor mínimo de 5 mg/L se basa en los requerimientos respiratorios de peces y macroinvertebrados, mientras que los rangos de pH (6.5-9.0) consideran los límites de tolerancia fisiológica y la prevención de efectos tóxicos. Los ECAs se fundamentan en evidencia internacional sobre requerimientos fisiológicos de organismos acuáticos y umbrales críticos para mantener el equilibrio ecológico (FAO, 2020).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

Actividad truchícola: Conjunto de acciones relacionadas con el cultivo de trucha arcoíris en jaulas flotantes dentro del sector Barco del Lago Titicaca.

Intensidad truchícola: Clasificación del grado de presencia de jaulas flotantes en un área determinada, definida en este estudio como alta, media, baja y nula.

Parámetros fisicoquímicos del agua: Características físicas y químicas del agua evaluadas en la investigación: temperatura, pH y oxígeno disuelto.

Punto de muestreo: Lugar específico del cuerpo de agua donde se realizaron las mediciones de los parámetros fisicoquímicos.

Profundidad de muestreo: Nivel de la columna de agua al cual se efectuaron las mediciones, establecido en este estudio a aproximadamente 10 metros.

Comparación con ECA: Proceso de contraste de los valores obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

Sector Barco: Zona del Lago Titicaca, ubicada en el distrito de Chucuito, donde se desarrolló el trabajo de campo del estudio.

2.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

La actividad truchícola se asocia con variaciones en los parámetros fisicoquímicos del agua, algunas de las cuales se encuentran fuera de los límites establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Los parámetros fisicoquímicos del agua presentan variaciones entre zonas con distinta intensidad de actividad truchícola.
- Las zonas con mayor intensidad truchícola presentan valores más bajos de pH y oxígeno disuelto en comparación con zonas de menor o nula actividad.
- Los valores registrados de los parámetros fisicoquímicos del agua presentan desviaciones respecto a los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM Categoría 2 - subcategoría C4.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La presente investigación se desarrolló en el sector Barco del Lago Titicaca, ubicado en el distrito de Chucuito, provincia y departamento de Puno, Perú. Esta zona forma parte del sistema lacustre altoandino del Lago Titicaca y se caracteriza por una creciente presencia de jaulas flotantes destinadas al cultivo intensivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), actividad que constituye una de las principales fuentes económicas locales.

El área de estudio se sitúa a una altitud aproximada de 3 812 m s. n. m., dentro de un ecosistema lacustre de alta montaña, cuyas condiciones ambientales presentan baja variabilidad térmica, elevada transparencia del agua y una dinámica hidrológica sensible a presiones antrópicas. Estas características hacen que el lago sea particularmente vulnerable a alteraciones en sus parámetros fisicoquímicos, especialmente en zonas donde se concentran actividades productivas acuícolas.

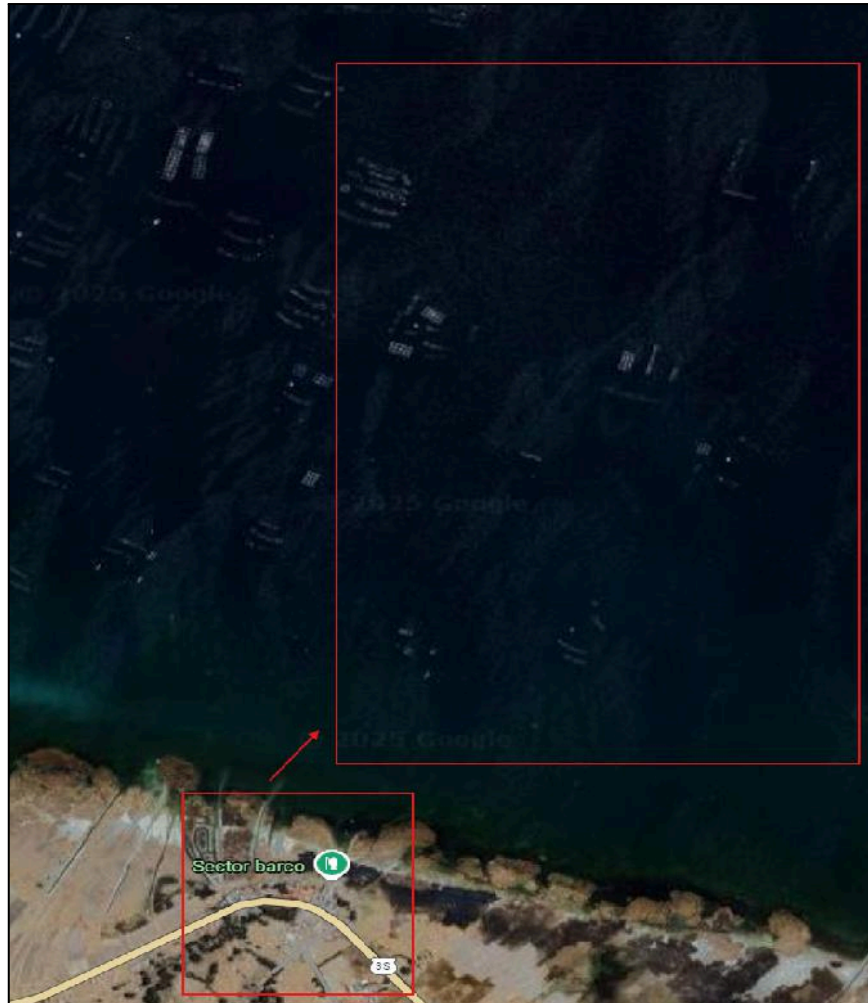


Figura 04: Zona de Estudio

En la Figura 04 se muestra la delimitación espacial del área evaluada mediante una imagen satelital, donde se identifica claramente el sector Barco en relación con la franja costera y el espacio lacustre donde se concentra la actividad truchícola. El recuadro principal señala el ámbito específico del cuerpo de agua donde se realizó el monitoreo,

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población de estudio está constituida por las aguas superficiales del sector Barco del Lago Titicaca, en el distrito de Chucuito, Puno. Este cuerpo de agua comprende tanto áreas con presencia de jaulas de cultivo de trucha arcoíris como zonas sin actividad acuícola, siendo el medio donde se manifiestan las variaciones en los parámetros fisicoquímicos seleccionados (temperatura, pH y oxígeno disuelto), relevantes para evaluar la calidad ambiental del ecosistema

3.2.2. MUESTRA

La muestra del estudio estuvo conformada por ocho puntos fijos de monitoreo, ubicados en el sector Barco del Lago Titicaca, seleccionados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando criterios de accesibilidad, seguridad y representatividad ambiental. Los puntos de muestreo se organizaron bajo un enfoque estratificado, según el nivel de intensidad de la actividad truchícola, estableciéndose cuatro niveles: alta, media, baja y nula. Para cada nivel se definió un punto estratégico, el cual fue replicado una vez, conformando dos puntos por nivel, y un total de ocho puntos de muestreo.

Cada punto fue georreferenciado mediante coordenadas geográficas, obtenidas a través de Google Maps, lo que permitió asegurar la precisión espacial y la repetibilidad del estudio. La ubicación y clasificación de los puntos de muestreo se presenta en la Tabla 04, mientras que las imágenes satelitales correspondientes se incluyen en la sección de Anexos (Anexo 03 - 06).

Tabla 04: Ubicación, clasificación y coordenadas geográficas de los puntos de muestreo según nivel de intensidad truchícola en el sector Barco del Lago Titicaca

Nivel de intensidad truchícola	Código del punto	Coordenadas geográficas (Latitud S / Longitud W)	Observación
Alta	P1	15°51'35.6" S – 69°53'29.6" W	Zona con alta concentración de jaulas flotantes Segunda Medición – alta intensidad
Media	P2	15°51'54.7" S – 69°53'37.8" W	Zona con presencia moderada de jaulas Segunda Medición – intensidad media
Baja	P3	15°52'07.5" S – 69°53'26.8" W	Zona con escasa presencia de jaulas Segunda Medición – baja intensidad
Nula	P4	15°51'37.4" S – 69°53'08.9" W	Zona sin actividad truchícola Segunda Medición – sin cultivo

En cada punto se realizaron dos mediciones repetidas durante un mes, en una misma franja horaria (08:00 – 11:00 h), registrándose los parámetros de temperatura, pH y oxígeno disuelto mediante el equipo multiparamétrico YSI EcoSense ODO200/pH100A, a una profundidad aproximada de 10 metros.

3.3. MÉTODOS Y MATERIALES

3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio corresponde a una investigación cuantitativa porque se trabajó con datos numéricos obtenidos mediante el equipo YSI EcoSense ODO200/pH100A, midiendo parámetros como temperatura, pH y oxígeno disuelto. Se consideró aplicada, ya que los resultados permitirán comprender el efecto de la truchicultura y sirven como base

para la toma de decisiones ambientales en el sector Barco del Lago Titicaca. Además, es descriptivo-comparativa porque busca describir los valores registrados y establecer comparaciones entre los puntos de muestreo y los valores normativos establecidos por el D.S. N.° 004-2017-MINAM.

3.3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es no experimental, longitudinal y de alcance descriptivo-comparativo. No experimental porque las variables no serán manipuladas, sino observadas tal como se presentan en el ambiente natural. Es longitudinal dado que la recolección de datos se llevó a cabo en un solo periodo de tiempo (un mes), específicamente en ocho días de muestreo distribuidos en los lunes de cada semana. Finalmente, se considera descriptivo-comparativo porque se describieron los valores de temperatura, pH y oxígeno disuelto en los puntos establecidos y se compararon con los estándares de calidad ambiental para cuerpos de agua definidos en la normativa nacional (D.S. N.° 004-2017-MINAM).

