

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTA DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Impacto de la calidad del agua de la laguna Acucocha en el
suministro de agua potable en Pasco**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Bach. Mireya Gianella GORDIANO CRISPIN

Bach. Maira Yadira HIDALGO SOLIS

Asesor:

Dr. Rommel Luis LOPEZ ALVARADO

Cerro de Pasco – Perú – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTA DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Impacto de la calidad del agua de la laguna Acucocha en el
suministro de agua potable en Pasco**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA
PRESIDENTE

Dr. David Johnny CUYUBAMBA ZEVALLOS
MIEMBRO

Mg. Rosario Marcela VASQUEZ GARCIA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 015 2026-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:

Impacto de la Calidad del Agua de la Laguna Acucocha en el Suministro de Agua Potable en Pasco

Apellidos y nombres de los tesisistas

Bach. Mireya Gianella, GORDIANO CRISPIN

Bach. Maira Yadira, HIDALGO SOLIS

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Rommel Luis, LÓPEZ ALVARADO

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Ambiental

5 %

Índice de Similitud

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 4 de mayo del 2026



Firmado digitalmente por FALCONINO
GARCIA ALBERTO EUGENIO YAU
20154855345 uaf
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 04.05.2026 17:54:29 -05:00

DEDICATORIA

A mis queridos padres, por su amor incondicional, sus consejos y el ejemplo de esfuerzo y perseverancia que me inspiran cada día. Gracias por ser la base y el motor de mis sueños.

A mis hermanos y hermanas, compañeros de vida, por su apoyo, paciencia y confianza. Ustedes han sido mi fuerza en los momentos difíciles y mi alegría en los triunfos.

Con todo mi cariño y gratitud, les dedico este logro.

AGRADECIMIENTO

A mis estimados docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC), expreso mi más sincero agradecimiento por su valiosa dedicación, compromiso y vocación en cada enseñanza impartida. Su guía académica, fundamentada en la disciplina, la motivación constante y sólidos principios éticos, ha sido esencial en la consolidación de mi formación profesional.

Agradezco profundamente por haber cultivado en mí el espíritu crítico e investigativo, así como el compromiso con la protección del ambiente y la responsabilidad social que exige nuestra profesión. Cada clase, orientación y ejemplo brindado ha trascendido el ámbito académico, convirtiéndose en pilares fundamentales para mi desarrollo personal y desempeño profesional.

Su influencia perdurará como una base sólida en mi camino, inspirándome a contribuir de manera responsable y sostenible al cuidado del entorno y al bienestar de la sociedad.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto de la calidad fisicoquímica, biológica y de metales del agua de la laguna Acucocha en el suministro de agua potable para consumo humano en la ciudad de Cerro de Pasco. La laguna constituye la principal fuente de captación para las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), por lo que su calidad influye directamente en la seguridad y eficiencia del servicio.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental de corte transversal y aplicando el método hipotético-deductivo. La muestra estuvo conformada por cuatro análisis de agua superficial recolectados en el punto de monitoreo LA-01 durante el periodo comprendido entre el 20 y 26 de agosto de 2024. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos (pH, dureza, cloruros, sulfatos y nitratos), biológicos (coliformes totales y fecales) y metales (hierro, aluminio, entre otros), cuyos resultados fueron comparados con los estándares establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM y el D.S. N.º 031-2010-SA.

Para el análisis de los datos se emplearon técnicas de estadística descriptiva e inferencial, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.87$, $p < 0.01$), el cual evidenció una relación significativa entre la calidad del agua de la laguna y la calidad del agua potable suministrada. Los resultados mostraron niveles de coliformes totales y fecales inferiores a 1.8 NMP/100 mL, indicando baja contaminación biológica. Asimismo, los parámetros fisicoquímicos se encontraron dentro de los límites permisibles, y los metales analizados no superaron los estándares normativos, evidenciando condiciones químicas estables del recurso hídrico.

Se concluye que la calidad fisicoquímica, biológica y de metales del agua de la laguna Acucocha es adecuada para su uso como fuente de abastecimiento, presentando un impacto significativo en la calidad del suministro de agua potable en la ciudad de Cerro de Pasco. No obstante, se recomienda implementar un monitoreo continuo y fortalecer la gestión del sistema de tratamiento y distribución para garantizar la sostenibilidad y seguridad del servicio.

Palabras Clave: Calidad del agua, Laguna Acucocha, Agua potable, Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, Tratamiento del agua

ABSTRACT

The present research aimed to evaluate the impact of the physicochemical, biological, and metal-related water quality of Lake Acucocha on the supply of drinking water for human consumption in the city of Cerro de Pasco. This lake represents the main water source for the Drinking Water Treatment Plants (DWTP), making its quality a key factor in the safety and efficiency of the service.

The study was conducted under a quantitative approach, using a non-experimental cross-sectional design and applying the hypothetical-deductive method. The sample consisted of four surface water analyses collected at the monitoring point LA-01 between August 20 and 26, 2024. Physicochemical parameters (pH, hardness, chlorides, sulfates, and nitrates), biological indicators (total and fecal coliforms), and metals (iron, aluminum, among others) were evaluated and compared with the standards established by Peruvian regulations (D.S. N° 004-2017-MINAM and D.S. N° 031-2010-SA).

Data analysis was performed using descriptive and inferential statistical methods, including the Pearson correlation coefficient ($r = 0.87$, $p < 0.01$), which demonstrated a significant relationship between raw water quality and the quality of treated drinking water. The results showed total and fecal coliform levels below 1.8 MPN/100 mL, indicating low biological contamination. Likewise, physicochemical parameters remained within permissible limits, and the analyzed metals did not exceed regulatory standards, reflecting stable chemical conditions of the water resource.

It is concluded that the physicochemical, biological, and metal quality of Lake Acucocha water is suitable for use as a drinking water source and has a significant impact on the quality of the water supply in Cerro de Pasco. However, continuous monitoring and improved management of treatment and distribution systems are recommended to ensure long-term sustainability and safety of the service.

Keywords: Water quality, Laguna Acucocha, Drinking water, Physicochemical and microbiological parameters, Water treatment.

