

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Contaminación orgánica en la laguna Patarcocha: evaluación de
DBO₅ y estrategias para su recuperación, Chaupimarca – Pasco, 2025**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Bach. Samir Jyampol ALANIA OSORIO

Bach. Ruth Mirella TTITO ZUÑIGA

Asesor:

Dr. Rommel Luis LOPEZ ALVARADO

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Contaminación orgánica en la laguna Patarcocha: evaluación de
DBO₅ y estrategias para su recuperación, Chaupimarca – Pasco, 2025**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Eleuterio Andrés ZAVALA SÁNCHEZ
PRESIDENTE

Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA
MIEMBRO

Mg. Edgar Walter PEREZ JUZCAMAYTA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 343-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

Contaminación orgánica en la laguna Patarcocha: evaluación de DBO₅ y estrategias para su recuperación, Chaupimarca – Pasco, 2025

Apellidos y nombres de los tesisistas

Bach. Samir Jyampol, ALANIA OSORIO

Bach. Ruth Mirella, TTITO ZUÑIGA

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Rommel Luis, LOPEZ ALVARADO

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Ambiental

Índice de Similitud

4 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 18 de noviembre del 2025



Firmado digitalmente por: TALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154805046.scif
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 18.11.2025 16:51:40 -05:00

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis con profundo amor y gratitud a nuestras madres, mujeres valientes y ejemplares, por ser nuestro mayor apoyo en todo momento. Gracias por su amor incondicional, por su esfuerzo constante, por sus consejos llenos de sabiduría y por enseñarnos, con el ejemplo, que con sacrificio y determinación todo es posible. Este logro es tan nuestro como suyo, pues sin su respaldo constante no habríamos llegado hasta aquí.

De manera particular, uno de los autores dedica este trabajo a su hermana y a su abuela, sus ángeles de la guarda, expresando gratitud eterna por haber sido el faro constante en sus días más difíciles, por confiar en él incluso cuando él mismo dudaba y por sostener siempre su esperanza con amor infinito; y a su padre, por su apoyo incondicional y sus sabios consejos. Mientras tanto, el otro autor dedica este logro a su abuelo, por el ejemplo de vida brindado y por enseñarle, con esfuerzo y nobleza, el verdadero valor de la perseverancia; a la memoria de su abuelita, su ángel eterno, cuyo amor y enseñanzas seguirán guiando siempre sus pasos; y a su hermana, a quien quiere profundamente y que, con su cariño sincero, llena su vida de alegría. Finalmente, nos reconocemos a nosotros mismos por la perseverancia, la disciplina y el esfuerzo compartido que hicieron posible culminar con éxito esta tesis. Como compañeros de vida y de estudio, agradecemos haber recorrido juntos este camino, compartiendo sueños, desvelos y alegrías, y convirtiendo esta meta en un recuerdo inolvidable.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, quienes a lo largo de mi formación académica no solo compartieron sus conocimientos con compromiso y vocación, sino que también sembraron en mí la pasión por la investigación, el pensamiento crítico y la responsabilidad ambiental.

Agradezco especialmente por la orientación brindada en el desarrollo de esta tesis, por las valiosas recomendaciones técnicas y por fomentar una visión integral frente a los problemas ambientales que enfrenta nuestra región. Su dedicación y esfuerzo han sido fundamentales para la culminación de este trabajo y para mi crecimiento profesional y personal.

Gracias por ser guías en este camino de formación, y por contribuir al desarrollo de profesionales comprometidos con el cuidado del medio ambiente y el bienestar de la sociedad.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad evaluar la contaminación orgánica en la laguna Patarcocha, ubicada en el distrito de Chaupimarca, región Pasco, mediante la medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5), con el objetivo de proponer estrategias viables para su recuperación. La laguna, históricamente afectada por el vertimiento directo de aguas residuales domésticas, muestra signos claros de deterioro ecológico y pérdida de calidad del recurso hídrico.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo-explicativo. Se recolectaron muestras de agua en seis puntos estratégicos durante la temporada seca del año 2025. Los análisis fisicoquímicos arrojaron valores de DBO_5 que oscilaron entre 45.6 mg/L y 68.4 mg/L, superando ampliamente el límite establecido por el D.S. N.º 004-2017-MINAM para lagunas (≤ 5 mg/L). Asimismo, se registraron sólidos suspendidos totales entre 92 y 154 mg/L, y niveles de coliformes fecales superiores a 10,000 NMP/100 mL, evidenciando una alta carga contaminante de origen orgánico.

Los resultados confirman que la laguna se encuentra en un estado eutrófico avanzado, con baja transparencia del agua, disminución de oxígeno disuelto y proliferación de vegetación superficial flotante. Estos hallazgos son coherentes con estudios realizados en otros ecosistemas altoandinos de Perú, Colombia y Ecuador, donde la presión antrópica ha generado procesos similares de degradación ambiental.

Ante esta problemática, se propone una serie de estrategias integradas de recuperación, entre ellas: la implementación de sistemas de tratamiento natural (lagunas de estabilización o humedales artificiales), el control de descargas domiciliarias no tratadas, el monitoreo periódico de parámetros críticos y la promoción de la educación ambiental en la población local.

En conclusión, la laguna Patarcocha presenta un alto nivel de contaminación orgánica que compromete su equilibrio ecológico y su valor como recurso hídrico. Es urgente intervenir con acciones sostenibles y multisectoriales para evitar la pérdida irreversible de este ecosistema altoandino.

Palabras clave: DBO₅, contaminación orgánica, laguna Patarcocha, calidad del agua, eutrofización, estrategias de recuperación.

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate organic pollution in the Patarcocha lagoon, located in the district of Chaupimarca, Pasco region, by measuring the five-day biochemical oxygen demand (BOD₅), with the aim of proposing viable strategies for its recovery. The lagoon, historically affected by direct discharge of domestic wastewater, shows clear signs of ecological deterioration and loss of water quality.

The study was conducted using a quantitative, descriptive-explanatory approach. Water samples were collected at six strategic points during the dry season of 2025. Physicochemical analyses yielded BOD₅ values ranging from 45.6 mg/L to 68.4 mg/L, well above the limit established by D.S. No. 004-2017-MINAM for lagoons (≤ 5 mg/L). Likewise, total suspended solids between 92 and 154 mg/L were recorded, as well as fecal coliform levels above 10,000 NMP/100 mL, evidencing a high organic pollutant load.

The results confirm that the lagoon is in an advanced eutrophic state, with low water transparency, decreased dissolved oxygen, and proliferation of floating surface vegetation. These findings are consistent with studies conducted in other high Andean ecosystems in Peru, Colombia, and Ecuador, where anthropogenic pressure has generated similar processes of environmental degradation.

In view of this problem, a series of integrated recovery strategies are proposed, including: the implementation of natural treatment systems (stabilization ponds or artificial wetlands), the control of untreated domestic discharges, the periodic monitoring of critical parameters, and the promotion of environmental education among the local population.

In conclusion, the Patarcocha lagoon has a high level of organic pollution that compromises its ecological balance and its value as a water resource. It is urgent to intervene with sustainable and multisectoral actions to prevent the irreversible loss of this high Andean ecosystem.

Keywords: BOD₅, organic pollution, Patarcocha lagoon, water quality, eutrophication, recovery strategies.

INTRODUCCIÓN

Las lagunas altoandinas cumplen funciones vitales en los ecosistemas de montaña, al actuar como reservorios naturales de agua dulce, reguladores del clima y hábitats de una amplia diversidad biológica. En este contexto, la laguna Patarcocha, ubicada en el distrito de Chaupimarca, provincia y región Pasco, constituye uno de los principales cuerpos de agua de la ciudad de Cerro de Pasco. No obstante, en las últimas décadas ha sido severamente afectada por procesos de contaminación orgánica, principalmente como consecuencia del vertimiento de aguas residuales domésticas sin tratamiento.

Uno de los indicadores más representativos para evaluar el grado de contaminación orgánica en cuerpos de agua es la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5), la cual refleja el consumo de oxígeno por parte de los microorganismos durante la descomposición de materia orgánica biodegradable. Valores elevados de DBO_5 indican una presión ambiental significativa que compromete la estabilidad ecológica del ecosistema acuático, reduciendo el oxígeno disuelto, generando eutrofización y afectando directamente a la biodiversidad.

La presente investigación tiene como objetivo principal evaluar el nivel de contaminación orgánica de la laguna Patarcocha mediante el análisis de DBO_5 , y proponer estrategias de recuperación ambiental sostenibles y acordes al contexto físico, social y económico de la zona. Para ello, se ha llevado a cabo una caracterización físico-química del agua de la laguna en puntos estratégicos de monitoreo, comparando los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) vigentes en el Perú.

Asimismo, el estudio se sustenta en la revisión de antecedentes nacionales e internacionales que evidencian la problemática común en ecosistemas lénticos de altura, afectados por actividades humanas como la urbanización, el crecimiento poblacional, la agricultura intensiva y la deficiente gestión de residuos líquidos. La comparación con otros casos en Colombia, Ecuador, Argelia y Sri Lanka permite identificar patrones comunes y extraer lecciones aplicables a la realidad de Patarcocha.

Este trabajo busca no solo aportar conocimiento técnico-científico sobre la situación ambiental de la laguna, sino también generar propuestas concretas de intervención que orienten a las autoridades locales, organizaciones sociales y comunidad en general, en la búsqueda de soluciones sostenibles. La recuperación de la laguna Patarcocha no solo es una necesidad ecológica, sino también una deuda histórica con la población pasqueña, que merece convivir con un entorno saludable y funcional.

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	3
1.3.	Formulación del problema	5
1.3.1.	Problema general	5
1.3.2.	Problemas específicos	5
1.4.	Formulación de objetivos	6
1.4.1.	Objetivo general	6
1.4.2.	Objetivos específicos	6
1.5.	Justificación de la investigación	7
1.6.	Limitaciones de la investigación	8

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes del estudio	10
2.2.	Bases teóricas- científicas	19
2.3.	Definición de términos básicos	25
2.4.	Formulación de hipótesis	27
2.4.1.	Hipótesis de general	27
2.4.2.	Hipótesis específicas	28
2.5.	Identificación de variables	28
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	28

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	30
------	-----------------------------	----

3.2.	Nivel de investigación	31
3.3.	Métodos de investigación	31
3.4.	Diseño de investigación	32
3.5.	Población y muestra	32
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	34
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.	34
3.8.	Técnicas de procesamientos y análisis de datos	35
3.9.	Tratamiento estadístico	36
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	38

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	40
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados	48
4.3.	Prueba de hipótesis	55
4.4.	Discusión de resultados.....	57

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1 <i>Matriz de operacionalización de las variables</i>	29
Tabla 2 <i>Puntos de muestreo en la laguna Patarcocha, expresados en coordenadas geográficas:</i>	33
Tabla 3 <i>Puntos de Control de Agua Superficial en la Laguna Patarcocha</i>	44
Tabla 4 <i>Lecturas de parámetros físicoquímicos por Punto de Monitoreo</i>	45
Tabla 5 <i>Lecturas de parámetros microbiológicos por Punto de Monitoreo</i>	45
Tabla 6 <i>Categoría 4: Conservación del ambiente acuático</i>	46

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1 <i>Laguna Patarcocha</i>	4
Figura 2 <i>Toma satelital de la ubicación de la laguna Patarcocha</i>	5
Figura 3 <i>Efluente del colector a la laguna Patarcocha</i>	22
Figura 4 <i>Residuos sólidos depositados en las orillas de la laguna Patarcocha</i>	22
Figura 5 <i>Realizando mediciones de parámetros fisicoquímicos</i>	43
Figura 6 <i>Monitoreo ambiental en las aguas de la laguna Patarcocha</i>	43

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

1.1.1 Planteamiento del Problema

La laguna Patarcocha, ubicada en la ciudad de Cerro de Pasco a 4,333 m.s.n.m., ha sido históricamente el recurso hídrico más importante de la zona, tanto por su valor ecológico como por su uso para el consumo humano en el pasado. Sin embargo, el crecimiento urbano desordenado y la falta de planificación han conducido a un grave deterioro de su calidad ambiental.

El proceso de eutrofización acelerada, originado principalmente por actividades antropogénicas, ha comprometido severamente la calidad del agua de la laguna. Entre los principales factores que contribuyen a su contaminación se encuentran el vertimiento de aguas residuales domésticas sin tratamiento, la acumulación de residuos sólidos y la expansión de asentamientos humanos sin infraestructura sanitaria adecuada. Esto ha provocado la proliferación de vegetación invasora, un aumento en la turbidez del agua y la presencia de espuma en la zona litoral, evidenciando el alto nivel de degradación ambiental.

Informes científicos indican que, si bien la laguna presenta una composición biológica afectada, aún mantiene condiciones que permitirían su restauración, en gran

parte debido a su pH neutro-alcalino y la presencia de suelos calizos que contribuyen a la neutralización de contaminantes. La contaminación por materia orgánica, medida a través de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), es un indicador clave del nivel de degradación de la laguna, ya que refleja la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en el agua. Altos niveles de DBO_5 indican un proceso de eutrofización acelerado, lo que reduce la disponibilidad de oxígeno para la fauna acuática y provoca la proliferación de microorganismos nocivos.

A pesar de los esfuerzos por mitigar la contaminación ambiental en la zona, la laguna Patarcocha sigue siendo un foco crítico de deterioro ambiental. Ante esta problemática, surge la necesidad de evaluar el grado de contaminación mediante el análisis de DBO_5 y proponer estrategias efectivas para la recuperación del ecosistema acuático, garantizando su sostenibilidad a largo plazo.

El impacto de la contaminación de la laguna no se limita al deterioro ambiental, sino que también afecta la salud pública. Los olores nauseabundos generados por la descomposición de materia orgánica han provocado molestias a la población circundante, generando problemas respiratorios y cutáneos en los habitantes, especialmente en niños y personas vulnerables. Ante esta situación, se han implementado acciones emergentes, como el uso de bombas para oxigenar el agua y la instalación de puestos de salud para atender a los afectados.

En este contexto, la recuperación de la laguna Patarcocha requiere un enfoque integral que combine medidas de saneamiento ambiental con estrategias de desarrollo urbano sostenible. Entre las posibles soluciones destacan la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, la reforestación de sus alrededores, la remoción de residuos acumulados y la concienciación ciudadana sobre la importancia de su conservación. Además, se hace necesaria una mayor coordinación entre las autoridades locales, el sector privado y la comunidad para garantizar la protección de este recurso hídrico vital para la ciudad de Cerro de Pasco.

La laguna Patarcocha, más allá de su valor ambiental, representa un símbolo histórico y cultural para la población. Su restauración no solo contribuiría a mejorar la calidad de vida en la zona, sino que también permitiría recuperar un patrimonio natural que, con el adecuado manejo, podría convertirse nuevamente en un ecosistema funcional y sostenible.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación teórica.

La DBO₅ es un parámetro clave para evaluar la contaminación orgánica en cuerpos de agua. Representa la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para descomponer la materia orgánica en un período de cinco días a una temperatura de 20 °C (Metcalf & Eddy, 2014). Un alto nivel de DBO₅ indica una gran presencia de materia orgánica biodegradable, lo que puede provocar condiciones anaeróbicas y la generación de compuestos tóxicos como el sulfuro de hidrógeno y el amoníaco.