3.3.3. MÉTODO

La investigación se desarrolló en el lugar, mediante la recolección directa de datos fisicoquímicos (temperatura, pH y oxígeno disuelto) en el sector Barco del Lago Titicaca, con el uso del equipo YSI EcoSense ODO200/pH100A certificado.

El carácter descriptivo se fundamenta en que se busca detallar las condiciones actuales del agua en torno a la actividad de truchicultura, mientras que el componente comparativo radica en la evaluación de las diferencias entre los distintos puntos de muestreo seleccionados a una profundidad de 10 metros. Asimismo, al ser un estudio de campo, se privilegia la observación directa de los fenómenos en su contexto natural, complementada con el registro fotográfico de las mediciones y la sistematización en fichas de recolección de datos.

3.3.4. MATERIALES

Para el desarrollo de este estudio, se emplearon materiales e instrumentos adecuados para la recolección de datos en campo, así como herramientas tecnológicas que

facilitaron el procesamiento y análisis de la información. Del mismo modo, se garantizó el cumplimiento de protocolos de bioseguridad y presentación profesional durante las jornadas de monitoreo.

3.3.4.1. Instrumentos de medición y registro

- **YSI EcoSense ODO200:** Equipo multiparamétrico portátil y certificado, utilizado para la medición de parámetros fisicoquímicos como temperatura, pH y oxígeno disuelto. Su uso se encuentra alineado con los procedimientos establecidos por organismos internacionales como la U.S. Environmental Protection Agency (EPA), y es recomendado en estudios de monitoreo hídrico por el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM).
- **YSI EcoSense pH100A:** Equipo portátil empleado para la medición del pH y la temperatura del agua, con compensación automática de temperatura, utilizado en evaluaciones ambientales.
- **Cable sensor de 10 metros:** Cable conectado al equipo principal, permitirá realizar las mediciones a una profundidad representativa de la columna de agua, especialmente en zonas donde se ubican las jaulas truchicolas.
- **Cuaderno de campo:** destinado al registro manual de datos y observaciones ambientales complementarias.
- **Computadora portátil:** servirá para la sistematización de la base de datos, organización de la información y elaboración de informes.
- **Software estadístico (Excel):** herramientas que permitirán el análisis de los datos obtenidos mediante estadística descriptiva y correlacional.

3.3.4.2. Equipamiento de protección personal y presentación

Con el objetivo de preservar la integridad física de los investigadores y asegurar una presencia profesional en el área de estudio, se utilizará el siguiente equipo:

- **Chaleco salvavidas:** obligatorio durante los desplazamientos en embarcación.
- **Botas impermeables:** útiles para trabajar en zonas húmedas, embarques y descensos al borde lacustre.

- Guantes de látex o nitrilo: para evitar la contaminación del sensor y asegurar un manejo higiénico del equipo.

3.3.5. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Los datos obtenidos en campo fueron organizados inicialmente en fichas de registro y posteriormente trasladados a hojas de cálculo digitales para su sistematización. Previo al análisis, se realizó una revisión y depuración de la información con la finalidad de verificar su consistencia y asegurar que los valores registrados correspondan a las condiciones reales del muestreo.

El procesamiento de los datos se llevó a cabo mediante el uso de estadística descriptiva, calculando medidas como el valor promedio, la desviación estándar y los valores mínimo y máximo, lo que permitió caracterizar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, pH y oxígeno disuelto) en los distintos niveles de intensidad truchícola. Asimismo, se realizó un análisis comparativo descriptivo entre los cuatro niveles de intensidad truchícola (alta, media, baja y nula), con el propósito de identificar posibles variaciones en los parámetros evaluados en función del grado de actividad acuícola, sin la aplicación de pruebas estadísticas inferenciales.

La presentación de los resultados se realizó mediante tablas y gráficos, los cuales facilitaron la visualización e interpretación de la variabilidad observada en los parámetros fisicoquímicos del agua y su relación con la actividad de truchicultura en el sector Barco del Lago Titicaca. El procesamiento y análisis de la información se efectuó utilizando Microsoft Excel, garantizando una adecuada organización y manejo de los datos.

3.4. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICO

El diseño metodológico se presentó en coherencia con cada uno de los objetivos específicos planteados. Para cada objetivo se describe el enfoque, el tipo de investigación, las técnicas e instrumentos empleados, así como el procedimiento de análisis previsto. Esto garantiza consistencia entre los objetivos y la metodología, además de facilitar una evaluación clara del estudio truchícola en los parámetros fisicoquímicos del agua del sector Barco del Lago Titicaca.

3.4.1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1: MEDIR LA TEMPERATURA, EL PH Y EL OXÍGENO DISUELTO EN CUATRO PUNTOS ESTRATÉGICOS DEL SECTOR BARCO, MEDIANTE EL USO DEL EQUIPO YSI ECOSENSE ODO200/PH100A.

Este objetivo buscó caracterizar las condiciones fisicoquímicas del agua de manera directa y sistemática. Los registros se anotaron en fichas de campo estructuradas, realizando cuatro mediciones por punto en días lunes durante un mes, a una profundidad aproximada de 10 m.

Tabla 05: Diseño metodológico para el objetivo específico 1

Aspecto	Actividad principal	Técnica	Instrumentos	Procedimiento	Procesamiento de datos
Descripción	Registro de parámetros fisicoquímicos en ocho puntos fijos	Observación y medición en el lugar.	Multiparámetro YSI EcoSense ODO200/ODO 200M y fichas de campo	Cuatro mediciones semanales (lunes) a 10 m de profundidad, anotadas en ficha de registro	Recolección de Datos y Análisis

3.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2: COMPARAR LOS VALORES OBTENIDOS ENTRE ZONAS CON DISTINTOS NIVELES DE ACTIVIDAD TRUCHÍCOLA (ALTA, MEDIA, BAJA O NULA) PARA IDENTIFICAR POSIBLES DIFERENCIAS.

El propósito es identificar diferencias significativas que reflejen el impacto de la actividad acuícola sobre la calidad del agua.

Tabla 06: Diseño metodológico para el objetivo específico 2

Aspecto	Actividad principal	Técnica	Instrumentos	Procedimiento	Procesamiento de datos
Descripción	Clasificación de los ocho puntos según nivel de actividad truchícola	Estratificación por intensidad acuícola	Multiparámetro o YSI EcoSense ODO200/pH1 00A	Comparación de resultados por estratos	Estadística Descriptiva y elaboración de gráficos comparativos

3.4.3. OBJETIVO ESPECÍFICO 3: VERIFICAR SI LOS PARÁMETROS MEDIDOS SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS LÍMITES ESTABLECIDOS POR LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) DEL DECRETO SUPREMO N.º 004-2017-MINAM.

El fin es contrastar los resultados con los límites normativos establecidos para aguas destinadas al uso acuícola.

Tabla 07: Diseño metodológico para el objetivo específico 3

Aspecto	Actividad principal	Técnica	Instrumentos	Procedimiento	Procesamiento de datos
Descripción	Contraste de los resultados con los valores normativos	Análisis documental y comparación normativa	Resultados de campo y ECA (D.S. N.º 004-2017-MINAM)	Organización de resultados en tablas de contraste	Identificación de puntos que cumplen o exceden los límites establecidos

3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

En el presente estudio se identifican dos tipos de variables: una variable independiente (actividad truchícola) y variable dependiente (parámetros fisicoquímicos). Estas variables han sido seleccionadas considerando la naturaleza del problema, los objetivos de investigación y la disponibilidad técnica de medición a través del equipo YSI EcoSense ODO200 y pH100A.

A continuación, se detalla su estructuración:

Tabla 08: Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Actividad truchícola <i>(Independiente)</i>	Intensidad de uso de jaulas flotantes	Clasificación visual del número y tamaño de jaulas en cada punto	Escala cualitativa (alta, media, baja, nula)
		Grado térmico del agua	°C (grados Celsius)
Parámetros Fisicoquímicos <i>(Dependiente)</i>	Nivel de acidez o alcalinidad	Valor registrado a 10 metros de profundidad	pH
		Lectura directa del equipo	
	Concentración de oxígeno disponible	Valor medido a 10 m con sensor óptico	mg/L (miligramos por litro)

3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos durante el monitoreo de campo fueron registrados en fichas de campo y posteriormente organizados en una base de datos digital mediante Microsoft Excel. Previo al análisis estadístico, se realizó un proceso de revisión y depuración de la información, con la finalidad de asegurar la consistencia de los registros.

Considerando el diseño no experimental del estudio y la estructura del conjunto de datos, el tratamiento estadístico se basó en estadística descriptiva, orientada a resumir y

caracterizar cuantitativamente los parámetros fisicoquímicos evaluados: temperatura, pH y oxígeno disuelto.

3.6.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Para cada parámetro fisicoquímico se calcularon medidas de tendencia central y dispersión, específicamente: media aritmética, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo, tanto por punto de muestreo como por el conjunto de mediciones disponibles.

a. Media Aritmética

La media aritmética permitió representar el valor promedio del parámetro evaluado y se calculó mediante:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde:

\bar{x} = media aritmética del parámetro (T, pH y OD)

x_i = valor observado en la i - ésima medición

n = número total de observaciones del conjunto evaluado

b. Desviación Estándar

La desviación estándar se utilizó para estimar la variabilidad de los datos respecto a la media y se calculó con:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Donde:

s = desviación estándar

x_i = valor observado

\bar{x} = media aritmética

n = número de observaciones

c. Valor mínimo

El valor mínimo permitió identificar la menor medición registrada para cada parámetro y se definió como:

$$x_{min} = \min(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

d. Valor máximo

El valor máximo permitió identificar la mayor medición registrada para cada parámetro y se definió como:

$$x_{max} = \max(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

CAPÍTULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 01

“Determinar los parámetros fisicoquímicos en diferentes puntos estratégicos del sector Barco donde se desarrolla la actividad truchícola.”