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable de calidad constituye uno de los desafíos más relevantes en la gestión ambiental y la salud pública en el Perú, especialmente en regiones altoandinas donde las condiciones geográficas, climáticas y socioeconómicas limitan la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento. A nivel global, organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) advierten que, aun cuando los cuerpos de agua superficiales cumplen con los criterios normativos de calidad, pueden presentar riesgos latentes para los procesos de potabilización. Esto ocurre particularmente cuando existen concentraciones traza de metales u otros contaminantes que, sin exceder los límites permisibles, afectan la eficiencia operativa de las plantas de tratamiento, la integridad de la infraestructura hidráulica o la percepción de calidad por parte de los usuarios (OMS, 2022).

En este contexto, la laguna Acucocha, ubicada en el distrito de Simón Bolívar, región Pasco, constituye una fuente hídrica estratégica para el abastecimiento de agua potable en la ciudad de Cerro de Pasco. Este cuerpo de agua proporciona el caudal base para las principales Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) operadas por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Pasco S.A. (EMAPA Pasco S.A.), por lo que su calidad influye directamente en los procesos de captación, tratamiento y distribución del recurso hídrico. Monitoreos recientes han reportado que parámetros microbiológicos (coliformes), fisicoquímicos (dureza, cloruros, nitratos) y metales pesados (hierro, aluminio y manganeso) se encuentran dentro de los límites establecidos por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, lo cual sugiere una condición globalmente aceptable del agua superficial (Consorcio SGA – INGEMMET, 2023). No obstante, diversos estudios científicos señalan que la presencia sostenida de metales como el hierro y el aluminio, incluso en concentraciones inferiores a los estándares normativos, puede representar una limitación técnica en los procesos de potabilización y afectar la eficiencia de los sistemas de distribución (Westall & Espejo, 2021; OMS, 2022).

Esta problemática adquiere mayor relevancia si se considera que la región Pasco ha enfrentado históricamente deficiencias estructurales en el abastecimiento de agua potable, situación reconocida por el propio Estado peruano como un problema persistente de varias décadas (El Peruano, 2023). En este escenario, la implementación de proyectos orientados a mejorar la captación, ampliar redes de distribución y optimizar las plantas de tratamiento debe sustentarse en una evaluación integral de la calidad del agua cruda utilizada como fuente primaria. En particular, el comportamiento de metales como el aluminio, asociado a la generación de turbidez, y el hierro, relacionado con alteraciones organolépticas como sabor, coloración y formación de incrustaciones, requiere ser analizado desde una perspectiva de ingeniería ambiental preventiva. Ello debido a que su acumulación o interacción con los procesos de tratamiento puede comprometer la eficiencia operativa y la sostenibilidad del servicio de agua potable (OMS, 2022).

Frente a esta situación, se evidencia la necesidad de evaluar de manera integral el impacto de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la laguna Acucocha en la calidad del suministro de agua potable para consumo humano en la ciudad de Cerro de Pasco. Este análisis debe trascender el enfoque tradicional basado únicamente en el cumplimiento normativo, incorporando la evaluación de riesgos operacionales asociados a la presencia continua de determinados elementos químicos que, aun en concentraciones bajas, pueden afectar el desempeño de las tecnologías de tratamiento, deteriorar la infraestructura hidráulica o influir negativamente en la percepción de calidad del servicio por parte de la población. Asimismo, resulta pertinente considerar las implicancias de estos factores en la planificación del servicio, la eficiencia de los procesos de tratamiento y la resiliencia del sistema frente a eventos climáticos extremos.

En consecuencia, la presente investigación se orienta a validar la siguiente hipótesis general: la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la laguna Acucocha tiene un impacto significativo en la calidad del suministro de agua potable para consumo humano en la ciudad de Cerro de Pasco. Esta hipótesis se sustenta en el supuesto de que la relación entre la calidad del recurso hídrico en su estado natural y la calidad del agua distribuida está

determinada no solo por la eficiencia de las tecnologías de tratamiento, sino también por la naturaleza, concentración e interacción de los contaminantes presentes, incluso en niveles traza. La validación de esta hipótesis permitirá generar evidencia técnica que contribuya a la toma de decisiones en gestión ambiental, planificación de infraestructura y formulación de políticas públicas orientadas a garantizar la sostenibilidad del abastecimiento de agua potable en contextos altoandinos.

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

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.....	8
1.6.	Limitaciones de la investigación	11

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes del estudio	13
2.2.	Bases teóricas- científicas	16
2.3.	Definición de términos básicos	24

2.4.	Formulación de hipótesis.....	29
2.4.1.	Hipótesis de general	29
2.4.2.	Hipótesis específicas	29
2.5.	Identificación de las variables	29
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.	29

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.....	31
3.2.	Nivel de investigación.....	32
3.3.	Métodos de investigación	33
3.4.	Diseño de investigación.....	34
3.5.	Población y muestra.....	35
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	37
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	38
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	39
3.9.	Tratamiento estadístico	40
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	41

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	42
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.	45
4.3.	Prueba de hipótesis.....	50
4.4.	Discusión de resultados	53

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas Geográficas del punto de muestreo	5
Tabla 2	Matriz de operacionalización de las variables.....	30
Tabla 3	Información general de los informes de ensayo	44
Tabla 4	Parámetros analizados del cuerpo de agua de la Laguna Acucocha.....	45
Tabla 5	Estándares de Calidad Ambiental (ECA – Categoría 1-A).....	49
Tabla 6	Parámetros microbiológicos	51
Tabla 7	Parámetros fisicoquímicos	52
Tabla 8	Metales totales detectados.....	53
Tabla 9	Compuestos orgánicos (Trihalometanos)	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Punto de la captación de la Laguna Acucocha.....	5
Figura 2 Diagrama del Diseño de Investigación	35
Figura 3 Punto de muestreo de las aguas de la laguna Acucocha ubicado en las coordenadas UTM E: 333315 y N: 8807332	37
Figura 4 Laguna Acucocha, el punto amarillo indica el lugar del análisis realizado (punto LA- 01)	42
Figura 5 Monitoreo en las aguas de la laguna Acucocha	44
Figura 6 Parámetros de la calidad de agua de la laguna.....	47
Figura 7 Compuesto trihalometanos	47

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

La laguna Acucocha constituye una fuente hídrica estratégica para el abastecimiento de agua potable en la región Pasco, por lo que la calidad de sus aguas incide directamente en la seguridad y sostenibilidad del suministro para consumo humano. Monitoreos recientes realizados en este cuerpo de agua evidencian que los parámetros microbiológicos, fisicoquímicos y las concentraciones de metales pesados se mantienen dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa vigente, lo cual indica una condición globalmente adecuada del agua superficial (Consortio SGA – INGEMMET, 2023). Sin embargo, una calidad aparentemente aceptable no excluye la presencia de desafíos relevantes en los procesos de potabilización y distribución del recurso hídrico.