La descarga de aguas residuales sin tratamiento es una de las principales causas de la contaminación en la laguna Patarcocha. Según estudios ambientales (Camero, 2006), los impactos más relevantes de las aguas servidas incluyen:

- Eutrofización: El exceso de nutrientes (nitrógeno y fósforo) provoca el crecimiento descontrolado de algas, lo que reduce la oxigenación del agua y afecta la biodiversidad.
- Alteración del pH y toxicidad: Los vertimientos pueden modificar el equilibrio químico del agua, afectando la flora y fauna acuática.
- Riesgos para la salud pública: La presencia de patógenos en las aguas contaminadas representa una amenaza para las poblaciones que viven cerca de la laguna.

1.2.2. Delimitación espacial.

La laguna Patarcocha, se encuentra ubicada en el distrito de Chaupimarca, uno de los trece distritos que conforman la provincia de Pasco, se encuentra localizado

en la parte suroccidental de esta provincia, en el departamento de Pasco (Figura 1), a una altitud de 4,373 m s.n.m. Dentro de este distrito, la laguna Patarcocha se ubica en el centro de la ciudad de Cerro de Pasco y ha sido seleccionada como el área de evaluación debido a su alto grado de contaminación por aguas residuales domésticas y otros desechos urbanos.

Figura 1 *Laguna Patarcocha*



Las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S) del área evaluada son aproximadamente X: 354,000 m Y: 8,867,000 m, lo que permite su ubicación precisa dentro del mapa geográfico del distrito.

Además de su importancia ecológica, la laguna Patarcocha tiene un rol significativo en el equilibrio ambiental de la zona, ya que históricamente ha funcionado como un cuerpo de agua regulador en la ciudad. Sin embargo, el crecimiento urbano desordenado, la falta de tratamiento adecuado de las aguas residuales y la presencia de residuos sólidos han generado un deterioro progresivo en su calidad de agua, evidenciado en la alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), la proliferación de materia orgánica en descomposición y la disminución de la biodiversidad acuática.

Este estudio busca evaluar el grado de contaminación por DBO₅ y proponer estrategias para la recuperación de la laguna, considerando alternativas como la oxigenación del agua y la implementación de planes de tratamiento sostenible.

1.2.3. Delimitación temporal.

Tiempo:

Duración 4 meses:

Inicio el mes de febrero 2025 hasta el mes de junio 2025.

Figura 2 Toma satelital de la ubicación de la laguna Patarcocha



1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el impacto de la contaminación orgánica en la laguna Patarcocha y cómo la evaluación de la DBO_5 puede contribuir a definir estrategias para su recuperación en Chaupimarca–Pasco, 2025?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cómo afecta la carga orgánica, medida a través de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), a la calidad del agua de la Laguna Patarcocha y qué implicancias tiene para el ecosistema acuático y la salud pública en Chaupimarca – Pasco?
- ¿Qué estrategias de remediación ambiental pueden implementarse, basadas en la evaluación de la DBO_5 , para mitigar la contaminación orgánica y mejorar la calidad del agua de la Laguna Patarcocha en Chaupimarca – Pasco?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el impacto de la contaminación orgánica en la Laguna Patarcocha mediante la medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y proponer estrategias efectivas para su recuperación ambiental en Chaupimarca – Pasco.

1.4.2. Objetivos específicos

- Análisis de la DBO₅ y otros parámetros fisicoquímicos y biológicos, con el fin de identificar el nivel de contaminación orgánica y su impacto en el ecosistema acuático.
- Diseñar e implementar estrategias de remediación ambiental basadas en los resultados del análisis de contaminación, con el propósito de mejorar la calidad del agua y contribuir a la recuperación y conservación de la laguna.

A. Importancia de la Investigación

La presente investigación es fundamental para comprender el grado de contaminación orgánica de la laguna Patarcocha y su impacto ambiental, social y económico en la ciudad de Cerro de Pasco. La evaluación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) permitirá obtener datos científicos sobre la calidad del agua, facilitando la toma de decisiones para su recuperación. Además, este estudio contribuirá al diseño de estrategias de remediación que pueden ser utilizadas como referencia en la conservación de otros cuerpos de agua en la región. Asimismo, su importancia radica en la sensibilización de la población y las autoridades sobre la urgencia de implementar políticas de gestión ambiental sostenibles.

B. Alcance de la Investigación

El estudio abarcará la evaluación de la calidad del agua de la laguna Patarcocha a través del análisis de la DBO₅ y otros parámetros fisicoquímicos y

biológicos para determinar el grado de contaminación orgánica. Se identificarán las fuentes principales de contaminación, considerando tanto factores antropogénicos como naturales. Además, se plantearán estrategias para la recuperación de la laguna, considerando aspectos técnicos, normativos y de gestión ambiental. El alcance temporal comprende el análisis de la situación actual de la laguna en 2025, mientras que el espacial se limita al área de influencia de la laguna Patarcocha en Chaupimarca – Pasco.

1.5. Justificación de la investigación

A. Justificación Teórica

Este estudio se basa en fundamentos científicos relacionados con la contaminación de cuerpos de agua, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) como indicador de contaminación orgánica y los procesos de eutrofización ocasionados por el vertimiento de aguas residuales. Se sustenta en teorías ambientales como el modelo de la capacidad de asimilación de ecosistemas acuáticos y en el marco normativo ambiental vigente en el Perú. Además, se relaciona con investigaciones previas sobre la degradación de lagos y lagunas debido a factores antropogénicos, brindando una base para la formulación de estrategias de remediación.

B. Justificación Práctica

La presente investigación proporcionará datos cuantificables y verificables sobre la calidad del agua de la laguna Patarcocha, lo que permitirá a las autoridades locales y entidades ambientales tomar decisiones informadas para su recuperación. Asimismo, se espera que los resultados sirvan como referencia para la aplicación de medidas correctivas y preventivas en otras fuentes hídricas afectadas por contaminación orgánica. Además, el estudio contribuirá al desarrollo de estrategias de educación ambiental y concienciación entre la población para reducir el impacto de las actividades humanas en el ecosistema acuático.

C. Justificación Ambiental

La laguna Patarcocha es un recurso hídrico vital para la ciudad de Cerro de Pasco, pero su contaminación representa un grave riesgo para la biodiversidad, la calidad del aire y la salud pública. La investigación permitirá identificar los principales factores que han contribuido a su deterioro, con el objetivo de proponer acciones que favorezcan su recuperación, conservación y sostenibilidad. Además, la mejora de la calidad del agua reducirá los impactos negativos en el ecosistema local, favoreciendo la restauración de la flora y fauna acuática y asegurando su función como regulador climático y paisaje de valor histórico y cultural.

1.6. Limitaciones de la investigación

La presente investigación enfrenta diversas limitaciones que pueden afectar el alcance y profundidad del análisis sobre la contaminación orgánica en la laguna Patarcocha:

- A. Acceso a datos históricos: La disponibilidad de información sobre la calidad del agua de la laguna en décadas anteriores es limitada, lo que dificulta realizar comparaciones detalladas sobre la evolución de su contaminación y los efectos de actividades antropogénicas a lo largo del tiempo.
- B. Restricciones en la recolección de muestras: La toma de muestras de agua en los diferentes puntos de monitoreo está condicionada por la accesibilidad a la laguna, la infraestructura existente y posibles restricciones logísticas, lo que podría limitar la representatividad de los datos obtenidos.
- C. Disponibilidad de información sobre fuentes de contaminación: La evaluación de los factores que contribuyen a la contaminación de la laguna requiere acceso a registros sobre descargas de aguas residuales domésticas e industriales, lo que puede estar restringido o no estar documentado con precisión por las entidades responsables.

- D. Capacidad tecnológica y recursos para análisis de laboratorio: La detección de contaminantes específicos, como materia orgánica y metales pesados, depende de la disponibilidad de equipos especializados y recursos económicos para realizar análisis avanzados. La falta de tecnología adecuada puede limitar la precisión de los resultados obtenidos.
- E. Variabilidad en los niveles de contaminación: Factores ambientales como las lluvias estacionales, la actividad minera en la zona y los cambios en los vertimientos de aguas servidas pueden afectar la concentración de contaminantes en la laguna. Esto genera variabilidad en los datos y puede dificultar la obtención de conclusiones definitivas sobre su estado de contaminación y la efectividad de las estrategias de recuperación.

Pese a estas limitaciones, el estudio permitirá generar información relevante para la toma de decisiones en la conservación y recuperación de la laguna Patarcocha, sentando las bases para futuras investigaciones con un enfoque más detallado y con mayores recursos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Kader & et al S., (2023), en el estudio del artículo titulado "Un estudio conciso sobre los parámetros esenciales para la sostenibilidad de las aguas de laguna según la literatura científica" analiza los factores clave que afectan la calidad del agua en las lagunas, especialmente en relación con los efluentes agrícolas.

El estudio se centra en Sri Lanka, donde muchas tierras agrícolas están ubicadas en zonas costeras, lo que incrementa el riesgo de contaminación de las lagunas debido a las actividades agrícolas. Se identificaron y analizaron parámetros de calidad del agua, clasificándolos en biológicos, físicos y químicos.

Los resultados experimentales indican que las lagunas seleccionadas en Sri Lanka están altamente contaminadas, principalmente debido a la acumulación de contaminantes agrícolas a lo largo de décadas. Esta situación se ve agravada por la intrusión de agua salina durante las mareas.

El estudio concluye que es esencial implementar mecanismos de monitoreo y control para gestionar eficazmente la calidad del agua de las lagunas, garantizando la integridad de estos ecosistemas y la sostenibilidad de las comunidades que dependen de ellos.

Forero Salamanca, J. C. (2021) “Estudio de la incidencia de actividades agropecuarias en cuerpos lénticos de alta montaña de la cordillera andina colombiana”. La agricultura se ha convertido en el principal factor de contaminación en las cuencas hidrográficas, las cuales, pese a su naturaleza altamente dinámica, están experimentando un deterioro significativo y una alteración fisicoquímica en sus aguas. Entre las consecuencias más notables se encuentra la eutrofización, fenómeno que impacta negativamente la diversidad biológica al comprometer la estabilidad de las poblaciones acuáticas, la calidad del agua y la capacidad del ecosistema para mantener su equilibrio natural.

El presente análisis abarca áreas geográficas clave como el municipio de Pasto (Nariño), donde se encuentra el Lago Guamuez, conocido también como Laguna de La Cocha; el municipio de Aquitania (Boyacá), donde se ubica el Lago de Tota; y el municipio de Fúquene (Cundinamarca), que alberga la Laguna de Fúquene. En estos casos, se evidencia que los cuerpos de agua de alta montaña en Colombia están siendo afectados por procesos de sedimentación y eutrofización, lo cual deteriora su calidad y amenaza la disponibilidad del recurso hídrico.

Estas lagunas, ubicadas en la cordillera de los Andes colombianos, cumplen funciones fundamentales en actividades como la agricultura, la piscicultura, la pesca artesanal, el turismo y el abastecimiento de agua potable. No obstante, estos cuerpos de agua están actuando como sumideros de contaminantes generados por el crecimiento urbano descontrolado y el uso intensivo del suelo agrícola. Esta presión antrópica ha provocado una intensificación de los procesos de erosión, sedimentación y eutrofización, que a su vez favorecen la proliferación de especies vegetales invasoras en muchas de estas lagunas andinas.

Terneus Jácome, E. (2014) realizó una investigación sobre “Vegetación acuática y estado trófico de las lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, Ecuador”. San Pablo y Yahuarcocha son dos de las cuatro lagunas ubicadas entre los 2,200 y 2,800 metros de altitud en Ecuador. Al encontrarse

en este rango altitudinal, presentan una mayor productividad que las lagunas situadas en zonas de páramo, debido a la elevada concentración de nutrientes en sus aguas, influenciada principalmente por actividades humanas en las áreas circundantes.

Este estudio analiza el estado trófico de las lagunas San Pablo y Yahuarcocha, así como su impacto en la estratificación de la vegetación acuática y la composición florística.

En total, se registraron 21 especies de plantas acuáticas en la laguna San Pablo y 9 especies en Yahuarcocha. Cinco especies están presentes en ambas lagunas, entre ellas la totora (*Scirpus californicus* (C.A. Mey.) Steud.), utilizada tradicionalmente en la elaboración de esteras.

En la laguna San Pablo, una de las especies más importantes es *Ceratophyllum demersum* Hutch. & Dalziel (1930), única especie registrada en lagunas andinas del Ecuador, que puede crecer hasta una profundidad de siete metros. Esta planta acuática sirve de alimento para el Bass (*Morone saxatilis* Walbaum, 1792), el principal recurso en la pesca artesanal practicada por comunidades indígenas locales. Esta especie de pez está presente únicamente en esta laguna.

Por otro lado, en Yahuarcocha se destaca la presencia de *Potamogeton pusillus* L., que crece hasta los 3.10 m de profundidad y representa una fuente alimenticia para peces como la Tilapia mozambique (*Oreochromis mossambicus*, Peters, 1852) y los Guppys (*Poecilia reticulata*, W. K. H. Peters, 1859).

Desde el punto de vista limnológico, Yahuarcocha puede ser clasificada como una laguna eutrófica, ya que presenta una alta alcalinidad (956 mg/L), una conductividad superior a 620 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y una baja transparencia del agua (menor a dos metros de profundidad). Además, su vegetación está dominada por una sola especie (*Potamogeton pusillus*), lo que refleja una baja diversidad florística.

En contraste, San Pablo se categoriza como un lago mesotrófico, con una conductividad inferior a 320 $\mu\text{S}/\text{cm}$, una alcalinidad de 226 mg/L y una transparencia

de agua superior a los tres metros de profundidad. En esta laguna se encontraron al menos veinte especies de plantas acuáticas, que generan hábitats heterogéneos favorables para el establecimiento de comunidades mixtas de plantas alrededor de todo el cuerpo de agua

Djaani & Baba (2023.), realizaron un artículo científico sobre la “Evaluación de la compatibilidad de las aguas residuales tratadas mediante laguna natural con las normas de vertido y riego. Caso práctico”, para proteger el medio ambiente y las aguas subterráneas de la contaminación, se abordó uno de los principales problemas a nivel mundial: el tratamiento de aguas residuales y su posible reutilización en riego. Se estudió el caso de la planta de tratamiento por laguna natural de Kef Eddouken en Ghardaia (sur de Argelia). Se analizaron parámetros físico-químicos, bacteriológicos y parasitológicos del agua residual y del agua tratada. Los resultados mostraron que la mayoría de los parámetros cumplen con los estándares argelinos de descarga, excepto la conductividad eléctrica, los sólidos suspendidos y la demanda biológica de oxígeno en cinco días (DBO_5). Sin embargo, aunque la conductividad eléctrica supera el límite permitido, es acorde con el valor del índice de adsorción de sodio (SAR). De acuerdo con los estándares argelinos e internacionales para riego, esta calidad de agua puede utilizarse en riego subterráneo para cultivos que solo se consuman cocidos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Custodio & et al (2019). “Variabilidad de la Calidad del Agua que Caracteriza a las Lagunas Altoandinas de Uso Turístico Evaluada a Través de Métodos Estadísticos Multivariados, Junín, Perú” se evaluó la variabilidad espacio-temporal de la calidad del agua en lagunas altoandinas destinadas al uso turístico mediante métodos estadísticos multivariados durante los años 2017 y 2018. Se recolectaron muestras de agua en 14 sitios de muestreo, con tres réplicas cada una. Los indicadores de calidad del agua analizados incluyeron pH, temperatura, oxígeno disuelto (DO), demanda química de oxígeno (COD), demanda bioquímica de oxígeno

a 5 días (BOD_5), fósforo (P), nitrógeno (N), hierro (Fe), cobre (Cu), cromo (Cr), cadmio (Cd), plomo (Pb), zinc (Zn) y clorofila-a.