Para cumplir con este objetivo, se establecieron ocho mediciones que repiten en cada punto de muestreo en el sector Barco del Lago Titicaca, clasificadas según la densidad de jaulas: alta (P1), media (P2), baja (P3) y sin cultivo (P4). Los parámetros evaluados fueron temperatura, pH y oxígeno disuelto, debido a su importancia para describir las condiciones ambientales del agua en un entorno con actividad truchícola.

Las mediciones se realizaron utilizando el equipo multiparamétrico YSI EcoSense ODO200/pH100A, a una profundidad aproximada de 10 m y en horario matinal (08:00–11:00 h), durante cuatro semanas consecutivas. Los resultados registrados por semana en los siguientes puntos a tratar.

4.1.1. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AGUA

La determinación de la temperatura del agua se realizó a partir de las mediciones efectuadas en las ocho estaciones de muestreo establecidas en el sector Barco del Lago Titicaca, cuyos registros se presentan en la Tabla 08. Las mediciones se efectuaron a una profundidad aproximada de 10 m, en horario matinal, durante el periodo de evaluación.

Tabla 09: Registros de temperatura del agua por estación de muestreo en el sector Barco del Lago Titicaca

TEMPERATURA (°C)						
Nivel de intensidad truchícola	Código del punto	Fecha	Hora	Coordenadas geográficas (Latitud S / Longitud W)	Medición	
Alta	P1	10/11/2025	08:05	15°51'35.6" S –	1ra	14.60
		24/11/2025	08:10	69°53'29.6" W	2da	14.40
Media	P2	12/11/2025	08:35	15°51'54.7" S –	1ra	15.00
		26/11/2025	08:40	69°53'37.8" W	2da	15.02
Baja	P3	17/11/2025	09:15	15°52'07.5" S –	1ra	15.40
		01/12/2025	09:30	69°53'26.8" W	2da	15.60
Nula	P4	19/11/2025	10:30	15°51'37.4" S –	1ra	14.50
		03/12/2025	10:45	69°53'08.9" W	2da	14.60

Los resultados mostraron que la temperatura del agua varió entre 14.40 °C y 15.60 °C, evidenciando una variación térmica reducida entre las estaciones evaluadas. Las zonas de intensidad baja registraron los valores ligeramente más altos, mientras que las zonas de alta y nula intensidad presentaron valores similares y ligeramente menores.

En términos generales, la temperatura determinada reflejó un comportamiento térmico relativamente homogéneo en el sector Barco durante el periodo de estudio, característica propia de ecosistemas lacustres altoandinos, lo cual permitió establecer condiciones térmicas estables para la evaluación de los demás parámetros fisicoquímicos.

4.1.2. DETERMINACIÓN DEL PH DEL AGUA

La determinación del pH del agua se realizó a partir de las mediciones efectuadas en las ocho estaciones de muestreo establecidas en el sector Barco del Lago Titicaca, cuyos registros se presentan en la Tabla 09. Las mediciones se realizaron a una profundidad aproximada de 10 m, en horario matinal, durante el periodo de evaluación comprendido entre noviembre y diciembre de 2025.

Tabla 10: Registros de pH del agua por estación de muestreo en el sector Barco del Lago Titicaca

Nivel de intensidad truchícola	Código del punto	pH		Coordenadas geográficas (Latitud S / Longitud W)	Medición	
		Fecha	Hora		1ra	2da
Alta	P1	10/11/2025	08:05	15°51'35.6" S –	1ra	5.40
		24/11/2025	08:10	69°53'29.6" W	2da	5.80
Media	P2	12/11/2025	08:35	15°51'54.7" S –	1ra	6.35
		26/11/2025	08:40	69°53'37.8" W	2da	6.52
Baja	P3	17/11/2025	09:15	15°52'07.5" S –	1ra	7.78
		01/12/2025	09:30	69°53'26.8" W	2da	7.50
Nula	P4	19/11/2025	10:30	15°51'37.4" S –	1ra	7.80
		03/12/2025	10:45	69°53'08.9" W	2da	7.60

Los resultados evidenciaron que el pH del agua presentó valores comprendidos entre 5.40 y 7.80, mostrando variaciones entre las estaciones evaluadas. En las zonas de alta intensidad truchícola, los valores de pH fueron más bajos, mientras que en las estaciones de baja y nula intensidad se registraron valores más elevados, cercanos a condiciones ligeramente alcalinas.

En términos generales, el comportamiento del pH reflejó una variabilidad moderada dentro del sector Barco, asociada a las características naturales del ecosistema lacustre y a condiciones locales del entorno productivo.

4.1.3. DETERMINACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO DEL AGUA

La determinación del oxígeno disuelto del agua se realizó a partir de las mediciones efectuadas en las ocho estaciones de muestreo establecidas en el sector Barco del Lago Titicaca, cuyos registros se presentan en la Tabla 10. Las mediciones se realizaron a una profundidad aproximada de 10 metros, en horario matinal, durante el periodo comprendido entre noviembre y diciembre de 2025.

Tabla 11: Registros de oxígeno disuelto (mg/L) del agua por estación de muestreo en el sector Barco del Lago Titicaca

Oxígeno Disuelto (mg/L)						
Nivel de intensidad truchícola	Código del punto	Fecha	Hora	Coordenadas geográficas (Latitud S / Longitud W)	Medición	
Alta	P1	10/11/2025	08:05	15°51'35.6" S –	1ra	5.22
		24/11/2025	08:10	69°53'29.6" W	2da	5.20
Media	P2	12/11/2025	08:35	15°51'54.7" S –	1ra	5.37
		26/11/2025	08:40	69°53'37.8" W	2da	5.35
Baja	P3	17/11/2025	09:15	15°52'07.5" S –	1ra	5.44
		01/12/2025	09:30	69°53'26.8" W	2da	5.47
Nula	P4	19/11/2025	10:30	15°51'37.4" S –	1ra	5.31
		03/12/2025	10:45	69°53'08.9" W	2da	5.29

Los resultados evidenciaron que el oxígeno disuelto presentó valores comprendidos entre 5.20 mg/L y 5.47 mg/L en el conjunto de estaciones evaluadas. En las zonas de alta intensidad truchícola (P1), los valores registrados fueron de 5.22 mg/L y 5.20 mg/L, evidenciando concentraciones ligeramente menores en áreas con mayor densidad de jaulas. En las estaciones de intensidad media (P2), el oxígeno disuelto se mantuvo entre 5.35 mg/L y 5.37 mg/L, mostrando valores intermedios.

Por su parte, en las estaciones correspondientes a baja intensidad truchícola (P3), se registraron los valores más altos de oxígeno disuelto, con concentraciones de 5.44 mg/L y 5.47 mg/L. Finalmente, en las estaciones ubicadas en zonas sin actividad truchícola (P4), los valores determinados fueron de 5.31 mg/L y 5.29 mg/L, respectivamente, mostrando un comportamiento relativamente estable y comparable al resto del sector evaluado.

La determinación del oxígeno disuelto permitió establecer que el sector Barco presentó concentraciones relativamente homogéneas de oxígeno durante el periodo de estudio, con variaciones moderadas entre estaciones.

4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 02

“Analizar las variaciones de los parámetros fisicoquímicos en función de los distintos niveles de intensidad de truchicultura.”

Se realizó un análisis comparativo de los parámetros fisicoquímicos del agua en cuanto a la temperatura, pH y oxígeno disuelto; considerando los niveles de intensidad de la actividad truchícola identificados en el sector Barco del Lago Titicaca: alta, media, baja y nula.

Este análisis se efectuó a partir de los valores promedio obtenidos en cada nivel de intensidad, los cuales fueron calculados con base en las mediciones realizadas en los puntos de muestreo correspondientes.

4.2.1. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AGUA SEGÚN EL NIVEL DE INTENSIDAD TRUCHÍCOLA

La temperatura del agua fue evaluada con la finalidad de analizar su comportamiento en función de los distintos niveles de intensidad truchícola, considerando medidas estadísticas descriptivas que permitan identificar posibles variaciones entre las zonas de estudio.

Tabla 12: Estadísticos descriptivos de la temperatura del agua según nivel de intensidad truchícola

Nivel de intensidad truchícola	Media (°C)	Desviación estándar (°C)	Mínimo (°C)	Máximo (°C)
Alta	14.50	0.14	14.40	14.60
Media	15.01	0.01	15.00	15.02
Baja	15.50	0.14	15.40	15.60
Nula	14.55	0.07	14.50	14.60

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 12, la temperatura promedio del agua osciló entre 14.50 °C y 15.50 °C. El valor promedio más alto se registró en las zonas de baja intensidad truchícola (15.50 °C), mientras que las zonas de alta intensidad y sin actividad truchícola presentaron valores muy similares, de 14.50 °C y 14.55 °C, respectivamente. Asimismo, las zonas de media intensidad mostraron un valor intermedio

de 15.01 °C. La desviación estándar registrada en todos los niveles fue reducida, lo que indica una baja dispersión de los datos.