En este sentido, la presencia de metales como el hierro y el aluminio, aun en concentraciones bajas, puede generar interferencias en los procesos de tratamiento y en la infraestructura hidráulica. Diversos estudios señalan que el aluminio residual puede ocasionar problemas de turbidez y coloración en el agua tratada, mientras que el hierro en concentraciones superiores a 0.3 mg/L puede alterar las características organolépticas, como el sabor, y provocar la formación de incrustaciones o manchas en las redes de distribución, sin representar necesariamente un riesgo toxicológico

inmediato (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2022; Westall & Espejo, 2021). Estas condiciones, aunque no siempre visibles en el análisis normativo convencional, pueden afectar la eficiencia operativa de las plantas de tratamiento y la percepción de calidad por parte de los usuarios.

Esta problemática adquiere especial relevancia en el contexto de la ciudad de Cerro de Pasco, la cual ha enfrentado históricamente deficiencias estructurales en el servicio de agua potable. Dicha situación ha sido reconocida por el Estado peruano como un problema histórico, motivando la implementación de proyectos de gran envergadura orientados a mejorar la captación, el tratamiento y la distribución del recurso hídrico (El Peruano, 2023). En este escenario, resulta indispensable evaluar no solo el cumplimiento de los estándares normativos del agua cruda, sino también los efectos que determinadas características fisicoquímicas pueden generar en los procesos de potabilización y en la calidad final del agua distribuida.

En consecuencia, el problema de investigación se delimita en determinar de qué manera la calidad del agua de la laguna Acucocha, a pesar de ser clasificada como adecuada según las evaluaciones iniciales, influye en los procesos de tratamiento requeridos y en la garantía de un suministro de agua potable seguro y continuo para la población de Pasco. Este análisis resulta fundamental, considerando que la normativa nacional e internacional exige que el agua destinada al consumo humano cumpla con estrictos estándares microbiológicos y químicos (Ministerio de Salud del Perú [MINSA], 2021; OMS, 2022). En tal sentido, se hace necesario incorporar un enfoque preventivo que contemple los riesgos potenciales asociados a contaminantes presentes en niveles bajos, tales como la acumulación progresiva de metales o variaciones puntuales en su concentración, a fin de asegurar la calidad, sostenibilidad y confiabilidad del servicio de agua potable en contextos altoandinos.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación teórica.

El recurso hídrico constituye un elemento esencial para la supervivencia humana, al ser indispensable no solo para el consumo directo, sino también para el desarrollo de actividades sanitarias, alimentarias, domésticas e industriales. En este contexto, la calidad del agua destinada al abastecimiento urbano debe cumplir estrictos estándares fisicoquímicos y microbiológicos, con la finalidad de prevenir riesgos a la salud pública y garantizar la sostenibilidad del servicio.

La presente investigación se delimita teóricamente en el campo de la gestión ambiental del recurso hídrico, específicamente en la evaluación de la calidad del agua superficial y su influencia en los procesos de potabilización. Se centra en el análisis de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de metales pesados en la laguna Acucocha, considerando que los cuerpos de agua superficiales son altamente vulnerables a alteraciones derivadas de factores naturales y antrópicos.

Asimismo, el estudio se sustenta en enfoques relacionados con la gestión sostenible del agua potable, la ingeniería sanitaria y la prevención de riesgos ambientales, incorporando criterios normativos nacionales e internacionales sobre calidad del agua. En este sentido, se busca comprender la relación entre la calidad del agua cruda y su impacto en la eficiencia de los sistemas de tratamiento, así como en la seguridad del suministro para consumo humano.

1.2.2. Delimitación espacial.

La investigación se desarrolla en el ámbito geográfico de la ciudad de Cerro de Pasco, capital de la provincia y región Pasco, ubicada en la sierra central del Perú. Esta ciudad presenta condiciones particulares debido a su altitud extrema (superior a los 4,300 m s.n.m.), su proximidad a zonas de intensa actividad minera y su histórico déficit en el acceso a servicios adecuados de agua potable.

El estudio se focaliza específicamente en la laguna Acucocha, ubicada en el distrito de Simón Bolívar, la cual constituye una de las principales fuentes de captación

de agua para las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) que abastecen a la población urbana. En este sentido, el análisis de la calidad de esta fuente hídrica resulta estratégico para comprender su influencia en el sistema de abastecimiento y contribuir a la mejora de la gestión del recurso hídrico en la ciudad.

La información obtenida permitirá contextualizar el estado actual de la calidad del agua en Cerro de Pasco, generando evidencia técnica que respalde la toma de decisiones orientadas al fortalecimiento del servicio de agua potable en la región..

1.2.3. Delimitación temporal.

Tiempo:

La investigación se desarrolló durante un periodo de tres meses, comprendido entre los meses de abril y junio del presente año. Este intervalo temporal fue seleccionado con la finalidad de disponer de información actualizada sobre la calidad del agua de la laguna Acucocha, considerando además su representatividad dentro del ciclo hidrológico anual de la región altoandina.

Este periodo coincide con la transición entre la temporada de lluvias y el inicio de la época seca, lo cual permite evaluar posibles variaciones en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua asociadas a cambios estacionales. En consecuencia, la temporalidad del estudio facilita la obtención de un diagnóstico más integral de la calidad del recurso hídrico, permitiendo establecer una línea base que sirva como referencia para investigaciones futuras y para la formulación de estrategias de mejora en la gestión del abastecimiento de agua potable en la ciudad de Cerro de Pasco.