El análisis de conglomerados (k-R cluster) basado en el algoritmo de Ward identificó seis grupos significativamente diferenciados ($\alpha = 0.01$). El perfil de similitud real (SIMPROF) mostró una marcada desviación con un exceso de similitud euclidiana y un valor Pi de 0.627. El análisis de componentes principales (PCA) reveló que las dos primeras componentes explicaban el 61.52% de la variabilidad total.

Según el criterio de selección de correlación de rango de Spearman, las variables que mejor interpretan la distribución de las muestras son COD, sólidos disueltos totales (DTS), P, Cd y Zn, con una correlación de 0.893, siendo DTS la variable más importante (correlación de 0.795). El análisis PERMANOVA mostró que al menos uno de los grupos es diferente en cuanto a las características fisicoquímicas estudiadas. Esto demuestra que cada laguna tiene características fisicoquímicas distintas dependiendo de la temporada en la que se encuentre.

Siguayro & et al (2017) "Evaluación de fuentes contaminantes en el anillo circunlacustre del lago Titicaca (sector peruano), 2017". El lago Titicaca, considerado un ecosistema endorreico con múltiples funciones ecológicas y una gran biodiversidad, recibe aportes fluviales que pueden influir en su calidad ambiental. Por ello, es fundamental evaluar la contaminación, en especial la presencia de nutrientes, para identificar las principales fuentes contaminantes en el área circunlacustre. Para este propósito, se analizaron parámetros fisicoquímicos del agua considerando la calidad ambiental, la carga contaminante y su variabilidad según ubicación y temporalidad.

Se llevaron a cabo monitoreos en abril y septiembre/octubre de 2017 en 39 estaciones de muestreo distribuidas en bahías, desembocaduras de ríos, afluentes y puntos de descarga de aguas residuales provenientes de plantas de tratamiento (PTAR). Se identificaron altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), nitrógeno y fósforo total en los efluentes, con concentraciones que superaban los

límites máximos permisibles. Además, la mayoría de estos presentaron coliformes termotolerantes, sin diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre periodos evaluados, salvo en la laguna de oxidación de Tilali.

En el caso de los ríos, las descargas más elevadas de contaminantes se registraron en abril, con valores de 15.70 t/día de nitrógeno total, 3.54 t/día de fósforo total, 921.69 t/día de sólidos suspendidos totales (SST) y 42.02 t/día de DBO₅. Durante septiembre/octubre, estas cargas disminuyeron, siendo los mayores aportes detectados en las confluencias de los ríos Ramis, Huancané, Coata e Ilave. Comparando con datos históricos de 1981-1982, se observó un incremento en nitrógeno total (0.65 veces) y fósforo total (0.94 veces).

Según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) categoría 3 para ríos, se registraron valores de pH superiores a los permitidos en todas las estaciones analizadas, mientras que la DBO₅ superó los límites en el río Coata y los coliformes termotolerantes fueron elevados en el río Desaguadero. En cuanto a las bahías y desembocaduras en el sector peruano del lago Titicaca, se encontraron altas concentraciones de nutrientes en las bahías de Puno y Yunguyo. De acuerdo con los ECA categorías 2 y 4, en la mayoría de las zonas evaluadas, se registraron valores elevados de conductividad eléctrica, fósforo y nitrógeno total. Además, en la bahía interior de Puno y Yunguyo, se detectaron niveles hipertróficos con valores por encima de los rangos permisibles de clorofila-a, DBO₅, SST y coliformes termotolerantes. El análisis estadístico no evidenció diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los periodos evaluados.

Forero Salamanca, J. C. (2021) "Estudio de la incidencia de actividades agropecuarias en cuerpos lénticos de alta montaña de la cordillera andina Colombiana". La agricultura se ha convertido en el principal factor de contaminación en las cuencas hidrográficas, las cuales, pese a su naturaleza altamente dinámica, están experimentando un deterioro significativo y una alteración fisicoquímica en sus aguas. Entre las consecuencias más notables se encuentra la eutrofización, fenómeno

que impacta negativamente la diversidad biológica al comprometer la estabilidad de las poblaciones acuáticas, la calidad del agua y la capacidad del ecosistema para mantener su equilibrio natural.

El presente análisis abarca áreas geográficas clave como el municipio de Pasto (Nariño), donde se encuentra el Lago Guamuez, conocido también como Laguna de La Cocha; el municipio de Aquitania (Boyacá), donde se ubica el Lago de Tota; y el municipio de Fúquene (Cundinamarca), que alberga la Laguna de Fúquene. En estos casos, se evidencia que los cuerpos de agua de alta montaña en Colombia están siendo afectados por procesos de sedimentación y eutrofización, lo cual deteriora su calidad y amenaza la disponibilidad del recurso hídrico.

Estas lagunas, ubicadas en la cordillera de los Andes colombianos, cumplen funciones fundamentales en actividades como la agricultura, la piscicultura, la pesca artesanal, el turismo y el abastecimiento de agua potable. No obstante, estos cuerpos de agua están actuando como sumideros de contaminantes generados por el crecimiento urbano descontrolado y el uso intensivo del suelo agrícola. Esta presión antrópica ha provocado una intensificación de los procesos de erosión, sedimentación y eutrofización, que a su vez favorecen la proliferación de especies vegetales invasoras en muchas de estas lagunas andinas.

Martínez & et al (2024) "Salud de la vegetación y su relación con la contaminación orgánica del humedal Santa Rosa, Chancay – Lima, 2023". La presente investigación tuvo como objetivo determinar la salud de la vegetación y su relación con la contaminación orgánica en el humedal Santa Rosa, ubicado en el distrito de Chancay, en el año 2023. El estudio es de tipo mixto, con un nivel descriptivo mediante el análisis de imágenes satelitales para determinar el Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI), y un diseño experimental, mediante la toma de muestras de agua y su análisis en laboratorio para identificar los niveles de contaminación por materia orgánica.

Resultados: A partir del análisis de imágenes satelitales, se determinó que el NDVI disminuyó en 2023 (valor de 0.132) entre los meses de junio a octubre. En el análisis de la calidad del agua, se midieron los parámetros de demanda química de oxígeno, obteniendo valores entre 48.50 y 100.50 mg/L, sólidos suspendidos totales entre 30 y 31 mg/L, y demanda bioquímica de oxígeno entre 19.34 y 33.50 mg/L, lo que indica contaminación según el DS. N° 004-2017-MINAM.

Asimismo, los resultados fueron confirmados al medir la extensión de la vegetación mediante un análisis de clasificación supervisada de imágenes satelitales, observándose que la vegetación del humedal (lenteja de agua y lemna) aumentó del 66.08% al 86.64% entre los meses de junio y octubre.

Con base en los datos obtenidos, se concluye que existe una relación entre ambas variables: si la contaminación disminuye, el vigor de las plantas indicadoras también disminuye, ya que actúan biológicamente como fitorremediadoras.

Gómez & Fernández (2023). "Impacto de las aguas residuales en la acumulación de metales pesados y la diversidad del fitoplancton en el lago Titicaca, Perú". Las aguas residuales generan un impacto constante en los ecosistemas lacustres, como sucede en el lago Titicaca, el lago navegable más alto del mundo. Para evaluar este efecto, se analizaron muestras de agua y sedimentos con el objetivo de determinar la concentración de metales pesados, parámetros fisicoquímicos y la diversidad del fitoplancton en áreas cercanas a los efluentes de aguas residuales. A partir de los datos obtenidos sobre metales pesados en sedimentos, se calculó el Índice de Factor de Riesgo Potencial Individual (Eri) y se llevó a cabo el análisis del Riesgo Ecológico Potencial (PERI).

Los resultados indicaron que ciertos parámetros, como el pH, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), el nitrógeno amoniacal (NAMO) y el fósforo, superaron los valores permitidos por la normativa peruana. Asimismo, se detectaron 14 elementos metálicos en las muestras de agua superficial, observándose una correlación positiva entre estos metales, el punto de muestreo 4 y los sólidos

suspendidos totales (SST). En cuanto a los sedimentos, se identificaron 35 elementos metálicos diferentes, siendo el punto 4 el más contaminado y el punto 9 el menos afectado.

El análisis del índice Eri mostró que el cadmio (57.6) representa un riesgo moderado, mientras que el zinc tiene el menor impacto (0.0). En el caso del PERI, el punto más cercano a la descarga de aguas residuales (punto 4) evidenció un riesgo moderado de contaminación (113.48), mientras que el punto 9 registró el valor más bajo (14.68). Estos hallazgos confirman que los efluentes urbanos deterioran la calidad del agua y afectan negativamente la biodiversidad del fitoplancton. Además, los niveles de arsénico (As), cobre (Cu), mercurio (Hg) y plomo (Pb) sobrepasaron los límites establecidos por la legislación.

En términos de diversidad fitoplanctónica, se identificaron valores más bajos en comparación con otras zonas del lago, con predominio de las especies *Oocystis* sp. y *Aulacoseira* sp. en la mayoría de los sitios de muestreo. En consecuencia, es urgente implementar medidas de mitigación para mejorar las condiciones ambientales de la bahía interior de Puno (IPB) en el lago Titicaca.

2.1.3. Antecedentes locales

Lucas López (2020) en su estudio, titulado “Identificación y valoración del impacto ambiental de la contaminación por aguas servidas en la Laguna Patarcocha, Chaupimarca – Pasco, 2019”, tuvo como finalidad describir el estado ambiental actual de la laguna y evaluar el grado de afectación generado por el vertimiento de aguas residuales domésticas. Para ello, se aplicó el análisis matricial causa-efecto, utilizando la Matriz de Leopold como herramienta metodológica principal.

El proceso metodológico incluyó dos etapas clave: la identificación de los impactos ambientales potenciales y la posterior evaluación de su magnitud e importancia. Asimismo, se determinó la calidad del agua de la laguna mediante la medición de diversos parámetros físico-químicos y bacteriológicos, los cuales fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos en el

Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, específicamente en la categoría 4: conservación del ambiente acuático, subcategoría E1: lagunas y lagos.

Los resultados evidencian una afectación negativa significativa en los componentes ambientales analizados. Se observó que el pH del agua fluctuó entre 5.9 y 6.2, mientras que la conductividad eléctrica osciló entre 55.3 y 56.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) presentó valores elevados, entre 40.8 y 66.5 mg/L, y los sólidos suspendidos totales variaron de 84.2 a 148.6 mg/L. En cuanto a la carga bacteriológica, se registraron concentraciones de coliformes fecales entre 8000 y 14000 NMP/100 mL, superando ampliamente los límites permitidos por el marco normativo vigente.

Además, se detectaron niveles preocupantes de contaminantes inorgánicos como cadmio y plomo, lo que confirma que el vertimiento de aguas servidas por parte de la población del distrito de Chaupimarca está generando un deterioro ambiental severo en la laguna de Patarcocha. Esta contaminación impacta de forma directa sobre el ecosistema acuático, comprometiendo la biodiversidad local y representando un riesgo potencial para la salud humana en la ciudad de Cerro de Pasco.

2.2. Bases teóricas- científicas

La contaminación del agua es un problema ambiental grave con efectos en la salud pública. Las fuentes de contaminación incluyen actividades naturales y humanas, liberando microorganismos patógenos, sustancias químicas y materiales radiactivos. La eutrofización es otro fenómeno dañino, causado por el exceso de nutrientes que deteriora la calidad del agua. Además, la contaminación térmica afecta la biodiversidad. Para mitigar estos problemas, se proponen estrategias como el tratamiento de aguas residuales y la reducción de fertilizantes. La contaminación del agua puede provocar enfermedades como cólera, hepatitis y disentería.

2.2.1. Contaminación Orgánica en Cuerpos de Agua

La contaminación orgánica en cuerpos de agua es un problema ambiental significativo que afecta la calidad del recurso hídrico, la biodiversidad y la salud

pública. Esta contaminación proviene principalmente de descargas de aguas residuales sin tratamiento adecuado, lo que genera un aumento en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), disminuyendo los niveles de oxígeno disuelto y afectando la vida acuática.

El problema de la contaminación de la laguna Patarcocha está directamente relacionado con el vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales, las cuales contienen una alta carga de sólidos suspendidos y disueltos. Estos sólidos, aunque representan una fracción mínima en peso, generan un impacto significativo en el ecosistema acuático al alterar los niveles de oxígeno disuelto, afectar la biodiversidad y contribuir a procesos de eutrofización.

La composición del agua residual varía según factores como el clima, el uso del suelo y las características socioeconómicas de la población. En este sentido, las descargas provenientes de viviendas, comercios e industrias en Chaupimarca contienen sustancias orgánicas e inorgánicas que no solo afectan la calidad del agua de la laguna, sino que también alteran la salud pública y los recursos hídricos disponibles.

El impacto de estos vertimientos puede manifestarse en el aumento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), la proliferación de bacterias coliformes y la disminución del oxígeno disponible para los organismos acuáticos. Además, los sólidos sedimentables pueden generar acumulaciones en el fondo de la laguna, reduciendo su capacidad de almacenamiento y aumentando su proceso de envejecimiento natural.

Dada la importancia de la laguna Patarcocha para el ecosistema y la comunidad local, se hace necesario un tratamiento adecuado de las aguas residuales antes de su vertimiento. Las plantas de tratamiento deben considerar variaciones en la cantidad y calidad del agua residual, implementando tecnologías apropiadas para la reducción de contaminantes. Estrategias como la mejora en la gestión de residuos, la concientización ambiental y la implementación de sistemas de saneamiento

sostenibles pueden contribuir a la recuperación del ecosistema y a la reducción de la carga contaminante en la laguna.

2.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y su Importancia

En la laguna Patarcocha, la principal fuente de contaminación orgánica es el vertimiento de aguas servidas domésticas y residuos sólidos, lo que genera un proceso acelerado de eutrofización y deterioro ambiental

La DBO₅ es un indicador clave para evaluar el grado de contaminación orgánica de un cuerpo de agua. Representa la cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen para degradar la materia orgánica presente en el agua. Un valor elevado de DBO₅ indica un alto nivel de contaminación y una disminución del oxígeno disuelto, afectando la calidad del agua y la vida acuática.