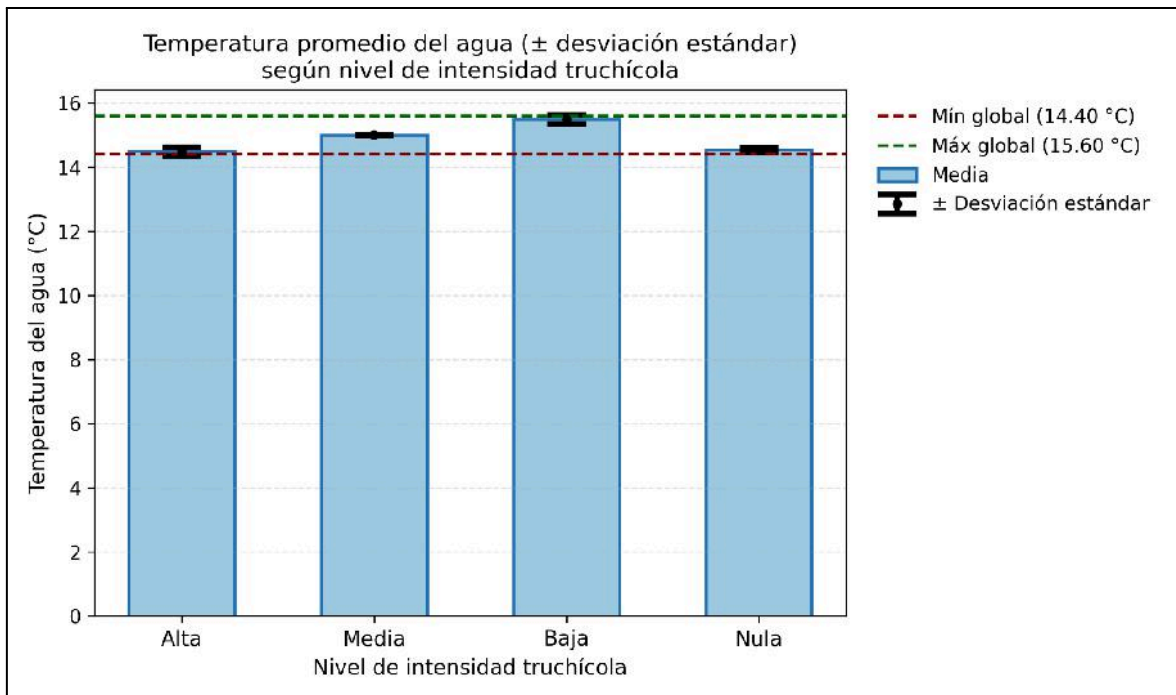


Figura 05: Temperatura promedio, DE, max y min del agua según nivel de intensidad truchícola en el sector Barco del Lago Titicaca.

De acuerdo con la Figura 05, se observa que el nivel de baja intensidad truchícola presenta el valor promedio más alto de temperatura del agua en comparación con los demás niveles evaluados. No obstante, las barras de error correspondientes a la desviación estándar muestran una variabilidad reducida y una superposición entre los distintos niveles, lo que indica que las diferencias observadas en los valores promedio son poco marcadas.

Asimismo, los valores promedio registrados en todos los niveles de intensidad truchícola se encuentran comprendidos dentro del rango definido por el mínimo global (14.40 °C) y el máximo global (15.60 °C), evidenciando un comportamiento térmico relativamente homogéneo del agua durante el periodo de estudio.

4.2.2. VARIACIÓN DEL PH DEL AGUA SEGÚN EL NIVEL DE INTENSIDAD TRUCHÍCOLA

El pH del agua fue evaluado con el objetivo de analizar su comportamiento en función de los distintos niveles de intensidad truchícola, considerando medidas estadísticas descriptivas que permitan identificar posibles variaciones entre las zonas de estudio.

Tabla 13: Estadísticos descriptivos del pH del agua según nivel de intensidad truchícola

Nivel de intensidad truchícola	Media (pH)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Alta	5.60	0.28	5.40	5.80
Media	6.44	0.12	6.35	6.52
Baja	7.64	0.20	7.50	7.78
Nula	7.70	0.14	7.60	7.80

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 13, los valores promedio de pH muestran un incremento progresivo desde las zonas de alta intensidad truchícola hacia las zonas sin actividad truchícola. El valor promedio más bajo se registró en las zonas de alta intensidad (pH 5.60), mientras que los valores más altos corresponden a las zonas de baja intensidad y nula actividad truchícola. Asimismo, las desviaciones estándar registradas fueron moderadas, lo que indica una variabilidad controlada de los valores de pH en los distintos niveles evaluados.

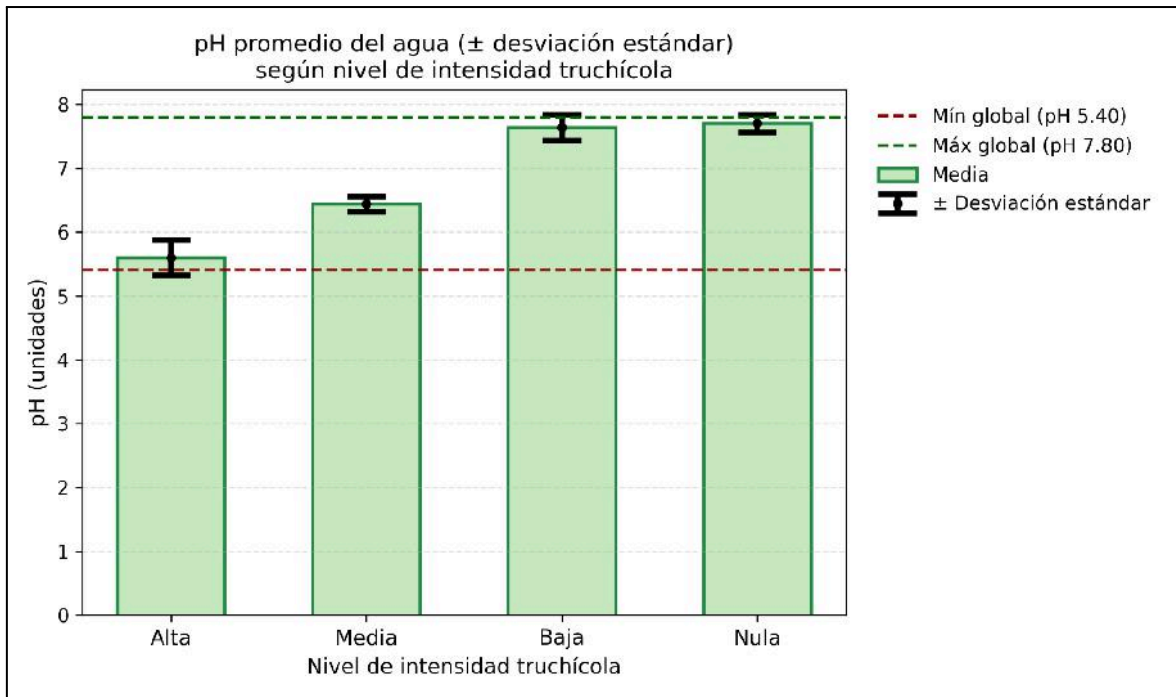


Figura 06: pH promedio, DE, max y min del agua según nivel de intensidad truchícola

La Figura 06 muestra el comportamiento del pH promedio del agua según el nivel de intensidad truchícola. Se observa que los niveles de baja intensidad y sin actividad truchícola presentan los valores promedio más altos de pH; sin embargo, las barras de error correspondientes a la desviación estándar evidencian una superposición parcial entre los niveles evaluados. Esto indica que, si bien existe una tendencia creciente del pH, las diferencias observadas se mantienen dentro de un rango de variabilidad moderado.

Asimismo, los valores promedio de pH se encuentran comprendidos dentro del rango definido por el mínimo global (pH 5.40) y el máximo global (pH 7.80), lo que evidencia un comportamiento relativamente estable del pH del agua durante el periodo de estudio.

4.2.3. VARIACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTOS SEGÚN EL NIVEL DE INTENSIDAD TRUCHÍCOLA

El oxígeno disuelto fue evaluado con la finalidad de analizar su comportamiento en función de los distintos niveles de intensidad truchícola, considerando medidas estadísticas descriptivas que permitan identificar posibles variaciones entre las zonas de estudio.

Tabla 14: Estadísticos descriptivos del oxígeno disuelto según nivel de intensidad truchícola

Nivel de intensidad truchícola	Media (mg/L)	Desviación estándar (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)
Alta	5.21	0.01	5.20	5.22
Media	5.36	0.01	5.35	5.37
Baja	5.46	0.02	5.44	5.47
Nula	5.30	0.01	5.29	5.31

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 14, los valores promedio de oxígeno disuelto se encontraron comprendidos entre 5.21 mg/L y 5.46 mg/L. El valor promedio más alto se registró en las zonas de baja intensidad truchícola, mientras que el valor más bajo correspondió a las zonas de alta intensidad truchícola. Las zonas de media intensidad y sin actividad truchícola presentaron valores intermedios de oxígeno disuelto. Las desviaciones estándar registradas en todos los niveles de intensidad truchícola fueron reducidas, lo que indica una baja dispersión de los datos y una alta consistencia de los valores de oxígeno disuelto durante el periodo de evaluación.