Figura 1 *Punto de la captación de la Laguna Acucocha*

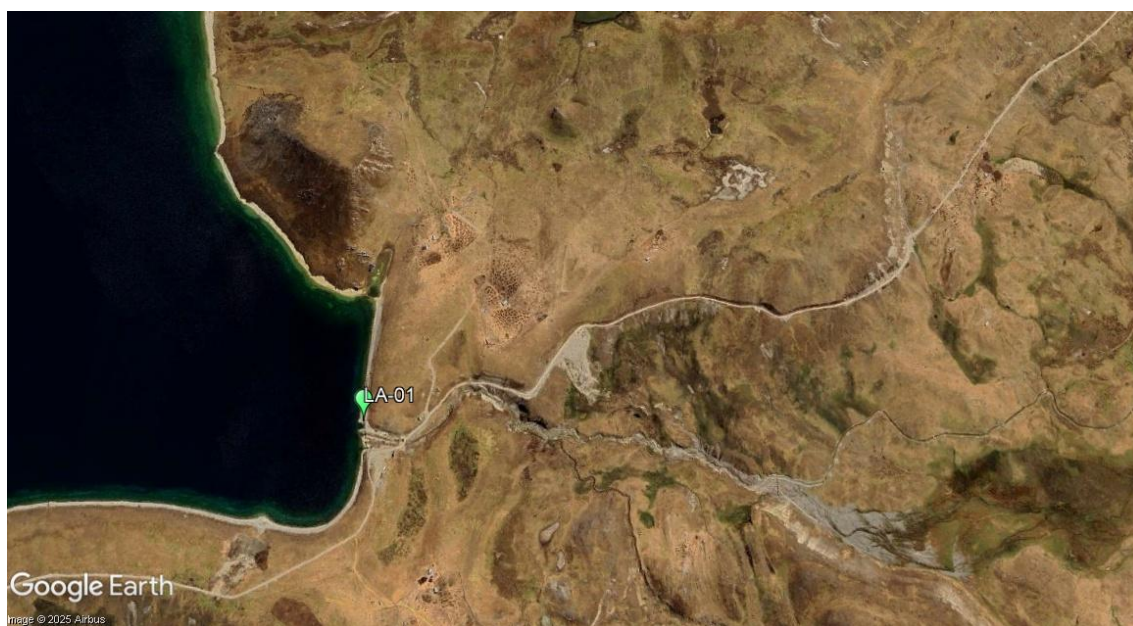


Tabla 1 *Coordenadas Geográficas del punto de muestreo*

COORDENADAS DEL PUNTO DE MUESTREO
NORTE: 8807332 m S
ESTE: 333315 m E
ALTITUD: 4522.13 m.s.n.m

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el impacto de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la laguna Acucocha en el suministro de agua potable para consumo humano en la ciudad de Cerro de Pasco?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el nivel de contaminación microbiológica del agua de la laguna Acucocha y en qué medida influye en la calidad del agua potable suministrada en Cerro de Pasco?
- ¿Cómo influye la composición fisicoquímica del agua de la laguna Acucocha en la eficiencia de los procesos de tratamiento y en la calidad del agua potable distribuida en Cerro de Pasco?

- ¿Cuál es la concentración de metales pesados y compuestos orgánicos, como los trihalometanos, en el agua de la laguna Acucocha, y cómo inciden en la seguridad y calidad del suministro de agua potable en Cerro de Pasco?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el impacto de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la laguna Acucocha en la calidad del suministro de agua potable para consumo humano en la ciudad de Cerro de Pasco.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el nivel de contaminación microbiológica del agua de la laguna Acucocha mediante la evaluación de coliformes totales, coliformes fecales y bacterias heterótrofas, y su influencia en la calidad del agua potable suministrada.
- Analizar la composición fisicoquímica del agua de la laguna Acucocha mediante la cuantificación de parámetros como dureza total, cloruros, sulfatos y nitratos, evaluando su incidencia en los procesos de tratamiento y en la calidad del agua potable.
- Evaluar la concentración de metales pesados y compuestos orgánicos, como los trihalometanos, en el agua de la laguna Acucocha, a fin de verificar su cumplimiento con los límites máximos permisibles y su impacto en la seguridad del suministro de agua potable.

Importancia y alcances de la investigación

La presente investigación adquiere gran relevancia al analizar la calidad del agua de la laguna Acucocha, fuente hídrica estratégica para el abastecimiento de agua potable en la ciudad de Cerro de Pasco, región que históricamente ha enfrentado limitaciones en el acceso y calidad del recurso hídrico. La evaluación integral de los

parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de metales pesados permite identificar riesgos potenciales que podrían afectar los procesos de tratamiento y distribución del agua para consumo humano, incluso cuando dichos parámetros se encuentren dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa vigente.

En este contexto, el agua constituye un recurso vital e insustituible para la salud pública y el desarrollo sostenible de las comunidades, tal como lo señalan organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud, que enfatizan la necesidad de garantizar su calidad a lo largo de toda la cadena de abastecimiento (OMS, 2023). En el caso de Cerro de Pasco, la población depende en gran medida de fuentes altoandinas como la laguna Acucocha, lo que convierte a este ecosistema en un elemento clave para la seguridad hídrica de la ciudad.

Asimismo, estudios recientes han reportado la presencia de alteraciones en la calidad del agua de la laguna, incluyendo concentraciones de metales pesados que, en determinados contextos, podrían superar los límites permisibles establecidos por estándares nacionales e internacionales, evidenciando posibles riesgos para la sostenibilidad del suministro (Collyns, 2024). Estas condiciones refuerzan la necesidad de realizar evaluaciones técnicas que no solo verifiquen el cumplimiento normativo, sino que también analicen el comportamiento de los contaminantes en relación con los procesos de potabilización y la calidad final del agua distribuida.

En cuanto a los alcances de la investigación, el estudio se delimita geográficamente al entorno de la laguna Acucocha y su área de influencia directa en el sistema de abastecimiento de la ciudad de Cerro de Pasco. Desde el punto de vista temático, se centra en el análisis de la calidad del agua durante un periodo de tres meses, considerando parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de metales pesados, así como su impacto en el suministro de agua potable. No obstante, la investigación no aborda aspectos financieros, operacionales ni institucionales del servicio de agua potable, limitándose al análisis técnico-ambiental del recurso hídrico.