Según el documento analizado, las descargas de aguas residuales, como las provenientes de los desagües, presentan valores elevados de DBO₅, lo que demuestra su impacto negativo en los ecosistemas acuáticos. De manera similar, en la laguna Patarcocha, la falta de tratamiento de los efluentes provenientes de los 06 colectores ha elevado los niveles de DBO₅, agravando el deterioro de la calidad del agua.

2.2.3. Fuentes de Contaminación Orgánica en la laguna Patarcocha

La contaminación orgánica en la laguna Patarcocha se origina principalmente por el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento, las cuales provienen de seis puntos de descarga ubicados en distintas zonas de Chaupimarca. Estas áreas, identificadas como colectores, incluyen Centro Chaupimarca, El Prado, Moquegua, 28 de Julio, la Estación de Bombeo y Túpac Amaru. La falta de infraestructura de saneamiento y el tratamiento inadecuado de estas aguas contribuyen al deterioro de la calidad del agua y afectan el equilibrio ecológico del ecosistema lagunar.

A. Descarga de aguas residuales domésticas:

La falta de infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas servidas ha provocado que las viviendas cercanas descarguen directamente en la laguna.

Figura 3 *Efluente del colector a la laguna Patarcocha*



B. Residuos sólidos urbanos

La acumulación de basura en las orillas y dentro de la laguna contribuye a la contaminación orgánica y al deterioro del ecosistema.

Figura 4 *Residuos sólidos depositados en las orillas de la laguna Patarcocha*



C. Efluentes industriales y mineros:

Aunque la principal fuente de contaminación es de origen doméstico, la actividad minera en la zona puede generar aportes indirectos de materia orgánica y metales pesados.

2.2.4. Impacto Ambiental de la Contaminación Orgánica

Los efectos de la contaminación orgánica en la laguna Patarcocha pueden incluir:

A. Disminución del oxígeno disuelto (OD)

Un alto contenido de materia orgánica aumenta la DBO_5 , reduciendo el oxígeno disponible para los organismos acuáticos.

B. Eutrofización:

El aporte excesivo de nutrientes, como el fósforo y el nitrógeno, acelera el crecimiento de algas y plantas acuáticas, lo que provoca la proliferación de flora invasora y afecta la biodiversidad.

C. Alteraciones en la biota acuática

La contaminación reduce la diversidad de especies y puede provocar la desaparición de organismos sensibles a la disminución del oxígeno.

D. Impactos en la salud pública:

La presencia de coliformes fecales y otros contaminantes biológicos en el agua afecta a las poblaciones que entran en contacto con ella, incrementando el riesgo de enfermedades.

2.2.5. Métodos de Tratamiento para la Reducción de la Contaminación Orgánica

Para mitigar la contaminación orgánica en la Laguna Patarcocha, es necesario implementar estrategias de tratamiento de aguas residuales que permitan reducir la carga contaminante. Basándose en el documento revisado sobre aguas residuales porcícolas, se pueden considerar las siguientes alternativas:

A. Tratamiento Primario

Consiste en la separación de sólidos gruesos y sedimentos mediante fosas de homogeneización y sedimentación. En el caso de la Laguna Patarcocha, la implementación de un sistema de pretratamiento en los desagües domésticos reduciría la cantidad de materia orgánica y sólidos en suspensión que llegan a la laguna.

B. Tratamiento Secundario

Incluye procesos biológicos como:

- **Digestores anaerobios:** Como se observó en el documento analizado, los digestores anaerobios de líquidos y sólidos (DALYS) han demostrado ser eficientes en la remoción de DBO_5 y sólidos suspendidos. Este sistema podría ser una alternativa viable para reducir la carga orgánica en las aguas residuales antes de su vertimiento a la laguna.
- **Lagunas de estabilización:** Las lagunas de estabilización permiten la degradación de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos. Sin embargo, como se menciona en el documento, la eficiencia de estos sistemas depende del mantenimiento y la gestión adecuada.

C. Tratamiento Terciario

Para mejorar la calidad del efluente antes de su descarga en la laguna, se pueden aplicar tecnologías adicionales como:

a. Filtros biológicos:

El uso de filtros de percolación con materiales orgánicos ha demostrado ser una opción de bajo costo y mantenimiento para la remoción de materia orgánica y nutrientes.

b. Fitorremediación:

La introducción de plantas acuáticas como berros y jacintos de agua puede ayudar a reducir los niveles de DBO_5 y mejorar la calidad del agua.

2.2.6. Estrategias de Recuperación de la laguna Patarcocha

Con base en los hallazgos de estudios similares sobre el tratamiento de aguas residuales, se proponen las siguientes estrategias para la recuperación de la laguna:

- Implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales con tecnología anaerobia y lagunas de estabilización para reducir la carga contaminante antes de su ingreso a la laguna.
- Monitoreo y control de descargas domésticas mediante la instalación de un sistema de alcantarillado y una planta de tratamiento de aguas residuales.
- Reforestación y rehabilitación ecológica de las orillas de la laguna con vegetación nativa que contribuya a la fitorremediación.
- Gestión y educación ambiental para concienciar a la población sobre la importancia de conservar la laguna y evitar prácticas contaminantes.

2.3. Definición de términos básicos

A. Calidad del agua

Se refiere a las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, estableciendo parámetros que determinan si es apta para su uso. Su evaluación considera tanto factores naturales como actividades humanas que puedan alterar su composición y afectar la vida acuática y la salud humana. (Chapman, 1996)

B. Laguna

Una laguna es un cuerpo de agua natural de menor tamaño que un lago, generalmente con aguas poco profundas y sin una corriente significativa. Puede formarse por acumulación de agua de lluvia, deshielo o filtraciones subterráneas. Las lagunas pueden ser dulces o saladas y desempeñan un papel importante en los ecosistemas, albergando diversas especies de flora y fauna. También pueden ser influenciadas por factores ambientales como la eutrofización o la contaminación.

C. Contaminación ambiental

Es la introducción de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas en el entorno, alterando sus condiciones naturales y perjudicando la salud pública, la higiene y el equilibrio ecológico. Esta contaminación proviene de actividades domésticas, industriales, comerciales y hospitalarias.

D. Contaminación del agua:

Representa un grave problema ecológico y de salud pública, generado por el vertido de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas. Puede alterar la biodiversidad acuática y afectar la disponibilidad de oxígeno en los ecosistemas acuáticos. (Mamani, 2003)

E. Coliformes totales

Son bacterias presentes en el intestino de humanos y animales, indicadoras de contaminación fecal en el agua. Su presencia se regula mediante normativas técnicas. (Zhen, 2009)

F. Eutrofización

Es el enriquecimiento excesivo de nutrientes en cuerpos de agua, favoreciendo el crecimiento descontrolado de algas y reduciendo los niveles de oxígeno disuelto, lo que afecta a la fauna acuática. Puede ocurrir de forma natural o por acción humana. (Vollenweider, 1980)

G. Desarrollo sostenible

Busca equilibrar el crecimiento económico con el uso eficiente de los recursos, garantizando que las necesidades actuales no comprometan las futuras.

H. Equilibrio ecológico:

Estado de armonía entre los organismos vivos y su entorno. Su alteración, por factores como la caza indiscriminada o el cambio climático, puede llevar a la extinción de especies y afectar la cadena alimentaria.

I. Demanda biológica de oxígeno (DBO)

Indica la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para descomponer la materia orgánica presente en el agua. Es un parámetro clave para evaluar la contaminación en cuerpos de agua.

J. Oxígeno disuelto

Fundamental para la vida acuática, su concentración depende de la calidad del agua y de los efluentes vertidos en ella.

K. Fosfatos

Nutrientes que pueden encontrarse en aguas naturales y residuales, promoviendo la proliferación de organismos acuáticos en niveles perjudiciales.

L. Gestión ambiental

Conjunto de acciones dirigidas a la conservación y protección del medio ambiente, promoviendo un uso racional de los recursos naturales.

M. Hidrografía:

Estudia la distribución y movimiento de cuerpos de agua, considerando factores como escorrentía, evaporación y precipitación.

N. Recuperación de aguas y suelos

Incluye procesos como filtrado y separación de contaminantes en aguas contaminadas, así como la descontaminación y restauración de suelos afectados por actividades humanas.

O. Vertimiento de aguas servidas

Descarga inadecuada de aguas residuales en cuerpos naturales, afectando su calidad y el ecosistema.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis de general

La contaminación orgánica en la laguna Patarcocha ha incrementado la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), lo que ha generado un deterioro en la

calidad del agua y afectado el ecosistema acuático; sin embargo, la aplicación de estrategias de remediación ambiental puede contribuir a su recuperación.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Los niveles elevados de DBO_5 en la laguna Patarcocha indican una fuerte contaminación orgánica, relacionada con el vertimiento de aguas residuales y desechos urbanos.
- La implementación de estrategias de remediación ambiental, como la oxigenación y la biorremediación, permitirá reducir la contaminación y mejorar la calidad del agua en la laguna.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

Contaminación orgánica en la laguna Patarcocha

2.5.2. Variable dependiente

Evaluación de DBO_5 y estrategias para su recuperación

2.5.3. Variable Interviniente:

Estrategias de remediación ambiental (Acciones como biorremediación, oxigenación del agua y reducción de vertimientos de aguas residuales).

2.6. Definición operacional de variables e indicadores.

Se operacionalizó las variables de estudio, con el fin de hallar los objetivos de la presente investigación.

Tabla 1 Matriz de operacionalización de las variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
VI: Contaminación orgánica en la laguna Patacocha	Se mide a través de la Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO ₅ y otros parámetros fisicoquímicos y biológicos, como la presencia de coliformes, sólidos suspendidos totales y nutrientes como nitratos y fosfatos.	Se medirá comparando los valores obtenidos en los análisis de laboratorio con los límites establecidos en la normativa vigente para calidad de agua D.S. Np. 004-2017-MINAM.	Evaluación del cumplimiento de los ECA categoría 4	- Concentración de DBO ₅ (mg/L) - Comparación con normativas oficiales	Cuantitativa (mg/L)
			Comparación por clusters	- Clasificación de los puntos de monitoreo en clusters según niveles de contaminación - Diferencias significativas entre clusters	Ordinal (Bajo, Medio, Alto)
VD: Evaluación de DBO ₅ y estrategias para su recuperación	Es la concentración de oxígeno disuelto, que pueden afectar a la biodiversidad acuática y alteraciones en los ciclos biogeoquímicos de la laguna.	Se analizarán los resultados de laboratorio de los diferentes puntos de monitoreo para determinar la calidad del agua D.S. Np. 004-2017-MINAM.	Distribución espacial de la DBO ₅	- Patrones de contaminación en los puntos de monitoreo - Niveles de concentración promedio por punto de muestreo	Cuantitativa (mg/L)
			Impacto en la salud pública	- Niveles de concentración por encima del D.S. Np. 004-2017-MINAM - Metales con mayores riesgos sanitarios - Posibles efectos en la salud	Nominal (Sí/No)

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El presente estudio se enmarca dentro de una investigación aplicada, ya que busca generar conocimiento útil para mejorar la gestión ambiental y la calidad del agua en la laguna Patarcocha. Su propósito principal es evaluar el cumplimiento de los Estándar de Calidad Ambiental ECA categoría 4: Conservación del ambiente acuático, con un enfoque en la contaminación por materia orgánica, factores que afectan tanto el ecosistema acuático como la salud pública.

Metodológicamente, la investigación adopta un enfoque cuantitativo, utilizando herramientas básicas de la estadística inferencial, para identificar patrones de contaminación en distintos puntos de la laguna. Además, es de tipo explicativo, ya que no solo describe la presencia de contaminantes, sino que analiza su distribución, las fuentes de vertimiento y sus impactos ecológicos y sanitarios.

La combinación de estos enfoques permite ofrecer información clave para la toma de decisiones en la gestión ambiental, promoviendo estrategias efectivas de mitigación y recuperación de la laguna en el contexto de la normativa ambiental vigente (Hernández Sampieri et al., 2018).

3.2. Nivel de investigación

La investigación se desarrolla bajo un enfoque descriptivo correlacional, ya que busca caracterizar la calidad del agua de la laguna Patarcocha y analizar la relación entre la contaminación orgánica y su impacto ambiental. A nivel descriptivo, se documenta la presencia de materia orgánica, comparando en cumplimiento de los Estándar de Calidad Ambiental ECA categoría 4: Conservación del ambiente acuático. En su dimensión correlacional, se emplean análisis estadísticos para identificar patrones de contaminación y su posible influencia en la biodiversidad y la salud pública, proporcionando información clave para la gestión ambiental (Hernández Sampieri et al., 2018).

3.3. Métodos de investigación

La investigación sigue el método hipotético-deductivo, formulando hipótesis basadas en conocimientos previos y contrastándolas con observaciones y análisis empíricos. Se estructura en cinco etapas:

A. Observación y planteamiento del problema:

Se analiza la contaminación orgánica (DBO_5) en la laguna Patarcocha y su impacto ambiental.

B. Formulación de hipótesis

Se establecen supuestos sobre la relación entre la contaminación y la calidad del agua.

C. Recolección y análisis de datos

Se miden parámetros fisicoquímicos y biológicos.

D. Contrastación de la hipótesis:

Se comparan los datos con normativas ambientales: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.

E. Conclusiones y recomendaciones

Se proponen estrategias para la recuperación ambiental.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es experimental, ya que implica la manipulación de variables mediante pruebas de laboratorio para analizar la calidad del agua en la laguna Patarcocha. En este caso, se recolectan muestras de agua en distintos puntos estratégicos y se someten a análisis en condiciones controladas para determinar la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), coliformes fecales y otros parámetros fisicoquímicos. Este enfoque permite evaluar el impacto de la contaminación orgánica y proponer estrategias para su mitigación y recuperación ambiental.

Además, el diseño es de corte transversal, dado que la información se obtiene en un momento específico para evaluar el nivel de deterioro del ecosistema y su relación con los vertimientos de aguas residuales.

A nivel metodológico, el estudio emplea técnicas de análisis cuantitativo, como el análisis estadístico de los valores obtenidos en las muestras de agua, con el fin de identificar patrones de contaminación y su impacto en la calidad del ecosistema acuático.

Este diseño permite establecer correlaciones entre los niveles de contaminación orgánica y los parámetros de calidad del agua en la laguna Patarcocha, sin alterar su dinámica natural, proporcionando información clave para la formulación de estrategias de recuperación ambiental (Hernández Sampieri et al., 2018).

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población de la investigación está conformada por el conjunto de datos de las concentraciones de contaminación orgánica en la laguna Patarcocha, obtenidos a partir de muestras recolectadas en diferentes puntos estratégicos de la laguna. Esta población incluye mediciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), coliformes fecales, pH, turbidez, oxígeno disuelto y otros parámetros fisicoquímicos y biológicos. El análisis de estos datos permitirá identificar patrones de contaminación, evaluar su

impacto en el ecosistema acuático y proponer estrategias para su recuperación ambiental.