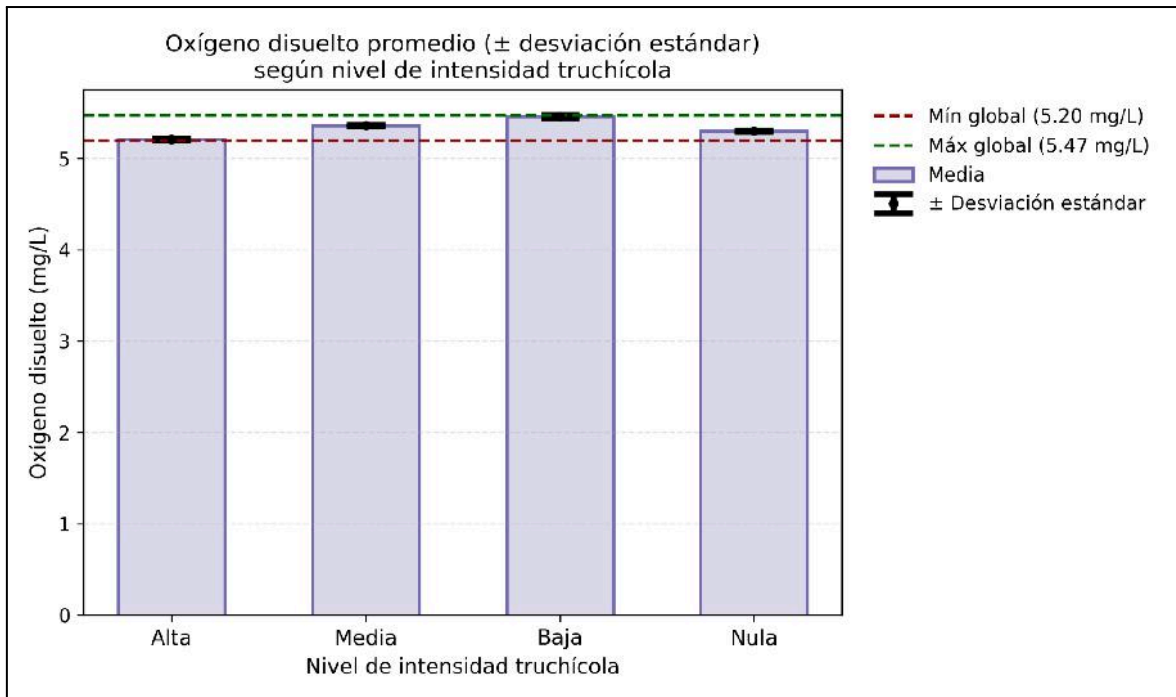


Figura 07: Oxígeno disuelto promedio, DE, max y min según nivel de intensidad truchícola

Según la Figura 07, el oxígeno disuelto promedio presenta un comportamiento similar entre los distintos niveles de intensidad truchícola. Si bien se observa que el nivel de baja intensidad truchícola muestra el valor promedio más alto, las barras de error asociadas a la desviación estándar evidencian una variabilidad reducida y una superposición entre los niveles evaluados. Los valores promedio de oxígeno disuelto se encuentran comprendidos dentro del rango definido por el mínimo global (5.20 mg/L) y el máximo global (5.47 mg/L), lo que evidencia un comportamiento relativamente homogéneo de este parámetro durante el periodo de estudio.

4.3. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO 03

“Comparar los valores obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, Categoría 2 - subcategoría C4”

Se compararon los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos del agua temperatura, pH y oxígeno disuelto; en cada punto de muestreo (P1 a P8) con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, establecidos en el Decreto Supremo

N.º 004-2017-MINAM, correspondientes a la Categoría 2 – subcategoría C4, aplicable a cuerpos de agua destinados al cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas.

4.3.1. COMPARACIÓN DEL PARÁMETRO TEMPERATURA CON LOS ECA

De acuerdo con el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, para la Categoría 2 – subcategoría C4, la temperatura del agua no debe alterarse en más de 3 °C ($\Delta 3$ °C) respecto a la condición natural del cuerpo de agua.

En el sector Barco del Lago Titicaca, las temperaturas registradas en los ocho puntos de muestreo oscilaron entre 14.40 °C y 15.60 °C, evidenciando una variación reducida y acorde con las condiciones naturales del ecosistema lacustre altoandino.

Tabla 15: Evaluación del cumplimiento del ECA para temperatura

Punto	Temperatura (°C)	Criterio ECA ($\Delta \leq 3$ °C)	Cumple
P1	14.60	$\Delta \leq 3$ °C	Sí
P2	14.40	$\Delta \leq 3$ °C	Sí
P3	15.00	$\Delta \leq 3$ °C	Sí
P4	15.02	$\Delta \leq 3$ °C	Sí
P5	15.40	$\Delta \leq 3$ °C	Sí
P6	15.60	$\Delta \leq 3$ °C	Sí
P7	14.50	$\Delta \leq 3$ °C	Sí
P8	14.60	$\Delta \leq 3$ °C	Sí

Los resultados indican que todos los puntos de muestreo cumplen con el criterio establecido por el ECA para el parámetro temperatura, al no evidenciarse variaciones térmicas que superen el límite permisible definido por la normativa ambiental.

4.3.2. COMPARACIÓN DEL PARÁMETRO PH CON LOS ECA

El Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM establece para la Categoría 2 – subcategoría C4 un rango permisible de pH entre 6.0 y 9.0. Los valores de pH registrados en el sector Barco variaron entre 5.40 y 7.80, presentando diferencias entre los puntos de muestreo evaluados.

Tabla 16: Evaluación del cumplimiento del ECA para pH

Punto	pH registrado	ECA (6.0 – 9.0)	Cumple
P1	5.40	6.0 – 9.0	No
P2	5.80	6.0 – 9.0	No
P3	6.35	6.0 – 9.0	Sí
P4	6.52	6.0 – 9.0	Sí
P5	7.78	6.0 – 9.0	Sí
P6	7.50	6.0 – 9.0	Sí
P7	7.80	6.0 – 9.0	Sí
P8	7.60	6.0 – 9.0	Sí

La comparación realizada evidencia que los puntos P1 y P2, correspondientes a zonas con alta intensidad truchícola, no cumplen con el Estándar de Calidad Ambiental para pH, al presentar valores inferiores al límite mínimo establecido. En contraste, los puntos restantes cumplen con la normativa vigente.

4.3.3. COMPARACIÓN DEL PARÁMETRO OXÍGENO DISUELTO CON LOS ECA

Para el oxígeno disuelto, el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM establece un valor mínimo de 5.0 mg/L para la Categoría 2 – subcategoría C4.

Tabla 17: Evaluación del cumplimiento del ECA para oxígeno disuelto

Punto	Oxígeno disuelto (mg/L)	ECA (≥ 5.0 mg/L)	Cumple
P1	5.22	≥ 5.0	Sí
P2	5.20	≥ 5.0	Sí
P3	5.37	≥ 5.0	Sí
P4	5.35	≥ 5.0	Sí
P5	5.44	≥ 5.0	Sí
P6	5.47	≥ 5.0	Sí
P7	5.31	≥ 5.0	Sí
P8	5.29	≥ 5.0	Sí

Los resultados muestran que todos los puntos de muestreo cumplen con el Estándar de Calidad Ambiental para oxígeno disuelto, aunque algunos valores se encuentran próximos al límite mínimo establecido por la normativa.

Desde un enfoque normativo, estos resultados permiten afirmar que el oxígeno disuelto cumple con los ECA en el área de estudio, pero también resaltan la necesidad de considerar este parámetro como un indicador preventivo, especialmente en zonas con

alta presión productiva. En este sentido, el monitoreo periódico del oxígeno disuelto resulta fundamental para asegurar la sostenibilidad de la actividad truchícola y la protección del ecosistema lacustre.

4.4. CONTRASTE DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.4.1. CONTRASTE DE LA HIPÓTESIS GENERAL

Hipótesis general: La actividad truchícola se asocia con variaciones en los parámetros fisicoquímicos del agua, algunas de las cuales se encuentran fuera de los límites establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

El análisis de los resultados evidencia que los parámetros fisicoquímicos del agua presentan comportamientos diferenciados en función de la intensidad de la actividad truchícola desarrollada en el sector Barco del Lago Titicaca. En comparación con los Estándares de Calidad Ambiental, se observó que la temperatura y el oxígeno disuelto se mantuvieron dentro de los límites normativos en todos los puntos evaluados. No obstante, el parámetro pH presentó valores inferiores al rango permitido en los puntos ubicados en zonas de alta intensidad truchícola.

En ese sentido, los resultados muestran que la actividad truchícola se encuentra asociada a variaciones en los parámetros fisicoquímicos del agua según la tabla 15, 16 y 17, registrándose desviaciones normativas puntuales. Por lo tanto, la hipótesis general se considera confirmada de manera parcial, dado que no todos los parámetros evaluados presentaron incumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental.

4.4.2. CONTRASTE DE LA PRIMERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Hipótesis específica 1: Los parámetros fisicoquímicos del agua presentan variaciones entre zonas con distinta intensidad de actividad truchícola.

Los resultados descriptivos obtenidos para los diferentes niveles de intensidad truchícola (alta, media, baja y nula) evidencian variaciones en los valores registrados de los parámetros fisicoquímicos del agua. Si bien la temperatura mostró un comportamiento relativamente homogéneo entre las zonas evaluadas, los parámetros pH y oxígeno

disuelto presentaron diferencias entre áreas con distinta intensidad de actividad truchícola se observó en la tablas 09, 10 y 11.

De acuerdo con estos resultados, se concluye que los parámetros fisicoquímicos del agua presentan variaciones entre zonas con diferente intensidad de actividad truchícola, por lo que la primera hipótesis específica se considera confirmada, desde un enfoque descriptivo.

4.4.3. CONTRASTE DE LA SEGUNDA HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Hipótesis específica 2: Las zonas con mayor intensidad truchícola presentan valores más bajos de pH y oxígeno disuelto en comparación con zonas de menor o nula actividad.

El análisis comparativo de los resultados muestra que los puntos de muestreo correspondientes a zonas de alta intensidad truchícola registraron valores más bajos de pH y oxígeno disuelto en comparación con los puntos ubicados en zonas de baja y nula actividad. Esta tendencia se observa de manera consistente en los valores promedio calculados para cada nivel de intensidad en la figura 05, 06 y 07, lo que evidencia un comportamiento diferenciado de estos parámetros en función de la actividad truchícola.