En consecuencia, los resultados de este estudio contribuirán a generar evidencia científica para la toma de decisiones en materia de gestión ambiental, optimización de procesos de tratamiento y formulación de políticas públicas orientadas a garantizar la calidad y sostenibilidad del abastecimiento de agua potable en contextos altoandinos como el de Cerro de Pasco.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación teórica

Desde una perspectiva teórica, la presente investigación contribuye al fortalecimiento del conocimiento científico sobre la interacción entre las fuentes de agua superficial altoandinas y la seguridad hídrica en sistemas urbanos. A través del análisis de variables como la concentración de metales pesados, nitratos, cloruros y microorganismos indicadores, se generan evidencias empíricas que permiten comprender cómo las características del agua cruda influyen en la calidad del agua potable distribuida.

El estudio se sustenta en marcos conceptuales y normativos reconocidos internacionalmente, como las directrices de calidad del agua para consumo humano de la Organización Mundial de la Salud (2022), aportando al campo de la ingeniería sanitaria, la salud ambiental y la gestión sostenible de los recursos hídricos. Asimismo, amplía el enfoque tradicional basado únicamente en el cumplimiento normativo, incorporando el análisis de riesgos asociados a contaminantes en concentraciones traza.

1.5.2. Justificación práctica

En el ámbito práctico, la investigación proporciona información técnica relevante para las autoridades locales, empresas prestadoras de servicios de saneamiento y entidades responsables de la gestión del recurso hídrico. Los resultados permiten identificar posibles limitaciones en los procesos de tratamiento de agua potable, derivadas de la presencia de compuestos fisicoquímicos y microbiológicos en la fuente de captación.

De igual manera, el estudio facilita la optimización de los procesos de potabilización, la implementación de medidas preventivas y la formulación de planes de contingencia frente a eventuales alteraciones en la calidad del agua. Los datos generados también pueden ser utilizados como línea base para futuras investigaciones, auditorías técnicas y procesos de mejora continua en la gestión del servicio de agua potable.

1.5.3. Justificación ambiental

Desde el enfoque ambiental, la investigación promueve la conservación y el uso sostenible de la laguna Acucocha como fuente hídrica estratégica. El estudio permite identificar parámetros críticos que evidencian la vulnerabilidad de los ecosistemas acuáticos altoandinos frente a presiones antrópicas, como la actividad minera, así como a factores asociados al cambio climático.

En este sentido, los resultados contribuyen a reforzar la necesidad de implementar programas de monitoreo permanente, protección de cuencas hidrográficas y aplicación del enfoque preventivo en la gestión ambiental. Asimismo, se fomenta la adopción de estrategias orientadas a la preservación de la calidad del agua, garantizando su disponibilidad para las generaciones futuras.

1.5.4. Justificación social

Desde la perspectiva social, la investigación responde a una problemática que afecta directamente a la población de la ciudad de Cerro de Pasco, donde el acceso a agua potable de calidad constituye una necesidad fundamental y un derecho humano básico. La evaluación de la calidad del agua permite identificar riesgos potenciales que podrían comprometer la salud pública, especialmente en contextos donde la población depende de fuentes naturales vulnerables.

Además, el estudio fortalece la capacidad de la sociedad civil y de las instituciones locales para tomar decisiones informadas, exigir servicios adecuados y promover una cultura de vigilancia ambiental. Asimismo, contribuye al cumplimiento

del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6: Agua limpia y saneamiento, orientado a garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua para todos.

1.5.5. Justificación económica

Desde el punto de vista económico, la investigación permite identificar factores que pueden generar costos adicionales en los procesos de tratamiento y distribución del agua potable, tales como la presencia de metales o compuestos que incrementan la demanda de insumos químicos, mantenimiento de infraestructura o rehabilitación de redes.

La generación de información técnica confiable contribuye a optimizar la asignación de recursos económicos en proyectos de saneamiento, evitando gastos innecesarios y promoviendo inversiones eficientes en infraestructura hídrica. Asimismo, la prevención de problemas en la calidad del agua reduce costos asociados a la atención de enfermedades de origen hídrico y mejora la productividad de la población.

1.5.6. Justificación metodológica

Desde el enfoque metodológico, la investigación se justifica por la aplicación de un diseño cuantitativo de tipo correlacional, que permite analizar la relación entre la calidad del agua de la laguna Acucocha y la calidad del agua potable suministrada. El uso de herramientas estadísticas, como el coeficiente de correlación de Pearson y la prueba t de Student, garantiza la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Asimismo, la implementación de procedimientos estandarizados de muestreo y análisis de laboratorio asegura la calidad de los datos, permitiendo replicar el estudio en otros contextos similares. En este sentido, la investigación aporta un modelo metodológico aplicable a la evaluación de fuentes hídricas en regiones altoandinas, fortaleciendo el desarrollo de estudios comparativos y la generación de evidencia científica en el ámbito ambiental.

1.6. Limitaciones de la investigación

La presente investigación presentó diversas limitaciones que condicionaron el alcance y profundidad del análisis realizado. En primer lugar, se evidenciaron restricciones en el acceso a información institucional actualizada, particularmente a los reportes internos de monitoreo y control de calidad del agua elaborados por la empresa prestadora de servicios EMAPA Pasco S.A. Esta situación limitó la posibilidad de contrastar los resultados obtenidos en el estudio con datos oficiales, reduciendo la capacidad de validación externa de los hallazgos.

Asimismo, la ausencia de acceso a registros sistemáticos y bases de datos consolidadas sobre la calidad del agua impidió desarrollar un análisis comparativo de carácter longitudinal. Esta limitación restringió la evaluación de la evolución temporal de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la laguna Acucocha, así como su relación dinámica con la calidad del suministro de agua potable en la ciudad de Cerro de Pasco.