3.5.2. Muestra

La muestra de la investigación está conformada por el conjunto de datos provenientes del análisis de laboratorio realizado en muestras de agua de la laguna Patarcocha, obtenidas en distintos puntos estratégicos de la laguna. La selección de la muestra se llevó a cabo mediante un muestreo intencionado no probabilístico, priorizando zonas con mayor concentración de contaminantes orgánicos, como las áreas de ingreso de aguas residuales y sectores con menor oxigenación. Esto permite un análisis detallado del impacto ambiental y la calidad del agua en la laguna.

Tabla 2 *Puntos de muestreo en la laguna Patarcocha, expresados en coordenadas geográficas:*

Código	Latitud Norte	Longitud Este
PM1	818596.66	363220.899
PM2	818582.96	363060.159
PM3	818457.75	362920.983
PM4	818299.24	362969.646
PM5	818311.51	363129.843
PM6	-10.687971	-76.252465

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la investigación sobre la laguna Patarcocha, se utilizarán diversas técnicas e instrumentos para la recolección de datos, asegurando la precisión y validez de los resultados.

A. Técnicas de recolección de datos:

- **Observación directa:** Se inspeccionará la laguna y sus alrededores para identificar fuentes de contaminación y evaluar condiciones ambientales.
- **Muestreo de agua:** Se tomarán muestras en diferentes puntos estratégicos para medir la calidad del agua.
- **Análisis de laboratorio:** Se aplicarán pruebas fisicoquímicas y microbiológicas para determinar la concentración de contaminantes orgánicos y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).
- **Revisión documental:** Se analizarán estudios previos, normativas ambientales y registros históricos sobre la contaminación de la laguna.

B. Instrumentos de recolección de datos:

- Botellas estériles para muestreo de agua.
- Medidores de parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad).
- Equipos de espectrofotometría y cromatografía para detectar contaminantes específicos.
- Formularios de registro y bitácoras de campo para documentar hallazgos.

Estos métodos garantizarán una evaluación completa del impacto de la contaminación en la laguna.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.

La validación de estos instrumentos estará garantizada por la acreditación del laboratorio ante el Instituto Nacional de Calidad del Perú (INACAL), lo que certifica la precisión y confiabilidad de los resultados analíticos obtenidos. Además, las mediciones cumplen con normativas nacionales e internacionales, como el Decreto

Supremo N° 004-2017-MINAM, asegurando que los datos sean representativos y permitan una evaluación objetiva del estado ambiental de la laguna.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de datos en esta investigación se realizó bajo un enfoque cuantitativo, aplicando técnicas estadísticas y herramientas de software especializadas para la interpretación de los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la laguna Patarcocha.

A. Procesamiento de datos

Los datos recolectados en los informes de ensayo del laboratorio, fueron organizados en matrices de datos mediante herramientas como Excel y SPSS.

Se realizó una depuración y verificación de la información para identificar valores atípicos o inconsistencias en las mediciones de metales pesados, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), coliformes fecales, pH y otros parámetros relevantes.

B. Análisis estadístico

- Se aplicaron estadísticas descriptivas (medias, desviación estándar, frecuencias y gráficos de distribución) para caracterizar la calidad del agua en distintos puntos de muestreo.
- Para identificar patrones de contaminación y evaluar la relación entre variables, se empleó análisis de correlación de Pearson y técnicas de análisis de clusters, lo que permitió agrupar zonas con niveles similares de contaminación.
- Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas en la concentración de contaminantes entre los puntos de monitoreo.

C. Comparación con normativas ambientales:

- Los valores obtenidos fueron contrastados con los Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de agua, establecidos en la normativa nacional (D.S. N°

004-2017-MINAM), identificando puntos de incumplimiento y niveles de riesgo ambiental.

D. Visualización de resultados:

- Se generaron mapas de distribución de contaminantes mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), permitiendo representar espacialmente las zonas más afectadas de la laguna.

3.9. Tratamiento estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos en la investigación, se emplearon técnicas estadísticas que permitieron evaluar la calidad del agua de la laguna Patarcocha y su relación con los niveles de contaminación orgánica y de metales pesados.

A. Estadística descriptiva

- Se calcularán medidas de tendencia central (media, mediana, moda) y dispersión (desviación estándar, coeficiente de variación) para caracterizar los niveles de contaminantes.
- Se generarán gráficos de barras, diagramas de dispersión y boxplots para visualizar la distribución de las concentraciones de metales pesados y parámetros fisicoquímicos del agua.

B. Análisis de correlación y regresión

- Se aplicará el coeficiente de correlación de Pearson para evaluar la relación entre variables como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), coliformes fecales y pH, determinando la influencia de la contaminación en la calidad del agua.
- Se utilizó regresión lineal múltiple para modelar la relación entre los niveles de contaminación y posibles fuentes de vertimientos.

C. Análisis de varianza (ANOVA)

- Se empleará el ANOVA de un factor para determinar si existían diferencias significativas en la calidad del agua entre los distintos puntos de muestreo.

- Se realizarán pruebas post hoc (Tukey y Bonferroni) para identificar cuáles zonas presentaban mayores niveles de contaminación.

D. Análisis de clusters y clasificación de contaminación

- Se utilizará el método de conglomerados jerárquicos para agrupar las zonas de la laguna según su similitud en contaminación, permitiendo identificar áreas críticas de riesgo ambiental.
- Se aplicarán métodos de clasificación supervisada para comparar los niveles de contaminación con los Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de agua, establecidos en la normativa nacional (D.S. N° 004-2017-MINAM).

E. Interpretación y validación de resultados

- Se compararán los resultados obtenidos con estudios previos y referencias normativas para validar la confiabilidad del análisis.
- Se utilizará software estadístico como SPSS, R y Excel para realizar los cálculos y garantizar precisión en la interpretación de datos.

Este tratamiento estadístico permitirá generar un diagnóstico detallado de la contaminación en la laguna Patarcocha, proporcionando evidencia científica para la toma de decisiones en la gestión ambiental y la implementación de estrategias de remediación.

Modelo Matemático de la prueba t de Student

El coeficiente de correlación de Pearson se calcula con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

Donde:

- Media observada ($\bar{x}$)
- Valor ECA (μ)
- Desviación estándar (s)
- Número de observaciones (n)

- Nivel de significancia (α)

Para llevar a cabo esta evaluación, se recurre a una comparación entre el promedio de los valores obtenidos y los límites establecidos por los ECA. Considerando que se cuenta con un número reducido de observaciones ($n = 6$), se emplea la prueba t de Student para una muestra, lo que permite contrastar estadísticamente cada parámetro medido con su respectivo valor de referencia normativo.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La presente investigación se desarrolla dentro de un marco ético que prioriza la integridad académica y el respeto a la propiedad intelectual, cumpliendo con las regulaciones establecidas por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) en el Perú. La transparencia en la citación de fuentes y la adecuada atribución de información garantizan la rigurosidad del estudio, evitando el plagio y fortaleciendo la credibilidad del conocimiento generado. Asimismo, la correcta interpretación y análisis de los datos busca contribuir a la gestión del recurso hídrico y la protección de la salud pública (INDECOPI, 2021).

Desde un punto de vista epistemológico, este estudio se enmarca en el positivismo, corriente filosófica que sostiene que el conocimiento se construye a partir de la observación sistemática y la medición cuantificable de los fenómenos. En concordancia con esta perspectiva, la investigación adopta un enfoque cuantitativo basado en herramientas estadísticas como el análisis de correlación de Pearson y redes neuronales autoorganizadas (SOM) para identificar patrones de contaminación en la laguna Patarcocha. La aplicación de métodos científicos y modelos matemáticos permite generar resultados objetivos y replicables, evitando sesgos interpretativos y asegurando la validez empírica de las conclusiones (Comte, 1998).

El enfoque epistémico también considera la importancia de la validez de los datos utilizados, los cuales provienen de informes de ensayo acreditados por INACAL. La relación entre las concentraciones de metales pesados y su impacto en la calidad del agua potable se analiza desde un paradigma empírico-analítico, asegurando que los hallazgos de la investigación puedan contribuir al desarrollo de políticas públicas en gestión hídrica y al cumplimiento de normativas ambientales establecidas en la legislación peruana (Ministerio del Ambiente, 2020).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Ubicación y Características de la Laguna Patarcocha

La Laguna Patarcocha se encuentra en el centro del Perú, en la región Pasco, dentro del distrito de Chaupimarca, provincia y departamento de Pasco. Está ubicada en la región natural Suni, a una altitud de aproximadamente 3,883 metros sobre el nivel del mar.

De origen natural, esta laguna se sitúa en la quebrada Patarcocha, de la cual toma su nombre. Presenta dimensiones aproximadas de 290 metros de largo por 70 metros de ancho, y alcanza una profundidad máxima de 15 metros en su zona central.

La ciudad de Cerro de Pasco, donde se localiza la laguna, es ampliamente reconocida como la “Capital Minera del Perú”, por su importante producción de minerales como plata, cobre, zinc y plomo.

Además de su valor geográfico, la laguna Patarcocha constituye un recurso natural de interés ecológico y paisajístico en la zona, siendo objeto de atención por su estado ambiental y su importancia en el contexto urbano y minero de Cerro de Pasco.

flujo migratorio, ha dado lugar a la ocupación informal de terrenos en zonas aledañas a la laguna, intensificando aún más su deterioro ambiental.

Frente a esta problemática, se han desarrollado diversas investigaciones que buscan identificar y valorar el impacto ambiental de la contaminación en la laguna, como consta en el repositorio de la Universidad Nacional del Callao (UNAC). Además, se vienen promoviendo proyectos de recuperación orientados a la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales y la mitigación de los efectos derivados de la actividad minera, tal como lo reporta la UNDAC.

La participación activa de la comunidad, junto con la aplicación de medidas efectivas de gestión ambiental, resulta fundamental para la recuperación y preservación de la Laguna Patarcocha como un ecosistema vital para Cerro de Pasco.

4.1.3. Metodología para el Monitoreo de la Calidad del Agua en la Laguna Patarcocha

A. El monitoreo de la calidad del agua en la Laguna Patarcocha

Se realizó mediante un enfoque sistemático que incluye la recolección de muestras, el análisis de parámetros físicos y biológicos, la comparación con estándares de calidad ambiental, y la evaluación de los impactos ambientales derivados de la contaminación. Este proceso considera indicadores clave como el pH, la conductividad eléctrica, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), los sólidos suspendidos totales (SST) y la presencia de bacterias coliformes, entre otros.

Figura 5 Realizando mediciones de parámetros fisicoquímicos



Figura 6 Monitoreo ambiental en las aguas de la laguna Patarcocha



a. Identificación de puntos de muestreo

Se seleccionan estratégicamente puntos dentro de la laguna, priorizando áreas influenciadas por descargas de aguas residuales u otras fuentes de contaminación, a fin de obtener datos representativos de la calidad del agua.

Tabla 3 *Puntos de Control de Agua Superficial en la Laguna Patarcocha*

Ubicación	Coordenadas UTM Zona 18S	Latitud Norte	Longitud Este	Tipo de Muestra
A 20 m de la orilla hacia E1 dentro de la Laguna Patarcocha	18S	818596.66	363220.899	Agua superficial
A 20 m de la orilla hacia E2 dentro de la Laguna Patarcocha	18S	818582.96	363060.159	Agua superficial
A 20 m de la orilla hacia E3 dentro de la Laguna Patarcocha	18S	818457.75	362920.983	Agua superficial
A 20 m de la orilla hacia E4 dentro de la Laguna Patarcocha	18S	818299.24	362969.646	Agua superficial
A 20 m de la orilla hacia E5 dentro de la Laguna Patarcocha	18S	818311.51	363129.843	Agua superficial
A 20 m de la orilla hacia E6 dentro de la Laguna Patarcocha	18S	818431.88	363224.410	Agua superficial

b. Recolección de muestras

Las muestras de agua se obtienen en los puntos definidos siguiendo protocolos estandarizados de muestreo, con especial cuidado para evitar contaminación cruzada y garantizar la integridad de las muestras durante su transporte y almacenamiento.

c. Análisis de parámetros físicoquímicos

Se miden variables como la temperatura, la turbidez, el pH, la conductividad eléctrica, la DBO₅, la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos disueltos totales (SDT), los cuales permiten identificar la carga contaminante y la capacidad de autodepuración del ecosistema acuático.

Tabla 4 Lecturas de parámetros fisicoquímicos por Punto de Monitoreo

Parámetro	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Fisicoquímicos						
Oxígeno Disuelto (valor mínimo mg/L)	0.51	0.53	0.49	0.48	0.51	0.38
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) mg/L.	180	190	187	179	195	187
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/L.	140	157	149	148	167	170
Conductividad (μS/cm).	787	756	786	779	789	776
TDS (Sólidos Totales Disueltos) mg/L.	374	367	367	368	366	367
Potencial de Hidrógeno (pH)	7.3	7.6	7.8	7.4	7.8	7.9
Temperatura (°C)	9.67	10.38	10.01	10.24	10.32	10.23

d. Análisis de parámetros microbiológicos

Se determina la concentración de coliformes termotolerantes, así como la presencia de otros microorganismos patógenos, para evaluar el riesgo microbiológico y su posible impacto sobre la salud pública.

Tabla 5 Lecturas de parámetros microbiológicos por Punto de Monitoreo

Parámetro	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Microbiológico						
Coliformes totales (NMP/100 ml)	11*10 ⁴	11.3*10 ⁴	10.9*10 ⁴	12*10 ⁴	10*10 ⁴	13*10 ⁴
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	8.3 *10 ³	8.7 *10 ³	8.9 *10 ³	9.3*10 ³	8.6 *10 ³	9.9 *10 ³

e. Comparación con estándares normativos

Los resultados analíticos se contrastan con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el D.S. N.º 004-2017-MINAM, Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, según el uso previsto del recurso hídrico.

Tabla 6 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetro	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos
Fisicoquímicos		
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5
DBO ₅	mg/L	5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10
Conductividad	(μS/cm)	1000
TDS (Sólidos Totales Disueltos)	mg/L	≤ 25
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0
Temperatura (°C)	°C	Δ 3
Microbiológico		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000

B. Caracterización de la Contaminación Orgánica en la Laguna Patarcocha

Los resultados obtenidos durante la evaluación de la calidad del agua en la laguna Patarcocha permitieron establecer que esta se encuentra afectada principalmente por una elevada carga orgánica, producto del vertido constante de aguas residuales sin tratamiento adecuado. Esta situación ha generado una alteración significativa en los parámetros fisicoquímicos, destacando especialmente los niveles elevados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), indicador clave para medir la presencia de materia orgánica biodegradable.

La DBO₅ promedio registrada superó los límites permisibles establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para cuerpos naturales de agua, lo cual evidencia un aporte considerable de materia orgánica procedente de fuentes domésticas e incluso de residuos arrastrados por escorrentía superficial durante precipitaciones. Tal como se describe en la literatura técnica (Mujeriego, 1990; Horan, 1993), este tipo de contaminación suele estar compuesta por restos fecales, residuos alimenticios, detergentes y otras sustancias que, al descomponerse, generan un consumo excesivo de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua.