En consecuencia, los resultados obtenidos respaldan lo planteado en la hipótesis, por lo que la segunda hipótesis específica se considera confirmada, en concordancia con el análisis descriptivo realizado.

4.4.4. CONTRASTE DE LA TERCERA HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Hipótesis específica 3: Los valores registrados de los parámetros fisicoquímicos del agua presentan desviaciones respecto a los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, Categoría 2 – subcategoría C4.

La comparación de los valores obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental según la tabla 15, 16 y 17 permitió identificar que el parámetro pH presentó desviaciones respecto al límite mínimo establecido en los puntos de muestreo correspondientes a zonas de alta intensidad truchícola. Por el contrario, los parámetros temperatura y

oxígeno disuelto se mantuvieron dentro de los rangos normativos en todos los puntos evaluados. En función de lo expuesto, se concluye que existen desviaciones normativas parciales en los parámetros fisicoquímicos del agua, específicamente en el pH. Por tanto, la tercera hipótesis específica se considera confirmada de manera parcial.

4.5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el sector Barco del Lago Titicaca evidencian que la actividad truchícola se asocia con variaciones en los parámetros fisicoquímicos del agua, principalmente en el pH, mientras que la temperatura y el oxígeno disuelto se mantuvieron dentro de los Estándares de Calidad Ambiental. Este comportamiento es consistente con antecedentes locales y nacionales, como los reportados por Maquera (2025) y Arpasi (2024), quienes identificaron descensos del pH en zonas con mayor intensidad de jaulas flotantes, atribuidos a la acumulación de materia orgánica y a los procesos de descomposición de residuos del cultivo. Asimismo, los resultados coinciden con estudios realizados en el Lago Titicaca por Escobar et al. (2023) y Tunque (2022), quienes señalaron que la temperatura y el oxígeno disuelto no presentan alteraciones significativas en presencia de truchicultura, debido a las características limnológicas del lago y a su capacidad de mezcla. A nivel internacional, investigaciones como las de Okechi et al. (2025) también reportan variaciones localizadas del pH y del oxígeno disuelto en zonas con acuicultura intensiva, sin afectar de manera generalizada la calidad del cuerpo de agua. En conjunto, estos antecedentes respaldan los hallazgos del presente estudio y confirman que los impactos de la truchicultura en el sector Barco son principalmente puntuales y asociados a la intensidad de la actividad, siendo el pH el parámetro más sensible frente a la presión acuícola.

CONCLUSIONES

PRIMERA: La evaluación del impacto de la actividad truchícola en el sector Barco del Lago Titicaca permitió determinar que dicha actividad se asocia con variaciones en los parámetros fisicoquímicos del agua, evidenciándose principalmente en el parámetro pH, el cual registró valores por debajo del estándar ambiental (mínimo 5,40). En contraste, la temperatura y el oxígeno disuelto se mantuvieron dentro de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental durante el periodo de estudio.

SEGUNDA: La determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua en los puntos de muestreo establecidos permitió caracterizar las condiciones ambientales del sector Barco del Lago Titicaca, evidenciándose diferencias en la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto entre los puntos evaluados, asociadas a la ubicación y a la presencia de actividad truchícola.

TERCERA: El análisis de las variaciones de los parámetros fisicoquímicos en función de los niveles de intensidad truchícola mostró que las zonas con mayor concentración de jaulas flotantes presentaron valores más bajos de pH y oxígeno disuelto en comparación con las zonas de menor o nula actividad truchícola, mientras que la temperatura del agua presentó variaciones reducidas entre los niveles evaluados.

CUARTA: La comparación de los valores registrados con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM evidenció que el parámetro pH no cumple con el rango permisible (6,0–9,0) en zonas de alta intensidad truchícola, registrándose valores mínimos de hasta 5,40, lo que representa una condición de acidez por debajo del límite normativo. En contraste, la temperatura del agua presentó valores dentro del rango aproximado de 14,4 °C a 15,0 °C, mientras que el oxígeno

disuelto registró valores cercanos al límite mínimo permisible, con promedios alrededor de 6,0 a 7,0 mg/L, cumpliendo con la normativa vigente en todos los puntos evaluados.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda a las autoridades competentes en materia ambiental y acuícola, tales como el Ministerio del Ambiente (MINAM), la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y la Dirección Regional de la Producción (DIREPRO) de Puno, fortalecer el monitoreo periódico del parámetro pH en las zonas con alta intensidad truchícola del sector Barco del Lago Titicaca, debido a que los resultados del estudio evidenciaron valores por debajo del límite mínimo establecido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

SEGUNDA: Se recomienda a los productores truchícolas mejorar las prácticas de manejo del cultivo, especialmente en las zonas con mayor concentración de jaulas flotantes, con el fin de reducir el aporte de materia orgánica al cuerpo de agua, considerando que los valores bajos de pH registrados podrían estar asociados a la intensidad de la actividad productiva en dichas áreas.

TERCERA: Si bien los parámetros de temperatura y oxígeno disuelto cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental, se recomienda a las entidades de supervisión ambiental mantener el seguimiento continuo de estos parámetros, debido a que el oxígeno disuelto presentó valores cercanos al límite mínimo permisible, lo cual podría representar un riesgo ante un eventual incremento de la actividad truchícola o cambios en las condiciones ambientales.

CUARTA: Se recomienda desarrollar nuevas investigaciones que amplíen el periodo de monitoreo y evalúen otros parámetros fisicoquímicos y nutrientes, como nitrógeno y fósforo, con la finalidad de cubrir los vacíos de información identificados en el presente

estudio y responder nuevas interrogantes relacionadas con los efectos acumulativos de la truchicultura sobre la calidad del agua del Lago Titicaca.

BIBLIOGRAFÍA

- Arpasi, D. A. (2024). *Influencia del cultivo intensivo de truchas (Oncorhynchus mykiss) en la presencia de diatomeas y macroinvertebrados en dos zonas de Lago Titicaca, 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio UNAP. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/23925>
- Autoridad Binacional del Lago Titicaca (ALT). (2020). *Informe sobre el estado ambiental del Lago Titicaca*. ALT. https://alt-perubolivia.org/?page_id=1593
- Boyd, C. E. (2015). *Water quality: An introduction* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17446-4>
- Caissie, D. (2006). *The thermal regime of rivers: A review*. *Freshwater Biology*, 51(8), 1389–1406. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01597.x>
- Cardenas, M. I. (2024). *Buenas prácticas acuícolas y algunos parámetros fisicoquímicos del agua en piscigranjas de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) en el distrito de Abancay, región Apurímac* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. Repositorio UNAMBA. <https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1473>
- Case Studies in Salmon Aquaculture. (2013). *Waste discharges*. Salmon Farming St. Andrews. <https://salmonfarmingstandrews.wordpress.com/page-2/waste-discharges/>
- Colt, J. (2006). Water quality requirements for reuse systems. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 143–156. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.08.011>
- Dejoux, C., & Iltis, A. (Eds.). (1992). *Lake Titicaca: A synthesis of limnological knowledge*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers/UNESCO. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-08/37968.pdf
- Dreamstime. (2023). *Jaulas de piscifactoría en el lago Titicaca, Puno, Perú* [Fotografía]. Dreamstime. <https://es.dreamstime.com/jaulas-de-piscifactor%C3%ADa-en-el-lago-titicaca-pune%C3%B1o-per%C3%BA-octubre-image298784134>

- Escobar, F., Moreno, E., Siguayro, H., & Argota, G. (2023). *Physicochemical characterization and presence of heavy metals in the trout farming area of Lake Titicaca, Peru*. *SAINS TANAH: Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 20(2), 140–149. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v20i2.62357>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *The state of world fisheries and aquaculture 2020: Sustainability in action*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/items/b752285b-b2ac-4983-92a9-fdb24e92312b>
- Lubembe, S. I., Walumona, J. R., Hyangya, B. L., Kondowe, B. N., Kulimushi, J.-D. M., Shamamba, G. A., Kulimushi, A. M., Hounsounou, B. H. R., Mbalassa, M., Masese, F. O., & Masilya, M. P. (2024). *Environmental impacts of tilapia fish cage aquaculture on water physico-chemical parameters of Lake Kivu, Democratic Republic of the Congo*. *Frontiers in Water*, 6, 1325967. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1325967>
- Maquera, E. Y. (2025). *Determinación del impacto ambiental por efecto de cultivo intensivo de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss) en Sede Barco del Centro Experimental Chucuito* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio UNAP. https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/24235/Maquera_Vilca_Evelin_Yovana.pdf?isAllowed=y&sequence=1
- Ministerio de la Producción – PRODUCE. (2015). *Plan Regional de la Acuicultura de Puno*. PRODUCE. <https://rnia.produce.gob.pe/wp-content/uploads/2019/07/Plan-Regional-de-Acuicultura-Puno.pdf>
- Okechi, J. K., Peoples, N., Nyamweya, C. S., Orina, P. S., Cooperman, M. S., & Kaufman, L. (2025). *Effects of Nile tilapia (Oreochromis niloticus) cage aquaculture on water quality in the world's largest tropical lake*. *Journal of Great Lakes Research*, 51(3), Article 102576. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2025.102576>