Por otro lado, se identificó una limitada disponibilidad de literatura científica y técnica especializada que aborde de manera específica y actualizada el impacto de la calidad del agua de la laguna Acucocha en el sistema de abastecimiento urbano. En consecuencia, el marco referencial del estudio se sustentó principalmente en fuentes generales, normativas y estudios indirectamente relacionados, lo que restringe la profundidad contextual del análisis.

Finalmente, las limitaciones económicas constituyeron un factor determinante en el desarrollo de la investigación. El presupuesto disponible no permitió acceder a laboratorios de mayor nivel de especialización, adquirir equipamiento analítico adicional ni incrementar la frecuencia y cobertura del muestreo. Esto restringió la posibilidad de realizar un monitoreo más exhaustivo y continuo, así como de incluir un mayor número de parámetros y puntos de evaluación, lo que hubiera permitido obtener resultados con mayor nivel de detalle y precisión.

En conjunto, estas limitaciones no invalidan los resultados obtenidos; sin embargo, deben ser consideradas en la interpretación de los hallazgos y en la formulación de conclusiones, así como en el planteamiento de futuras investigaciones orientadas a profundizar el estudio de la calidad del agua en la laguna Acucocha y su impacto en el abastecimiento de agua potable.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Stumpp et al. (2024), en su estudio titulado “Dinámica hidrológica de las fuentes de agua de una laguna mediterránea”, analizaron la variabilidad espacial y temporal de las fuentes de agua en la laguna Köycegiz-Dalyan, ubicada en Turquía. El objetivo fue cuantificar la contribución de aguas superficiales, subterráneas y marinas mediante el uso de trazadores ambientales como isótopos estables, concentración de cloruros y salinidad. La metodología incluyó mediciones en estaciones húmedas y secas, así como análisis de mezcla de tres componentes. Los resultados evidenciaron que durante la estación húmeda predominó el aporte de agua dulce (>95%), mientras que en la estación seca se observó intrusión salina en zonas profundas, generando estratificación vertical. El estudio concluye que los sistemas lagunares presentan alta dinámica e interacción entre fuentes, lo cual influye directamente en la calidad del agua y su aptitud para distintos usos, incluyendo el abastecimiento humano.

Adelekan & Ogunde (2022), en la investigación “Calidad del agua de los pozos excavados y de la laguna de Lagos, Nigeria, y riesgos sanitarios asociados”, evaluaron la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua en fuentes superficiales y

subterráneas. Se analizaron parámetros como pH, dureza, cloruros, nitratos, metales pesados y microorganismos indicadores. Los resultados mostraron que, si bien la mayoría de parámetros cumplía con los estándares de la Organización Mundial de la Salud, se detectaron microorganismos patógenos y desviaciones en el pH, lo que evidencia riesgos sanitarios potenciales. El estudio concluye que el cumplimiento normativo no siempre garantiza la seguridad del agua, recomendando fortalecer los sistemas de monitoreo y control.

Elmahdy et al. (2021), en su estudio “Distribución espacial de virus entéricos y colifagos en una laguna utilizada como fuente de agua potable en Brasil”, evaluaron la presencia de virus patógenos en agua y sedimentos mediante técnicas moleculares (qPCR). Los resultados mostraron alta prevalencia de adenovirus (64% en agua) y otros virus entéricos, evidenciando contaminación fecal persistente. Se concluye que los sedimentos actúan como reservorios de patógenos, pudiendo generar recontaminación del agua captada para tratamiento, lo cual representa un riesgo significativo para la salud pública.

Rodellas et al. (2018), en la investigación “Aportes de nutrientes por aguas subterráneas a lagunas costeras”, analizaron el transporte de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en la laguna de La Palme (Francia). Mediante balances de masa y trazadores como el radón, determinaron que la recirculación del agua a través de sedimentos constituye la principal fuente de nutrientes disueltos. El estudio resalta la importancia de comprender los procesos hidrológicos y geoquímicos en lagunas, ya que influyen en fenómenos como la eutrofización y, por ende, en la calidad del agua.

2.1.2. Antecedentes nacionales

La SUNASS (2023), en el Estudio Tarifario de EMAPA Pasco S.A. (2025–2027), analizó la sostenibilidad técnica y económica del servicio de agua potable en Cerro de Pasco. El estudio identificó problemas estructurales como deficiencias en infraestructura, baja continuidad del servicio y limitaciones en el control de calidad del agua. Se proyectó una inversión de S/ 2,903,898 orientada a mejorar la gestión,

incluyendo monitoreo de calidad en fuentes como la laguna Acucocha. Se concluye que la sostenibilidad del servicio requiere fortalecer la gestión institucional y asegurar inversiones en control de calidad, evidenciando la importancia de estudios técnicos sobre fuentes hídricas.

Huamán et al. (2020) evaluaron la calidad del agua de la laguna Marvilla en los Pantanos de Villa (Lima), utilizando los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Agua) y el Índice de Calidad del Agua del Perú (ICA-PE). Los resultados evidenciaron que varios parámetros (nitratos, fósforo, DBO y coliformes) superaban los límites permisibles, clasificando el agua como de calidad “regular” (ICA-PE = 46.3). El estudio demuestra que los ecosistemas acuáticos urbanos son vulnerables a la contaminación y requieren monitoreo constante para garantizar su uso seguro.

2.1.3. Antecedentes locales

Quiquia (2020), en su tesis sobre la calidad del agua de la laguna Acucocha, evaluó parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en relación con el D.S. N.º 031-2010-SA y los ECA-Agua. Los resultados evidenciaron un pH promedio de 9.02 y presencia de coliformes fecales (hasta 9.2 NMP/100 mL), superando los límites permisibles. Se concluye que el agua no es apta para consumo directo, recomendando la implementación de sistemas de tratamiento y monitoreo continuo.

Silvestre (2024), en su estudio sobre el balance hídrico de la laguna Acucocha, determinó que la oferta hídrica anual (12.35 millones m³) supera ampliamente la demanda poblacional (4.79 millones m³), generando un superávit. No obstante, advierte la necesidad de gestionar el recurso de manera sostenible frente a factores como el cambio climático y la actividad minera.