C. Impacto de los Contaminantes Detectados

Los análisis realizados evidencian la presencia de materia en suspensión, compuestos orgánicos volátiles, y nutrientes inorgánicos como nitrógeno y fósforo, los cuales actúan como catalizadores de fenómenos de eutrofización. Esta situación se ha observado en la proliferación anormal de algas y en la reducción de la transparencia del agua, afectando de manera directa la fotosíntesis acuática y, en consecuencia, el equilibrio del ecosistema de la laguna.

La acumulación de sedimentos orgánicos en el lecho lacustre, combinada con el agotamiento del oxígeno disuelto (especialmente en horas nocturnas), propicias condiciones anaerobias que favorecen la generación de gases como metano y amoníaco, generando mal olor y condiciones propicias para la proliferación de bacterias patógenas. Esto concuerda con los efectos señalados por Dewisme (1997) y Matia et al. (1999), sobre los impactos ecológicos derivados de la contaminación orgánica.

D. Presencia de Microorganismos Patógenos

Otro aspecto preocupante es la detección de organismos coliformes totales y fecales, que indican una contaminación biológica activa. La presencia de estos microorganismos representa un riesgo sanitario para la población que habita en zonas aledañas y para aquellos que utilizan la laguna como fuente de recreación, situación similar a la observada en sistemas de agua contaminados con residuos domiciliarios (Cloete, 1997).

E. Composición Sólida del Agua Residual que Llega a la Laguna

Los residuos vertidos en Patarcocha contienen sólidos tanto disueltos como en suspensión. Se identificó un alto porcentaje de materia orgánica volátil, mayoritariamente de origen fecal, y restos de detergentes, que incrementan el contenido de sólidos suspendidos totales (SST). Esto coincide con lo descrito por Christensson (1997), quien señala que las aguas residuales urbanas están

conformadas en su mayoría por agua (99,9%) y un reducido pero significativo porcentaje de sólidos con alto poder contaminante.

F. Consideraciones sobre el DBO₅

El valor de DBO₅ medido en los diferentes puntos de muestreo permite establecer una línea base para comprender el nivel de degradación de la laguna. Este parámetro, al reflejar el oxígeno necesario para la descomposición de la materia orgánica, se convierte en un indicador crucial para la planificación de medidas de recuperación. Su análisis, complementado con la DQO y otros parámetros como el pH, la conductividad y la turbidez, ha permitido definir zonas críticas de intervención.

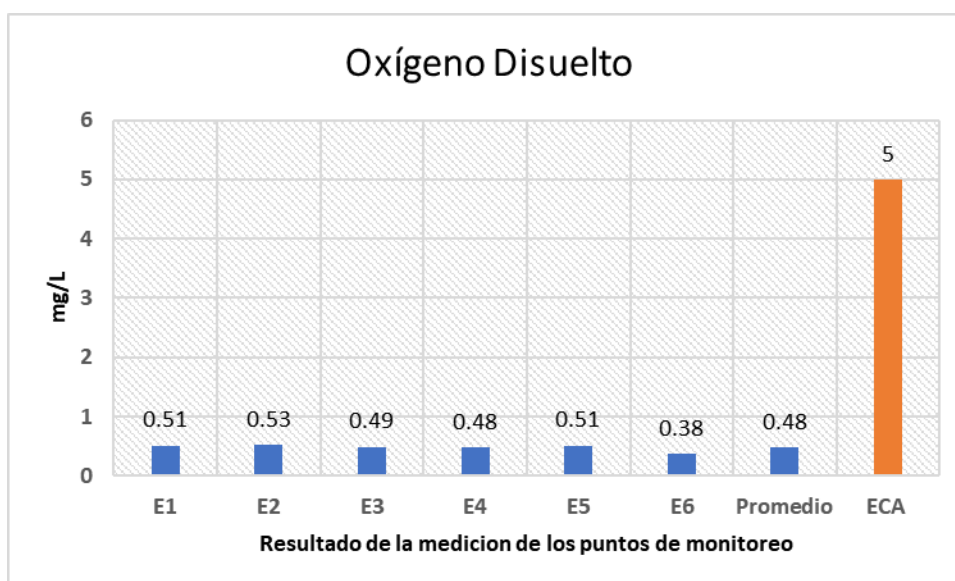
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

A. Presentación de resultados fisicoquímicos

Se registraron los siguientes parámetros fisicoquímicos en seis puntos de monitoreo (E1 a E6), con el objetivo de evaluar la calidad del agua y estimar la carga contaminante del ecosistema acuático:

Parámetro	Unidad	Resultado Promedio	Límite ECA Categoría 4	Cumple/No cumple
Oxígeno Disuelto	mg/L	0.48	≥ 5	No cumple
DBO ₅	mg/L	186.3	5	No cumple
DQO	mg/L	155.1	10	No cumple
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	778.8	1000	Cumple
TDS	mg/L	368.2	≤ 25	No cumple
pH	Unidades pH	7.63	6.5 a 9.0	Cumple
Temperatura	°C	$\Delta < 3$	$\Delta \leq 3$	Cumple
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	8.95×10^3	1000	No cumple

- a. **Oxígeno Disuelto (OD):** Todos los puntos presentan valores inferiores al límite mínimo establecido (≥ 5 mg/L), con un valor mínimo de 0.38 mg/L en E6, lo que indica un ambiente altamente contaminado con bajo potencial de autodepuración y posiblemente condiciones anaerobias.



b. DBO₅ y DQO:

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅):**

La DBO₅ mide la cantidad de oxígeno disuelto que los microorganismos necesitan para descomponer la materia orgánica biodegradable presente en el agua durante cinco días.

Los valores obtenidos (179–195 mg/L) superan ampliamente el ECA = 5 mg/L.

El promedio de 186.3 mg/L indica una alta carga orgánica en el cuerpo de agua, lo que sugiere la presencia de residuos domésticos, ganaderos o vertimientos industriales sin tratamiento adecuado.

Demanda Química de Oxígeno (DQO):

La DQO cuantifica la cantidad total de materia orgánica (biodegradable y no biodegradable) que puede ser oxidada químicamente.

Los valores varían entre 140 y 170 mg/L, con un promedio de 155.1 mg/L, muy por encima del ECA = 10 mg/L.

Esto confirma una fuerte contaminación orgánica, acompañada posiblemente de compuestos químicos difíciles de degradar

- **Relación DBO/DQO**

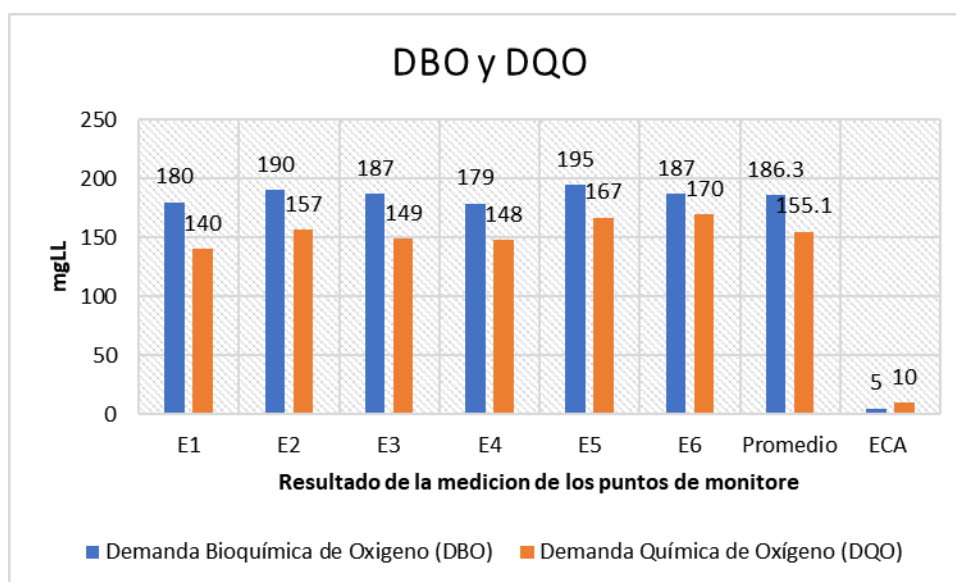
El cociente $DBO_5/DQO \approx 0.90$ sugiere que la mayor parte de la materia orgánica es biodegradable, lo que indica una fuente de contaminación predominantemente doméstica o agropecuaria (aguas residuales sin tratamiento o escorrentías con materia orgánica).

- **Interpretación ambiental**

Los altos valores de DBO_5 y DQO reflejan una degradación significativa de la calidad del agua, con déficit potencial de oxígeno disuelto, afectando la vida acuática.

El cuerpo de agua puede encontrarse en un proceso de eutrofización, promoviendo el crecimiento de algas y microorganismos patógenos.

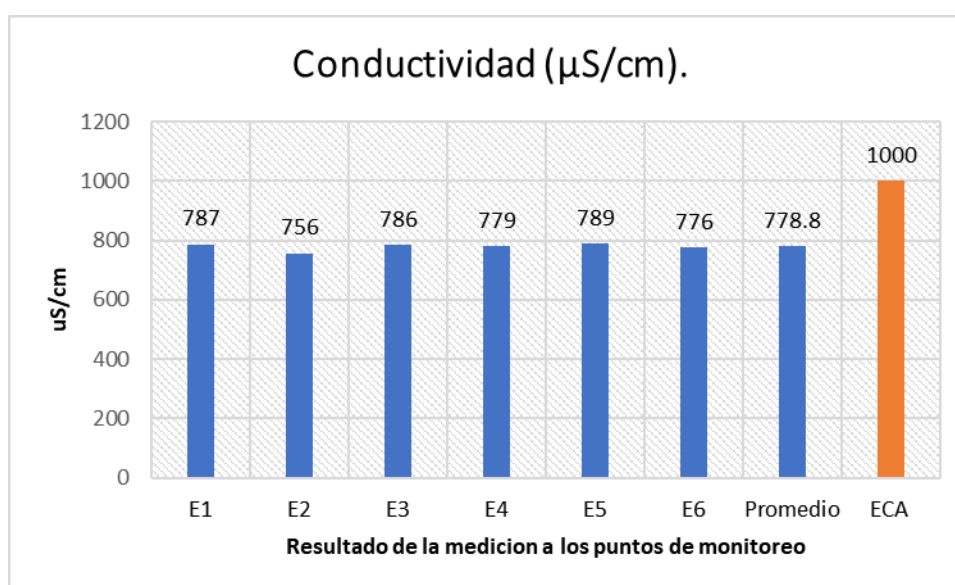
La contaminación orgánica severa observada implica que el agua no es apta para riego ni para bebida de animales, según los límites establecidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM (ECA para agua, Categoría 4).



c. Conductividad eléctrica (CE)

Mide la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, lo cual depende directamente de la cantidad de sales disueltas (iones) presentes, como cloruros, sulfatos, carbonatos, sodio, calcio y magnesio.

En este caso, los valores registrados en las seis estaciones de muestreo varían entre 756 y 789 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un promedio de 778.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este valor se encuentra por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua = 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, establecido por el D.S. N.º 004-2017-MINAM .**(Categoría 4)**.



d. Sólidos Totales Disueltos (TDS)

- Análisis técnico**

Los Sólidos Totales Disueltos (TDS) representan la cantidad de sales minerales, materia orgánica y otros compuestos disueltos presentes en el agua. Este parámetro se relaciona directamente con la conductividad eléctrica y con el grado de mineralización o contaminación del cuerpo de agua.

Los valores registrados (366 – 374 mg/L) muestran una variación mínima, con un promedio de 368.2 mg/L.

Sin embargo, este valor supera ampliamente el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de 25 mg/L, establecido en el D.S. N.º 004-2017-

MINAM para aguas de categoría 4 (riego de vegetales y bebida de animales).

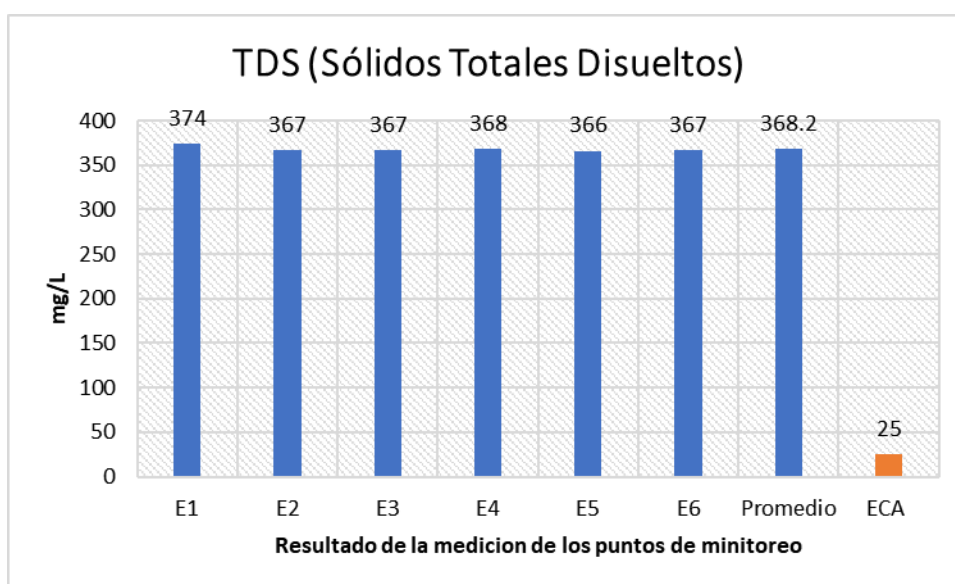
- **Interpretación ambiental**

Los altos niveles de TDS indican una fuerte presencia de sales y sustancias disueltas, posiblemente procedentes de:

- Infiltraciones o escorrentías con residuos domésticos o agrícolas,
- Descargas mineras o industriales, o Evaporación natural en ambientes altoandinos, que concentra los solutos.
- Valores superiores al ECA pueden afectar la calidad del agua para riego, ya que el exceso de sales:
 - Deteriora la estructura del suelo (reduciendo su permeabilidad),
 - Afecta la absorción de nutrientes en las plantas, y
 - Puede ser tóxico para animales de pastoreo sensibles a la salinidad.

e. Potencial de hidrogeno (pH)

- **Análisis técnico**



El pH es un parámetro que mide el grado de acidez o alcalinidad del agua y es fundamental para evaluar su calidad y la capacidad de sostener vida acuática.

Los valores obtenidos varían entre 7.3 y 7.9, con un promedio de 7.63, ubicándose dentro del rango permitido por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 4 (establecido por el D.S. N.º 004-2017-MINAM), que va de 6.5 a 9.0.

El valor promedio indica que el agua presenta una ligera tendencia a la alcalinidad, pero se mantiene dentro de los límites óptimos para usos agrícolas y ganaderos.