- Okechi, J. K., Njiru, J. M., & Aura, C. M. (2019). Cage fish culture in Lake Victoria: A boon or a disaster in waiting? *Fisheries Management and Ecology*, 26(5), 426–434. <https://doi.org/10.1111/fme.12283>
- Pepe, R., Pepe, P., Pérez, A., Aravenai, H., Huanacuni, J. I., Méndez, F., Olivares, G., Acosta, O., & Espinoza, L. (2025). *Evaluation of water quality in the production of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) in a recirculating aquaculture system (RAS) in the precordilleran region of northern Chile*. *Water*, 17(11), 1685. <https://doi.org/10.3390/w17111685>
- Poole, G. C., & Berman, C. H. (2001). An ecological perspective on in-stream temperature: Natural heat dynamics and mechanisms of human-caused thermal degradation. *Environmental Management*, 27(6), 787–802. <https://doi.org/10.1007/s002670010188>
- Richerson, P. J., Widmer, C., Kittel, T., & Landa, J. (1975). A survey of the physical and chemical limnology of Lake Titicaca (Peru-Bolivia). *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 19(1), 1498–1503. https://www.researchgate.net/publication/321457113_A_survey_of_the_physical_and_chemical_limnology_of_Lake_Titicaca_With_4_figures_and_1_table_in_the_text
- Robertson-Bryan, Inc. (2004). *pH requirements of freshwater aquatic life* (Technical Memorandum). United States Environmental Protection Agency (EPA). https://www.waterboards.ca.gov/waterrights/water_issues/programs/bay_delta/deltaflow/docs/exhibits/bigbreak/dscbb_exh5.pdf
- Tarapa, W. (2023). *Calidad ambiental del agua en la bahía interior de Puno – Lago Titicaca 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada San Carlos]. Repositorio UPSC. <https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/523>
- Tunque, J. F. J. (2022). *Evaluación del efecto en los parámetros físico, químico y microbiológico del agua debido a la producción intensiva de trucha en jaulas flotantes en la laguna Choclococha – Huancavelica 2018* [Tesis de licenciatura,

Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental.

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11533>

Vásquez, W., Talavera, M., & Inga, M. (2016). Evaluación del impacto en la calidad de agua debido a la producción semi-intensiva de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes en la Laguna Arapa – Puno. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(1), 17–28. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v82i1.41>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
<p>Problema general: ¿Cómo influye la actividad truchícola en los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, pH y oxígeno disuelto) en el sector Barco del Lago Titicaca?</p> <p>Problemas específicos: 1. ¿Cuáles son los valores de temperatura, pH y oxígeno disuelto en los distintos puntos del sector Barco donde se desarrolla la actividad truchícola? 2. ¿Existen diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos del agua entre zonas con distintos niveles de intensidad truchícola? 3. ¿Qué nivel de cumplimiento presentan los parámetros fisicoquímicos obtenidos en el sector Barco respecto a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, Categoría 2 - subcategoría C4?</p>	<p>Objetivo general: Evaluar el impacto de la actividad truchícola sobre los parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, pH y oxígeno disuelto) en el sector Barco del Lago Titicaca, en comparación con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.</p> <p>Objetivos específicos: 1. Determinar los parámetros fisicoquímicos en diferentes puntos estratégicos del sector Barco donde se desarrolla la actividad truchícola. 2. Analizar las variaciones de los parámetros fisicoquímicos en función de los distintos niveles de intensidad de truchicultura. 3. Comparar los valores obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, Categoría 2 - subcategoría C4</p>	<p>Hipótesis general: La actividad truchícola se asocia con variaciones en los parámetros fisicoquímicos del agua, algunas de las cuales se encuentran fuera de los límites establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.</p> <p>Hipótesis específicas: 1. Los parámetros fisicoquímicos del agua presentan variaciones entre zonas con distinta intensidad de actividad truchícola. 2. Las zonas con mayor intensidad truchícola presentan valores más bajos de pH y oxígeno disuelto en comparación con zonas de menor o nula actividad. 3. Los valores registrados de los parámetros fisicoquímicos del agua presentan desviaciones respecto a los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM Categoría 2 - subcategoría C4.</p>	<p>Variable independiente: - Actividad truchícola (categorizada por nivel de intensidad)</p> <p>Variables dependientes: : Parámetros fisicoquímicos del agua</p>	<p>- Temperatura (°C) - pH (unidades) - Oxígeno disuelto (mg/L) - Nivel de intensidad truchícola (alta, media, baja, nula)</p>	<p>- Observación directa - GPS - Ficha de campo - Equipo multiparamétrico YSI EcoSense ODO200/pH 100A - Ficha de monitoreo</p>	<p>- Estadística descriptiva (media, min, max, DE) - Análisis comparativo por niveles - Comparación con ECA (D.S. 004-2017-MINAM)</p>

Anexo 02: Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM

10

NORMAS LEGALES

Miércoles 7 de junio de 2017 /  El Peruano

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO
Nº 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

- B1. Contacto primario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

- B2. Contacto secundario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabrillas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

a) Subcategoría D1: Riego de vegetales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos

- Estuarios

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precítese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermiales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

Artículo 8.- Sistematización de la información

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

Artículo 9.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
DEROGATORIA**

Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua
Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco-N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5-8,5	5,5-9,0	5,5-9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₈ - C ₄₀)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos (e)	(e)	1,0	1,0	1,0
Bromoforno	mg/L	0,1	**	**
Cloroforno	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃-).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N (NO_2^- -N), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO_2^-).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{cloroformo}}}{E_{\text{CAcloroformo}}} + \frac{C_{\text{dibromoclorometano}}}{E_{\text{CA dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{bromodichlorometano}}}{E_{\text{CA bromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{bromoformo}}}{E_{\text{CA bromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS-QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO_3^- -N)	mg/L	10	**
Nitritos (NO_2^- -N)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₂)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Niquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃⁻-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

(d) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 3:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoniaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoniaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoniaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoniaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₂)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5		6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Niquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000019	0,000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000087	0,000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,000023	0,000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
 (b) Después de la filtración simple.
 (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO_3^- -N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3^-).
 Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH_3) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3).

Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,80	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 20 g/kg								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 30 g/kg								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	3,10	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

Notas:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH_3 -N), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH_3).

NOTA GENERAL:

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.
- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1529835-2

Anexo 03: Fichas de Registros de Parámetros Fisicoquímicos

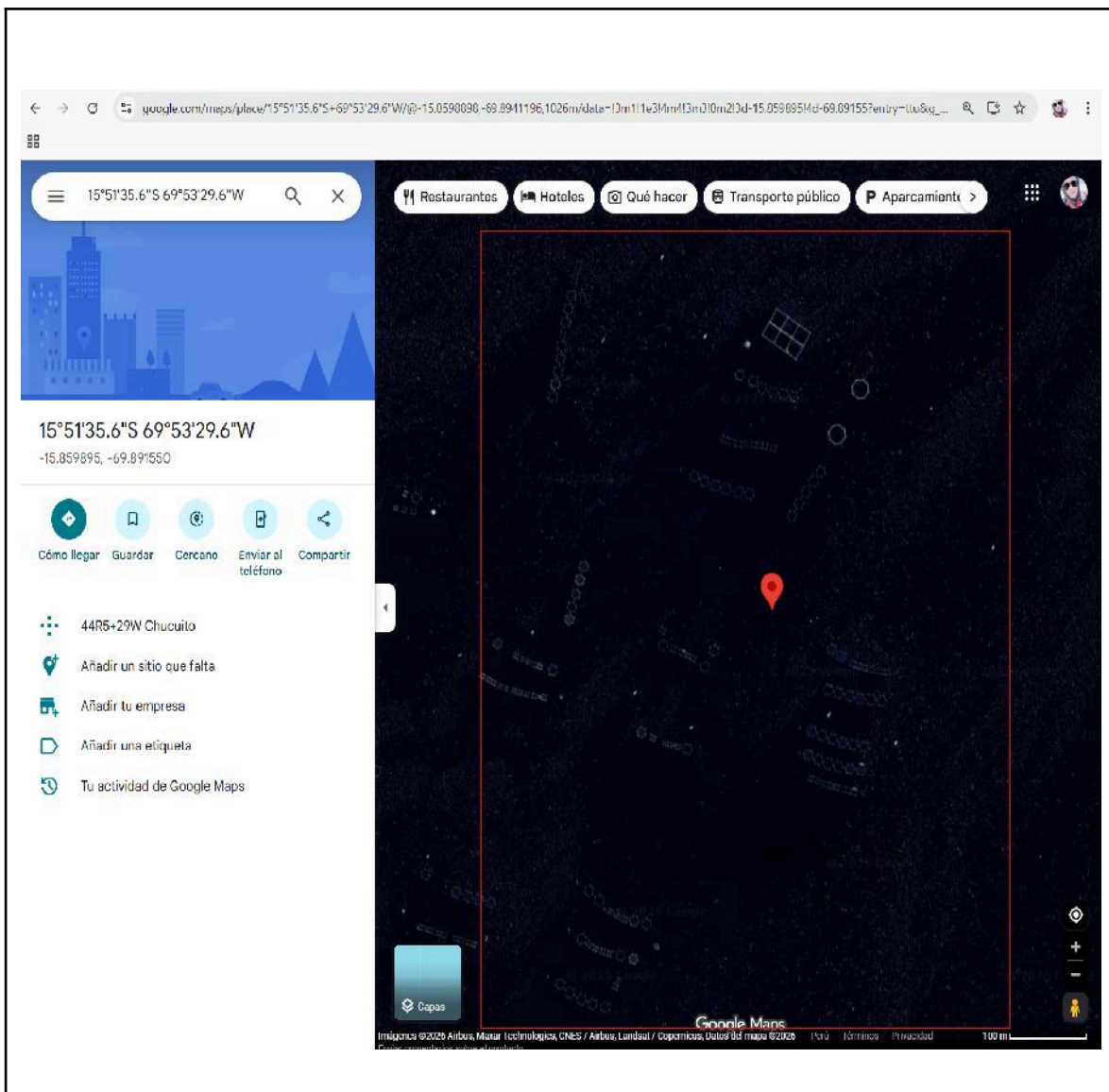
Ficha de Registro de Parámetros Fisicoquímicos – Sector Barco, Lago Titicaca