El Gobierno Regional de Pasco (2017), mediante el estudio de disponibilidad hídrica de la laguna Acucocha, determinó una oferta anual de 20.18 MMC y una disponibilidad regulable de 12.43 MMC, frente a una demanda de 3.78 MMC, evidenciando un superávit hídrico. Este estudio confirma que la laguna puede

abastecer a Cerro de Pasco; sin embargo, enfatiza la necesidad de infraestructura adecuada y gestión eficiente del recurso.

2.2. Bases teóricas- científicas

2.2.1. Recurso hídrico

El recurso hídrico se define como el conjunto de aguas superficiales y subterráneas disponibles en un territorio, cuya disponibilidad y calidad son fundamentales para el desarrollo de actividades humanas, económicas y ambientales. Este recurso constituye un elemento esencial para la vida, ya que garantiza el abastecimiento de agua potable, la producción de alimentos, la generación de energía y el mantenimiento de los ecosistemas.

En el contexto de regiones altoandinas como el Perú, las lagunas representan importantes reservas naturales de agua dulce, desempeñando un rol estratégico en la regulación hídrica de las cuencas. Según la Autoridad Nacional del Agua, las lagunas de origen glaciar funcionan como sistemas de almacenamiento natural que permiten captar agua durante la temporada de lluvias y liberarla progresivamente en épocas de estiaje, contribuyendo al abastecimiento para consumo humano, agricultura y generación energética (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2020).

Asimismo, estos cuerpos de agua presentan una dinámica compleja influenciada por factores climáticos, hidrológicos y geomorfológicos, tales como el retroceso glaciar, la precipitación y la interacción con aguas subterráneas. En este sentido, la adecuada gestión del recurso hídrico implica no solo garantizar su disponibilidad en cantidad, sino también preservar su calidad, considerando que alteraciones fisicoquímicas o microbiológicas pueden comprometer su uso para consumo humano.

Por otro lado, el recurso hídrico en zonas altoandinas se encuentra expuesto a múltiples presiones, entre las que destacan la actividad minera, el crecimiento urbano y los efectos del cambio climático. Estas condiciones pueden generar

variaciones en la calidad del agua, afectando directamente los sistemas de abastecimiento de agua potable.

En consecuencia, la gestión sostenible del recurso hídrico requiere un enfoque integral que contemple la protección de las fuentes naturales, el monitoreo permanente de la calidad del agua y la implementación de estrategias que aseguren su uso eficiente y equitativo. En el caso de la laguna Acucocha, su importancia radica en ser una fuente principal de abastecimiento para la ciudad de Cerro de Pasco, lo que hace imprescindible evaluar su calidad y su influencia en el suministro de agua potable.

2.2.2. Lagunas

El Perú es considerado un país megadiverso debido a su compleja geografía y abundancia de recursos naturales, entre los cuales destacan los lagos y lagunas como importantes reservas de agua. Estos cuerpos de agua ya sean de origen dulce o salobre, cumplen un rol fundamental en el sostenimiento de la biodiversidad, el desarrollo de actividades humanas y el equilibrio de los ecosistemas. No obstante, a pesar de su relevancia, muchas lagunas no son adecuadamente comprendidas ni gestionadas, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a presiones de origen natural y antrópico. En este contexto, el conocimiento de sus características ecológicas, su clasificación y las amenazas que enfrentan resulta esencial para su conservación y aprovechamiento sostenible.

Las lagunas constituyen ecosistemas estratégicos que desempeñan múltiples funciones ecológicas de gran importancia. Entre ellas, destaca la regulación del ciclo hidrológico, ya que permiten almacenar agua durante la temporada de lluvias y liberarla de manera gradual en periodos de estiaje, garantizando así la disponibilidad hídrica en las cuencas. Asimismo, cumplen un rol relevante en la filtración natural de contaminantes mediante procesos físicos, químicos y biológicos, especialmente en aquellos sistemas que presentan vegetación acuática. De igual manera, son hábitats de una diversidad biológica significativa, albergando especies endémicas adaptadas

a condiciones específicas, como anfibios, aves altoandinas y peces nativos. Además, actúan como sumideros de carbono al almacenar materia orgánica en sus sedimentos, contribuyendo a la mitigación del cambio climático. Finalmente, las lagunas favorecen la recarga de acuíferos mediante procesos de infiltración, manteniendo la conectividad hidrológica entre sistemas superficiales y subterráneos.

En el territorio peruano, las lagunas pueden clasificarse de acuerdo con su origen geológico y su ubicación geográfica. Las lagunas glaciares, formadas por el retroceso de los glaciares, son características de las zonas altoandinas y presentan alta sensibilidad frente al cambio climático. Las lagunas tectónicas, como el lago Titicaca, se originan por movimientos de placas y constituyen grandes cuerpos de agua de relevancia internacional. Por su parte, las lagunas volcánicas se ubican en cráteres y presentan características fisicoquímicas particulares. También existen lagunas costero-marinas, vinculadas a humedales, que combinan aguas subterráneas con influencia marina, así como lagunas artificiales generadas por la intervención humana para fines de almacenamiento hídrico o recreación. Esta diversidad refleja la complejidad de los sistemas lagunares y su importancia en distintos contextos ecológicos y sociales.

Sin embargo, estos ecosistemas enfrentan diversas amenazas que comprometen su integridad y funcionalidad. Entre las principales se encuentra la contaminación, originada por la descarga de aguas residuales domésticas sin tratamiento, actividades industriales y mineras que liberan metales pesados, así como el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura. Asimismo, el cambio climático representa un factor crítico, ya que contribuye a la reducción de la recarga hídrica debido al retroceso glaciar, incrementa la evaporación en cuerpos de agua someros y altera las condiciones térmicas que afectan la biodiversidad. A ello se suma el turismo no sostenible, que genera residuos sólidos y deterioro de la vegetación ribereña, así como la intervención humana directa mediante represamientos, drenajes, desvío de afluentes y expansión urbana sobre humedales.

En este sentido, la calidad del agua en las lagunas destinadas al abastecimiento para consumo humano adquiere especial relevancia. Dicha calidad se evalúa mediante parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Los parámetros físicos incluyen características como el color, olor, sabor y turbidez; los químicos comprenden el pH, la concentración de nutrientes y la presencia de metales pesados; mientras que los microbiológicos permiten identificar la presencia de microorganismos patógenos, como bacterias, virus y parásitos. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, el agua destinada al consumo humano debe cumplir con estándares que garanticen la ausencia de riesgos para la salud, lo cual implica el control riguroso de contaminantes en todas las etapas del sistema de abastecimiento (OMS, 2022).