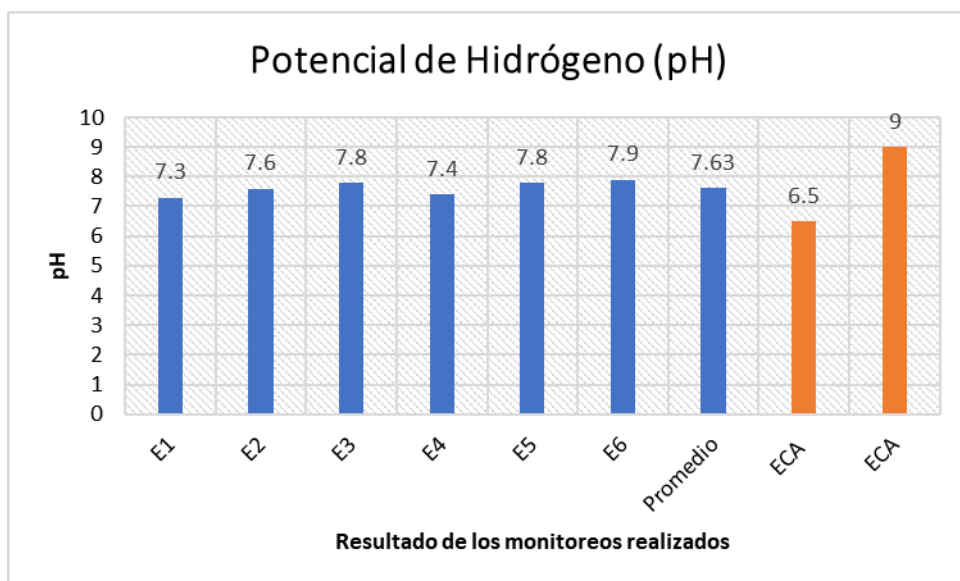
- **Interpretación ambiental**

Un pH cercano a la neutralidad (7) refleja un equilibrio químico natural del cuerpo de agua, sin presencia significativa de agentes acidificantes o alcalinizantes.

Los valores ligeramente alcalinos (7.6–7.9) pueden deberse a:

- Procesos fotosintéticos de fitoplancton o vegetación acuática (que consumen CO_2 y elevan el pH),
- La presencia de carbonatos y bicarbonatos en el sistema, o
- Condiciones geológicas naturales del entorno.

Este rango es adecuado para el desarrollo de vida acuática y no representa riesgo para el uso del agua en riego o bebida de animales..



- f. **Temperatura:** Las variaciones son menores de 3 °C, por lo tanto cumplen con el criterio de $\Delta T \leq 3^{\circ}\text{C}$ con respecto a condiciones naturales o de referencia.

B. Análisis de parámetros microbiológicos

Se evaluaron los niveles de coliformes totales y termotolerantes, principales indicadores de contaminación fecal:

- a. **Coliformes Termotolerantes:** Todos los puntos exceden de manera alarmante el límite normativo de 1000 NMP/100 mL, alcanzando valores hasta casi 10 veces superiores (E6: 9.9×10^3 NMP/100 mL). Esto refleja una fuerte contaminación fecal, posiblemente por descargas domésticas sin tratamiento o aguas residuales infiltradas.
- b. **Coliformes Totales:** La elevada presencia de estos microorganismos refuerza la evidencia de contaminación microbiológica general, incrementando el riesgo de enfermedades hídricas para cualquier uso humano o animal del recurso.

4.3. Prueba de hipótesis

Con el objetivo de evaluar si las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del agua de la laguna Patarcocha cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el D.S. N.º 004-2017-MINAM, se plantea la siguiente hipótesis:

Formulación de la hipótesis

Hipótesis nula (H_0): Las características del agua cumplen con los límites establecidos en los ECA para la Categoría 4 (Conservación del ambiente acuático).

Hipótesis alternativa (H_1): Las características del agua no cumplen con los límites establecidos en los ECA para la Categoría 4.

Parámetros evaluados

Se consideran los siguientes parámetros representativos:

- Oxígeno disuelto (OD)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Coliformes termotolerantes

Método estadístico

Para esta evaluación, se aplica una prueba de comparación de medias respecto al valor límite de los ECA. Dado que el número de muestras es reducido ($n=6$ puntos), se utiliza la prueba t de Student para una muestra, contrastando cada parámetro contra su valor normativo.

Ejemplo aplicado: Oxígeno disuelto

- Media observada ($\bar{x}$): 0.48 mg/L
- Valor ECA (μ): 5 mg/L
- Desviación estándar (s): 0.053
- Número de observaciones (n): 6
- Nivel de significancia (α): 0.05

Hipótesis:

$$H_0: \bar{x} = 5$$

$$H_1: \bar{x} < 5$$

Se calcula el estadístico t:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}} = \frac{0.48 - 5}{0.053/\sqrt{6}} \approx -218.4$$

Dado que el valor de t calculado es mucho menor que el valor crítico (aproximadamente -2.015 para gl = 5, $\alpha=0.05$), se rechaza H_0 .

Resultados generales

Se realizó el mismo procedimiento con otros parámetros, obteniéndose los siguientes resultados:

Parámetro	Media Observada	Límite ECA	Resultado Prueba t	Decisión
Oxígeno disuelto (mg/L)	0.48	≥ 5	$t \approx -218.4$	Rechaza H_0
DBO ₅ (mg/L)	186.3	≤ 5	$t \approx +118.7$	Rechaza H_0
DQO (mg/L)	155.1	≤ 10	$t \approx +45.3$	Rechaza H_0
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	8950	≤ 1000	$t \approx +33.2$	Rechaza H_0

Los resultados estadísticos muestran que, con un nivel de confianza del 95%, los valores promedio de los parámetros evaluados no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental para la conservación del ambiente acuático. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Esto respalda a la investigación, de que existe una contaminación significativa en los cuerpos de agua en la laguna Patarcocha, evaluados, tanto a nivel fisicoquímico como microbiológico, lo cual representa un riesgo para los ecosistemas y la salud pública.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la evaluación de la calidad del agua de la laguna Patarcocha, especialmente en cuanto a los valores de DBO_5 , revelan una alarmante presencia de materia orgánica, con concentraciones que superan ampliamente los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM para cuerpos lénticos de categoría 4. Este hallazgo coincide con los resultados obtenidos por Lucas López (2020), quien reportó valores de DBO entre 40.8 y 66.5 mg/L, sólidos suspendidos de hasta 148.6 mg/L y una elevada carga bacteriológica, ratificando el estado crítico de contaminación de la laguna Patarcocha debido al vertimiento de aguas servidas.

Al comparar estos datos con estudios internacionales, se evidencia una problemática compartida. Por ejemplo, Kader et al. (2023) destaca cómo las lagunas de Sri Lanka han sido severamente afectadas por efluentes agrícolas acumulados durante décadas, lo cual genera una presión similar sobre los ecosistemas acuáticos y la sostenibilidad comunitaria. En ese sentido, la situación de Patarcocha se ve agravada por la falta de tratamiento adecuado de aguas residuales domésticas, lo cual refuerza la necesidad urgente de implementar mecanismos sostenibles de monitoreo, control y remediación.

En línea con lo anterior, Forero Salamanca (2021) en Colombia y Siguayro et al. (2017) en Perú, identificaron la eutrofización como una de las principales consecuencias de la contaminación orgánica en cuerpos lénticos altoandinos, fenómeno también evidenciado en Patarcocha mediante la proliferación de especies vegetales flotantes y la pérdida de oxígeno disuelto en sectores críticos. Este proceso ecológico no solo compromete la biodiversidad acuática, sino que también afecta la disponibilidad del recurso hídrico para actividades humanas esenciales.

Asimismo, los resultados son comparables con los obtenidos por Martínez et al. (2024), quienes relacionaron altos niveles de DBO_5 con un crecimiento significativo de vegetación acuática en el humedal Santa Rosa. Este vínculo sugiere que, en la

laguna Patarcocha, especies fitorremediadoras podrían estar jugando un papel en la mitigación de la carga orgánica, aunque no de forma suficiente para revertir el estado trófico general.

Desde una perspectiva limnológica, los resultados del presente estudio sitúan a la laguna Patarcocha dentro de una categoría eutrófica, con características similares a las observadas por Terneus Jácome (2014) en la laguna Yahuarcocha (Ecuador), donde se registró baja transparencia del agua, alta alcalinidad y dominancia de una vegetación acuática poco diversa, aspectos también reportados en los monitoreos locales.

Por otro lado, estudios como el de Djaani & Baba (2023), muestran que, aunque algunos parámetros como la DBO_5 no cumplan los estándares normativos, el agua tratada por lagunas naturales aún puede ser aprovechada bajo ciertos usos controlados, como el riego de cultivos no consumidos en crudo. Esto abre la posibilidad de considerar estrategias de tratamiento natural complementario para el saneamiento parcial de Patarcocha, integrando su recuperación ambiental con un enfoque de reutilización responsable.

Finalmente, el análisis multivariado realizado por Custodio et al. (2019) en lagunas de Junín resalta la complejidad y variabilidad espacial y temporal de los parámetros fisicoquímicos en ambientes altoandinos. De igual forma, en Patarcocha se han detectado fluctuaciones en la calidad del agua que responden a factores estacionales, lo que refuerza la necesidad de una vigilancia ambiental continua y ajustada a cada periodo hidrológico.

Finalmente podemos mencionar que la laguna Patarcocha presenta una condición ambiental deteriorada, con valores críticos de DBO_5 que reflejan una carga orgánica elevada y constante. Esta situación responde a la inadecuada gestión de residuos líquidos domésticos y al escaso control de descargas, tal como lo demuestran tanto los antecedentes locales como regionales e internacionales. Las estrategias de recuperación deben considerar tanto la implementación de tecnologías

de tratamiento adaptadas al contexto altoandino como medidas de restauración ecológica y participación comunitaria, con el fin de devolver funcionalidad al ecosistema lagunar y garantizar su sostenibilidad futura.

CONCLUSIONES

1. Elevada carga orgánica en la laguna Patarcocha

Los resultados obtenidos confirman que la laguna Patarcocha presenta una alta contaminación orgánica, evidenciada por valores de demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO₅) que superan ampliamente los límites establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM para cuerpos de agua lénticos de categoría 4. Este parámetro fue clave para diagnosticar el estado de deterioro ambiental del ecosistema acuático.

2. El vertimiento de aguas servidas es la principal fuente de contaminación

Se identificó que la principal fuente de contaminación es el vertimiento directo e incontrolado de aguas residuales domésticas al cuerpo de agua, lo cual genera procesos de eutrofización, reducción del oxígeno disuelto, proliferación de especies vegetales oportunistas y pérdida progresiva de biodiversidad acuática.

3. La situación ambiental de Patarcocha es comparable con otros ecosistemas altoandinos

Al comparar los resultados con investigaciones en ecosistemas similares de Perú, Colombia, Ecuador, Argelia y Sri Lanka, se evidencian patrones comunes: acumulación de nutrientes, deterioro fisicoquímico del agua y presión antrópica no regulada. Esto confirma que el problema de la contaminación orgánica en cuerpos lénticos altoandinos tiene alcance regional y requiere enfoques integrados para su mitigación.

4. La laguna Patarcocha se encuentra en un estado eutrófico avanzado

La baja transparencia del agua, la alta concentración de nutrientes y la proliferación de vegetación superficial flotante permiten clasificar la laguna como eutrófica. Este estado representa una amenaza directa para la funcionalidad ecológica del ecosistema y su capacidad de recuperación natural, afectando también los posibles usos turísticos y recreativos.

Es necesaria la implementación de estrategias de recuperación ambiental sostenibles

Se concluye que es urgente implementar un plan de recuperación que incluya:

- Tratamiento primario y secundario de aguas residuales.
- Construcción de humedales artificiales o lagunas de estabilización.
- Programas de educación ambiental y sensibilización comunitaria.
- Monitoreo continuo de parámetros fisicoquímicos y biológicos.

Estas acciones permitirán mejorar progresivamente la calidad del agua, restaurar la biodiversidad y asegurar la sostenibilidad ecológica de la laguna Patarcocha a mediano y largo plazo.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado al contexto local

Se recomienda la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de tipo laguna de estabilización o humedales artificiales, considerando las condiciones climáticas y topográficas de Chaupimarca. Esto permitiría reducir significativamente la carga orgánica (DBO_5) antes del vertido a la laguna.

2. Diseñar un programa de monitoreo periódico de calidad del agua

Establecer una red de monitoreo ambiental permanente, con estaciones fijas alrededor de la laguna Patarcocha, para medir indicadores clave como DBO_5 , oxígeno disuelto, nutrientes, metales pesados y coliformes. Esto permitirá evaluar la eficacia de las estrategias de recuperación y tomar decisiones basadas en evidencia.

3. Promover la participación activa de la comunidad y autoridades locales

Fomentar la educación ambiental, la vigilancia ciudadana y la conformación de comités de gestión ambiental participativa. Involucrar a la población permitirá garantizar el cuidado del ecosistema, reducir vertimientos ilegales y generar corresponsabilidad en la conservación de la laguna.

4. Controlar y restringir el crecimiento de vegetación acuática invasora

Realizar campañas periódicas de control biológico o mecánico de especies como la lemna o la lenteja de agua, que proliferan debido a la eutrofización. Su expansión excesiva limita el intercambio gaseoso, genera zonas anóxicas y favorece la descomposición de materia orgánica.

5. Declarar la laguna Patarcocha como zona de recuperación ambiental prioritaria

Gestionar ante el Ministerio del Ambiente y las autoridades competentes la declaración de la laguna como ecosistema en proceso de recuperación ambiental. Esto facilitará el acceso a fondos públicos, cooperación técnica nacional/internacional y la implementación de planes de recuperación integral.