Código	Coordenadas GPS	Fecha DD/MM/AA	Hora HH:MM	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	OD (mg/L)	Intensidad trufichola	Observaciones	Responsable
P01	S: $15^{\circ} 31' 35.6''$ / W: $69^{\circ} 53' 29.6''$	10/11/2025	08:05	10	14.60	5.10	5.22	(X) Alta () Media () Baja () Nula		Dayby Edozon Algo
P02	S: $15^{\circ} 31' 34.1''$ / W: $69^{\circ} 53' 28.8''$	12/11/2025	08:35	10	15.06	6.35	5.37	() Alta (X) Media () Baja () Nula		Dayby Edozon Algo
P03	S: $15^{\circ} 32' 08.5''$ / W: $69^{\circ} 53' 24.8''$	17/11/2025	09:46	10	15.40	7.78	5.44	() Alta () Media (X) Baja () Nula		Dayby Edozon Algo
P04	S: $15^{\circ} 31' 22.1''$ / W: $69^{\circ} 53' 28.9''$	14/11/2025	10:20	10	14.50	7.80	5.31	() Alta () Media () Baja (X) Nula		Dayby Edozon Algo

Ficha de Registro de Parámetros Físicoquímicos – Sector Barco, Lago Titicaca

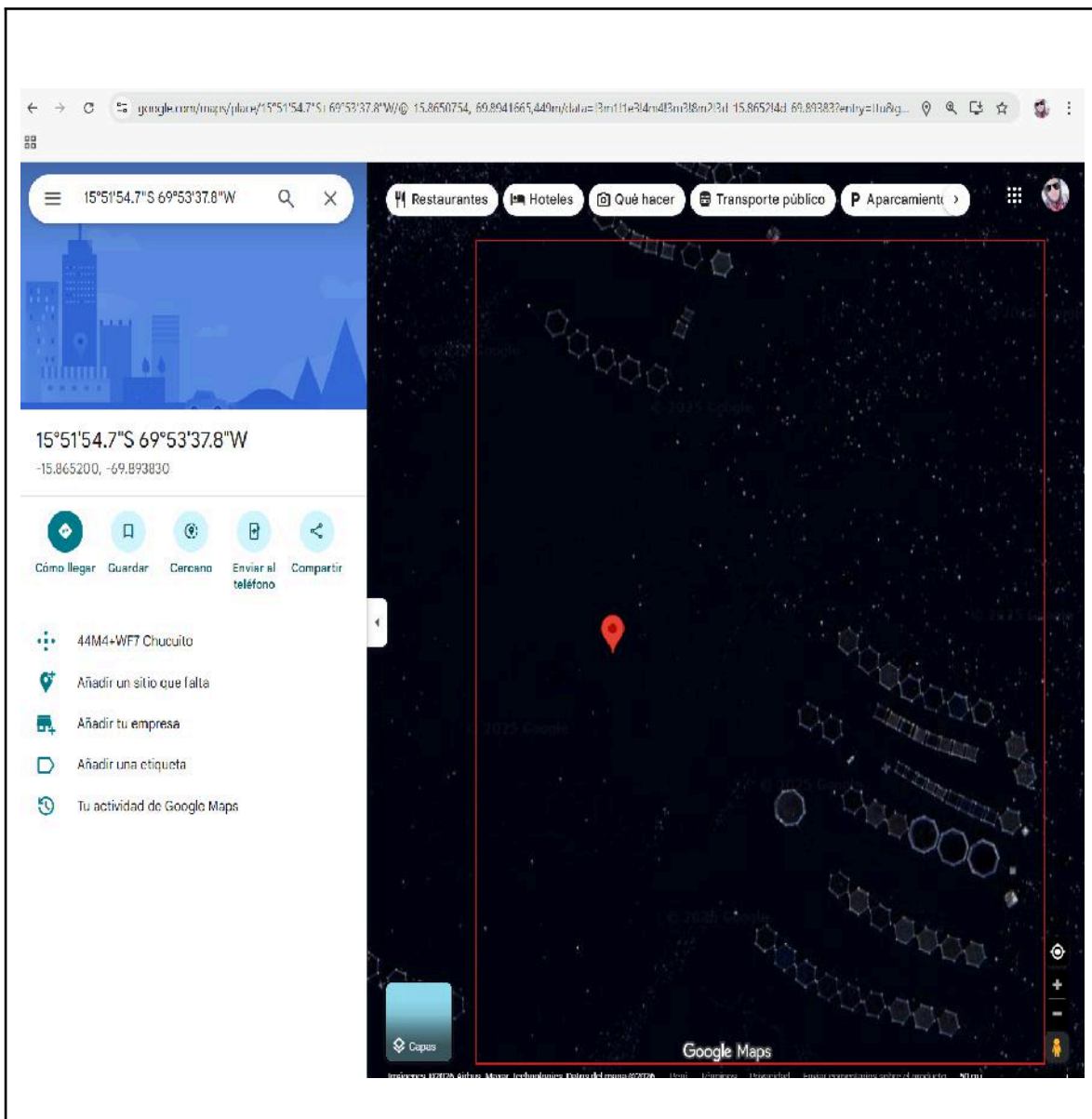
Código	Coordenadas GPS	Fecha DD/MM/AA	Hora HH:MM	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	OD (mg/L)	Intensidad truchicola	Observaciones	Responsable
P01	S: $15^{\circ} 51' 56.6''$ / W: $69^{\circ} 53' 21.6''$	24/11/2025	08:40	10	14.40	5.80	5.20	(X) Alta () Media () Baja () Nula		Derby Edyson Tigve Alfjo
P02	S: $15^{\circ} 51' 58.7''$ / W: $69^{\circ} 53' 23.8''$	26/11/2025	08:40	10	15.02	6.82	5.35	() Alta (X) Media () Baja () Nula		Derby Edyson Tigve Alfjo
P03	S: $15^{\circ} 52' 04.5''$ / W: $69^{\circ} 53' 28.9''$	01/12/2025	09:30	10	15.60	7.80	5.47	() Alta () Media (X) Baja () Nula		Derby Edyson Tigve Alfjo
P04	S: $15^{\circ} 51' 31.4''$ / W: $69^{\circ} 53' 08.9''$	03/12/2025	10:15	10	14.60	7.60	5.29	() Alta () Media () Baja (X) Nula		Derby Edyson Tigve Alfjo

Anexo 04: Punto de muestreo P1, Intensidad truchícola alta



Vista satelital del sector Barco del Lago Titicaca, extraída de Google Maps, donde se señala la ubicación del punto de muestreo P1, correspondiente a un área con alta intensidad de actividad truchícola.

Anexo 05: Punto de muestreo P2, Intensidad truchícola media



Vista satelital del sector Barco del Lago Titicaca, obtenida de Google Maps, donde se indica la ubicación de los puntos de muestreo P2, correspondientes a un área con intensidad truchícola media.



ANEXO 08: Panel Fotográfico de la Recolección de Datos en cuanto a Temperatura, pH y Oxígeno Disuelto



Figura 01: Equipo Multiparámetro YSI EcoSense ODO200



Figura 02: Equipo Multiparámetro YSI EcoSense pH100A

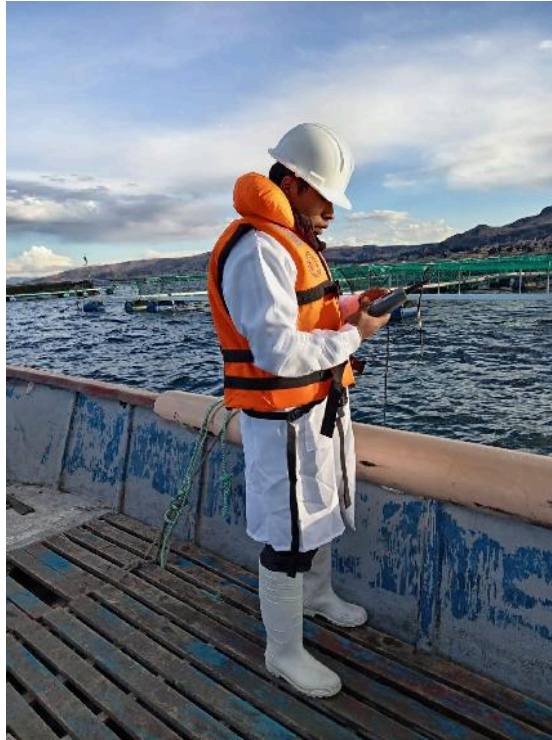


Figura 03: Medición de parámetros fisicoquímicos en el punto de muestreo P1 (1ra medición)



Figura 04: Medición de parámetros fisicoquímicos en el punto de muestreo P2 (2da medición)



Figura 05: Medición de parámetros fisicoquímicos en el punto de muestreo P3 (3ra medición)



Figura 06: Medición de parámetros fisicoquímicos en el punto de muestreo P4 (4ta medición)



Figura 07: Medición de parámetros fisicoquímicos en el punto de muestreo P1 (5ta medición)



Figura 08: Medición de parámetros fisicoquímicos en el punto de muestreo P2 (6ta medición)



Figura 09: Medición de parámetros fisicoquímicos en el punto de muestreo P3 (7ma medición)



Figura 10: Medición de parámetros fisicoquímicos en el punto de muestreo P4 (8va medición)