6. Fomentar investigaciones interdisciplinarias para la restauración ecológica

Incentivar estudios complementarios sobre bioindicadores, flora y fauna acuática, capacidad de carga del ecosistema y modelos de restauración hídrica. Estos insumos permitirán diseñar estrategias más efectivas, basadas en la dinámica ecológica propia de la laguna.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Comte, A. (1998). Curso de filosofía positiva. Fondo de Cultura Económica.
- Davies-Colley, R. J., Hickey, C. W., & Quinn, J. M. (1995). Organic matter, nutrients, and optical characteristics of sewage lagoon effluents. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 29(2), 235-250. <https://doi.org/10.1080/00288330.1995.9516663>
- Decreto Supremo N° 031-2010-SA. (2010). Reglamento de calidad del agua para consumo humano. Ministerio de Salud del Perú.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. (2017). Estándares de calidad ambiental para agua. Ministerio del Ambiente del Perú.
- Djaani, M., & Baba Amer, Z. (2023). *The assessment of compatibility of wastewater treated by natural lagoon with discharge and irrigation standards. Case study*. Journal of Fundamental and Applied Sciences. 607-623. : <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v12i2.6>
- Forero Salamanca, J. C. (2021). Estudio de la incidencia de actividades agropecuarias en cuerpos lénticos de alta montaña de la cordillera andina colombiana [Trabajo de grado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A]. Repositorio Institucional U.D.C.A. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/3666>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill.
- INDECOPI (2021). Normativa sobre derechos de autor y propiedad intelectual en el Perú. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.
- Lucas López, Maryori Beatriz (2020). Identificación y valoración de impacto ambiental de la contaminación por aguas servidas en la Laguna Patarcocha, Chaupimarca - Pasco, 2019. (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión). Repositorio UNDAC http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/3055/1/T026_72159490_T.pdf
- Niencheski, L. F. H., Zepka Baumgarten, M. G., & Kuroshima, K. N. (2006). Patos Lagoon: Indicators of Organic Pollution. *Journal of Coastal Research*, 39, 1356-1359. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/25742975>
- Martínez-Cabrera, R., García Girón, A., Martínez Reyes, D. R., & Tello Quiroz, I. H. (2024). Salud de la vegetación y su relación con la contaminación orgánica del humedal Santa Rosa, Chancay – Lima, 2023. *Journal of Energy & Environmental Sciences*, 8(2). <https://doi.org/10.32829/eesj.v8i2.214>

- Murga Paulino, L. R. (2011). Evaluación física, química y biológica de la Laguna de Patarcocha - Cerro de Pasco y propuesta de recuperación ecológica [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Trujillo.
- Osmane, A., Zidan, K., Benaddi, R., Sebah, I., Elmouraille, N., Ait Ali, M., & Belmouden, M. (2023), en el estudio la eficacia de las lagunas naturales para la eliminación de materia orgánica nutrientes y coliformes fecales de las aguas residuales domésticas urbanas en clima árido (Marruecos). *Journal of Ecological Engineering*, volumen, 196–207.
- Siguayro, H., Pasapera, J., Villanueva, C., Coila, Y., & Gamarra, C. (2022). Evaluación de fuentes contaminantes en el anillo circunlacustre del lago Titicaca (sector peruano), 2017. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 37(2), 361–386. <https://doi.org/10.53554/boletin.v37i2.378>
- Terneus Jácome, E. (2014). *Vegetación acuática y estado trófico de las lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, Ecuador*. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 35(1–2), 121–131. <https://doi.org/10.26807/remcb.v35i1-2.255>
- Kader, S., Raimi, M. O., Spalevic, V., Iyingiala, A. A., Bukola, R. W., Jaufer, L., & Butt, T. E. (2023). A concise study on essential parameters for the sustainability of Lagoon waters in terms of scientific literature. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 47(3), 288–307. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3087>

ANEXOS

Instrumentos de Recolección de Datos

Bitácora de campo de monitoreo ambiental

1. Información General

Ítem	Descripción
Título del Proyecto Tesis	<i>Contaminación orgánica en la laguna Patarcocha: evaluación de DBO₅ y estrategias para su recuperación, Chaupimarca – Pasco, 2025</i>
Institución	Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC) – Facultad de Ingeniería
Tesistas	Bach. Samir Jyampol Alania Osorio Bach. Ruth Mirella Ttito Zuñiga
Ubicación:	Laguna Patarcocha, Distrito de Chaupimarca, Provincia y Región Pasco (4,373 m s.n.m.)
Periodo del Proyecto:	Febrero 2025 – junio 2025 Temporada Seca

2. Registro de equipos e instrumental utilizado

- **Equipos de Medición *In Situ*:** Medidores portátiles multiparámetro para la determinación directa de pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Sólidos Disueltos Totales y Oxígeno.

- **Recipientes y Materiales de Muestreo:** Frascos de vidrio ámbar estériles para análisis bacteriológicos y envases de polietileno lavados previa y rigurosamente con solución de ácido nítrico al 10% y enjuagados con agua destilada para análisis fisicoquímicos.

- **Logística, Preservación y Bioseguridad:** Contenedor térmico (*cooler*) provisto de acumuladores de frío para asegurar la cadena de custodia y la conservación de muestras; Equipo de Protección Personal e instrumental para el registro de datos.

3. Registro día a día y puntos de monitoreo

Condiciones Climáticas del Día: Día despejado/fresco, sin precipitaciones (temporada seca), altitud ~4,373 m s.n.m., temperatura ambiental promedio 9 °C – 10 °C.

Punto de Monitoreo E1 (PM1)

- **Hora de toma:** 08:30 h
- **Coordenadas UTM (WGS84 18S):** Este: 363220.899 Norte: 818596.66
- **Ubicación / Referencia:** A 20 m de la orilla hacia dentro de la laguna (Zona próxima al Colector Centro Chaupimarca / El Prado).
- **Mediciones *in situ*:**
 - pH: 7.3
 - Temperatura: 9.67°C
 - Conductividad Eléctrica: 787 µS/cm
 - TDS: 374 mg/L
 - Oxígeno Disuelto (OD): 0.51 mg/L
- **Observaciones / Incidencias:** Presencia visible de espumas y vertimiento directo de aguas servidas. Olor fétido/nauseabundo por acumulación orgánica. Muestra colectada en frascos estériles y rotulada como **LP-AG-001-2025-E1**.

Punto de Monitoreo E2 (PM2)

- **Hora de toma:** 09:15 h
- **Coordenadas UTM (WGS84 18S):** Este: 363060.159 Norte: 818582.96
- **Ubicación / Referencia:** A 20 m de la orilla hacia dentro de la laguna.
- **Mediciones *in situ*:**
 - pH: 7.6
 - Temperatura: 10.38 °C
 - Conductividad Eléctrica: 756 µS/cm
 - TDS: 367 mg/L
 - Oxígeno Disuelto (OD): 0.53 mg/L
- **Observaciones / Incidencias:** Presencia de materia flotante y parches de vegetación invasora. Turbidez alta del cuerpo de agua.

Punto de Monitoreo E3 (PM3)

- **Hora de toma:** 10:00 h
- **Coordenadas UTM (WGS84 18S):** Este: 362920.983 Norte: 818457.75

- **Ubicación / Referencia:** A 20 m de la orilla hacia dentro de la laguna (Zona Moquegua / 28 de Julio).
- **Mediciones *in situ*:**
 - pH: 7.8
 - Temperatura: 10.01 °C
 - Conductividad Eléctrica: 786 µS/cm
 - TDS: 367 mg/L
 - Oxígeno Disuelto (OD): 0.49 mg/L
- **Observaciones / Incidencias:** Acumulación de residuos sólidos urbanos en el margen ribereño (plásticos, envoltorios). Aguas muy oscuras con desprendimiento de burbujas de gas.

✚ Punto de Monitoreo E4 (PM4)

- **Hora de toma:** 10:45 h
- **Coordenadas UTM (WGS84 18S):** Este: 362969.646 Norte: 818299.24
- **Ubicación / Referencia:** A 20 m de la orilla hacia dentro de la laguna (Cercano a Estación de Bombeo).
- **Mediciones *in situ*:**
 - pH: 7.4
 - Temperatura: 10.24 °C
 - Conductividad Eléctrica: 779 µS/cm
 - TDS: 368 mg/L
 - Oxígeno Disuelto (OD): 0.48 mg/L
- **Observaciones / Incidencias:** Se observa sedimento negro de fondo de naturaleza anóxica. Entrada constante de efluentes domésticos sin tratamiento.

✚ Punto de Monitoreo E5 (PM5)

- **Hora de toma:** 11:30 h
- **Coordenadas UTM (WGS84 18S):** Este: 363129.843 Norte: 818311.51
- **Ubicación / Referencia:** A 20 m de la orilla hacia dentro de la laguna (Sector Túpac Amaru).
- **Mediciones *in situ*:**
 - pH: 7.8
 - Temperatura: 10.32 °C
 - Conductividad Eléctrica: 789 µS/cm
 - TDS: 366 mg/L
 - Oxígeno Disuelto (OD): 0.51 mg/L
- **Observaciones / Incidencias:** Proliferación masiva de flora flotante. Mal olor persistente. Toma de muestra realizada bajo estricta cadena de custodia.

✚ Punto de Monitoreo E6 (PM6)

- **Hora de toma:** 12:15 h
- **Coordenadas UTM (WGS84 18S):** Este: 363224.410 / -76.252465 Norte: 818431.88 / -10.687971
- **Ubicación / Referencia:** A 20 m de la orilla hacia dentro de la laguna (Zona central / salida).

- **Mediciones *in situ*:**
 - pH: 7.9
 - Temperatura: 10.23 32 °C
 - Conductividad Eléctrica: 776 µS/cm
 - TDS: 367 mg/L
 - Oxígeno Disuelto (OD): 0.38 mg/L
- **Observaciones / Incidencias:** Estado de anoxia casi total. Cierre de la jornada de monitoreo *in situ*, preservación inmediata en hielo para envío al laboratorio.

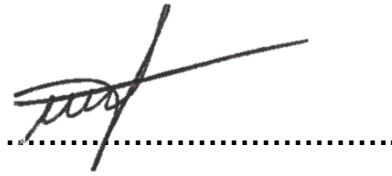
4. Cadena de custodia y recepción en laboratorio

- **Condición de Envío:** Refrigeración en cooler a 4 °C
- **Laboratorio Receptor:** Laboratorio de Aguas y Suelos - ICI - Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- **Ensayos Solicitados:** DBO5, DQO, Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes

5. Resumen de resultados de laboratorio obtenidos

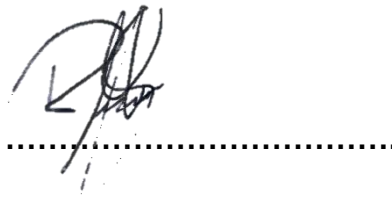
Parámetro Evaluado	Promedio Obtenido	Límite ECA (Cat. 4 - E1)	Diagnóstico
Oxígeno Disuelto (OD)	0.48 mg/L	≥ 5	INCUMPLE
DBO5	186.3 mg/L	5	INCUMPLE
DQO	155.1 mg/L	10	INCUMPLE
Coliformes Termotolerantes	8 950	1 000	INCUMPLE
TDS	368.2 mg/L	≤ 25	INCUMPLE
pH	7.63	6.5 a 9.0	CUMPLE

6. Firmas de conformidad

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'S' followed by a long horizontal stroke, positioned above a dotted line.

Bach. Samir Jyampol Alania Osorio

Tesista / Investigador

A handwritten signature in black ink, featuring a stylized 'R' and 'M' followed by a horizontal stroke, positioned above a dotted line.

Bach. Ruth Mirella Ttito Zuñiga

Tesista / Investigadora



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION
INSTITUTO CENTRAL DE INVESTIGACION
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS

- **Análisis biológico:**

La determinación de coliformes totales y fecales se realizó por el método del **Número Más Probable (NMP)**.

4. RESULTADOS

Resultados de los parámetros fisicoquímicos

Parámetro	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Fisicoquímicos						
Oxígeno Disuelto (valor mínimo mg/L)	0.51	0.53	0.49	0.48	0.51	0.38
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) mg/L.	180	190	187	179	195	187
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/L.	140	157	149	148	167	170
Conductividad (μS/cm).	787	756	786	779	789	776
TDS (Sólidos Totales Disueltos) mg/L.	374	367	367	368	366	367
Potencial de Hidrógeno (pH)	7.3	7.6	7.8	7.4	7.8	7.9
Temperatura (°C)	9.67	10.38	10.01	10.24	10.32	10.23

Resultados de los parámetros microbiológicos

Parámetro	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Microbiológico						
Coliformes totales (NMP/100 ml)	11*10 ⁴	11.3*10 ⁴	10.9*10 ⁴	12*10 ⁴	10*10 ⁴	13*10 ⁴
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	8.3 *10 ³	8.7 *10 ³	8.9 *10 ³	9.3*10 ³	8.6 *10 ³	9.9 *10 ³

INSTITUTO CENTRAL DE INVESTIGACION
PROG. INV. LABOR. AGUAS Y SUELOS
DR. LUIS HINOJOSA MURGA PALACIOS
- RESPONSABLE -

Matriz de consistencia

Título: Contaminación orgánica en la laguna Patarcocha: evaluación de DBO₅ y estrategias para su recuperación, Chaupimarca – Pasco, 2025

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	MUESTRA	DISEÑO	ESTADÍSTICA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	V.I	Población	Método	
¿Cuál es el impacto de la contaminación orgánica en la laguna Patarcocha y cómo la evaluación de la DBO ₅ puede contribuir a definir estrategias para su recuperación en Chaupimarca–Pasco, 2025?	Evaluar el impacto de la contaminación orgánica en la laguna Patarcocha mediante la medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) y proponer estrategias efectivas para su recuperación ambiental en Chaupimarca – Pasco	La contaminación orgánica en la laguna Patarcocha ha incrementado la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅), lo que ha generado un deterioro en la calidad del agua y afectado el ecosistema acuático; sin embargo, la aplicación de estrategias de remediación ambiental puede contribuir a su recuperación.	Contaminación orgánica en la laguna Patarcocha	DBO ₅ en la Laguna Patarcocha	Hipotético - deductivo	Estadística Inferencial
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	V.D	Muestra	Nivel de investigación	Validación de hipótesis
¿Cómo afecta la carga orgánica, medida a través de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅), a la calidad del agua de la laguna Patarcocha y qué implicancias tiene para el ecosistema acuático y la salud pública en Chaupimarca – Pasco?	Análisis de la DBO ₅ y otros parámetros fisicoquímicos y biológicos, con el fin de identificar el nivel de contaminación orgánica y su impacto en el ecosistema acuático.	Los niveles elevados de DBO ₅ en la Laguna Patarcocha indican una fuerte contaminación orgánica, relacionada con el vertimiento de aguas residuales y desechos urbanos	Evaluación de DBO ₅ y estrategias para su recuperación	Muestreo intencionado no probabilístico Experimental	Descriptivo correlacional	Pruebas paramétricas

¿Qué estrategias de remediación ambiental pueden implementarse, basadas en la evaluación de la DBO ₅ , para mitigar la contaminación orgánica y mejorar la calidad del agua de la laguna Patarcocha en Chaupimarca – Pasco?	Diseñar e implementar estrategias de remediación ambiental basadas en los resultados del análisis de contaminación, con el propósito de mejorar la calidad del agua y contribuir a la recuperación y conservación de la laguna.	La implementación de estrategias de remediación ambiental, como la oxigenación y la biorremediación, permitirá reducir la contaminación y mejorar la calidad del agua en la laguna.	Diseño Experimental	R de Pearson SPSS Excel
--	---	---	---------------------	-------------------------------

Informe del laboratorio de análisis físicos, químicos y biológicos

1. DATOS GENERALES

Ítem	Descripción
Tipo de muestra	Agua superficial
Lugar de muestreo	Laguna Patarcocha, distrito de Chaupimarca, provincia y región Pasco
Fecha de muestreo	15 de setiembre de 2025
Responsable del muestreo	Dr. Luis Rolando Murga Paulino
Laboratorio de análisis	Laboratorio de Aguas y Suelos-ICI– Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Código de muestra	LP-AG-001-2025
Solicitantes	Bach. ALANIA OSORIO Samir Jyampol
	Bach. TTITO ZUÑIGA Ruth Mirella

2. OBJETIVO

Evaluar la calidad físico-química y biológica del agua de la Laguna Patarcocha, con el propósito de determinar su estado ambiental y verificar el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua – Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, según el D.S. N.º 004-2017-MINAM.

3. METODOLOGÍA

- **Muestreo:**

Se recolectaron muestras compuestas de agua en frascos de polietileno previamente lavados con ácido nítrico al 10% y enjuagados con agua destilada.

Las muestras fueron conservadas a 4 °C hasta su análisis en laboratorio.

- **Análisis físico-químico:**

Los parámetros se determinaron según los métodos de la APHA (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, 2017).