En consecuencia, las lagunas no solo deben ser consideradas como reservas de agua, sino como sistemas ecológicos complejos cuya calidad determina la seguridad del abastecimiento hídrico. En el caso de la laguna Acucocha, su importancia radica en ser una fuente principal para el suministro de agua potable en la ciudad de Cerro de Pasco, lo que hace imprescindible evaluar sus características y su influencia en la calidad del agua distribuida a la población.

2.2.3. Calidad del agua

La calidad del agua se define como el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que determinan su aptitud para un uso específico, especialmente para el consumo humano. Este concepto no solo implica la ausencia de contaminantes, sino también el cumplimiento de estándares que garanticen la protección de la salud pública y la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos.

Según la Organización Mundial de la Salud, el agua potable debe estar libre de microorganismos patógenos, sustancias químicas peligrosas y características organolépticas que puedan afectar su aceptabilidad, como el olor, color y sabor (OMS, 2022). En este sentido, la calidad del agua es un factor determinante en la prevención de enfermedades de origen hídrico, tales como infecciones gastrointestinales, parasitarias y virales.

A nivel nacional, el Ministerio del Ambiente establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua mediante el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, el cual define los límites permisibles para diferentes categorías de uso, incluyendo el abastecimiento para consumo humano. Asimismo, el Ministerio de Salud del Perú regula la calidad del agua potable a través del D.S. N.º 031-2010-SA, donde se establecen los parámetros microbiológicos, físicos y químicos que deben cumplirse para garantizar la inocuidad del agua destinada al consumo humano.

La calidad del agua se evalúa a partir de tres grandes componentes:

A. Calidad fisicoquímica

Comprende parámetros como el pH, la conductividad eléctrica, la dureza total, cloruros, sulfatos y nitratos, los cuales influyen en la composición química del agua. Estos indicadores permiten identificar procesos de contaminación natural o antrópica, tales como descargas domésticas, actividad minera o lixiviación de suelos. Valores fuera de los rangos establecidos pueden afectar tanto la salud humana como la eficiencia de los procesos de tratamiento (MINAM, 2017).

B. Calidad microbiológica

Incluye la evaluación de microorganismos indicadores de contaminación fecal, como coliformes totales, coliformes fecales (*Escherichia coli*) y bacterias heterótrofas. La presencia de estos organismos representa un riesgo sanitario significativo, ya que puede estar asociada a patógenos responsables de enfermedades infecciosas (OMS, 2022).

C. Calidad química (metales y compuestos orgánicos)

Se refiere a la presencia de sustancias químicas potencialmente tóxicas, como metales pesados (hierro, aluminio, plomo, cadmio) y compuestos orgánicos como los trihalometanos. Aunque algunos metales no representan un riesgo inmediato a bajas concentraciones, pueden afectar las características organolépticas del agua y generar problemas en la infraestructura de distribución.

Por su parte, los trihalometanos son subproductos de la desinfección que pueden tener efectos adversos en la salud si se encuentran en concentraciones elevadas (OMS, 2022).

En el contexto de fuentes superficiales altoandinas, como las lagunas, la calidad del agua está influenciada por factores naturales como la geología, el clima y el retroceso glaciar, así como por factores antrópicos como la actividad minera y el crecimiento urbano. Estas condiciones generan variabilidad en los parámetros de calidad, lo que hace necesario implementar sistemas de monitoreo continuo y estrategias de gestión preventiva.

En consecuencia, la calidad del agua no debe evaluarse únicamente en función del cumplimiento de los límites normativos, sino también considerando su impacto en los procesos de potabilización, la eficiencia del sistema de distribución y la percepción del usuario final. Este enfoque integral es fundamental para garantizar un suministro de agua potable seguro, continuo y sostenible, especialmente en ciudades altoandinas como Cerro de Pasco.

2.2.4. Normativa que regula los estándares de calidad para consumo humano en el Perú

En el Perú, la calidad del agua destinada al consumo humano se encuentra regulada por un conjunto de normas técnicas y legales orientadas a garantizar la inocuidad del recurso hídrico y la protección de la salud pública. En este marco, el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA, que aprueba el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, establece las disposiciones generales para el control, vigilancia y aseguramiento de la calidad del agua en todo el sistema de abastecimiento, desde la fuente hasta el usuario final. Esta normativa es de cumplimiento obligatorio para todas las entidades responsables de la gestión, administración, operación y mantenimiento del servicio de agua potable, incluyendo empresas prestadoras de servicios, municipalidades y otras instituciones vinculadas al sector saneamiento (Ministerio de Salud [MINSA], 2010).

Asimismo, el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, define los valores máximos permisibles de diversos parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los cuerpos de agua naturales, en función de su uso. Esta normativa tiene como objetivo prevenir impactos negativos sobre la salud humana y los ecosistemas, sirviendo como referencia para la evaluación de la calidad del agua en fuentes superficiales como ríos, lagos y lagunas (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017). En conjunto, ambas normativas constituyen el marco regulatorio fundamental para el control de la calidad del agua en el país.

2.2.5. Procedimientos de monitoreo de la calidad del agua para consumo humano

El monitoreo de la calidad del agua es una actividad esencial para asegurar su aptitud para el consumo humano y prevenir riesgos sanitarios. En el Perú, el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, elaborado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), establece los lineamientos técnicos para la planificación, ejecución y evaluación de actividades de monitoreo en cuerpos de agua como ríos, lagos y lagunas. Este protocolo busca estandarizar los procedimientos, reducir errores en la toma de muestras y análisis, y garantizar la generación de información confiable para la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016).

Por su parte, el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano establece que el control de la calidad del agua debe ser realizado de manera permanente por el proveedor del servicio, mediante la evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos a lo largo del sistema de abastecimiento. Este proceso incluye la identificación de factores de riesgo, la implementación de medidas correctivas y la verificación del cumplimiento de los límites establecidos por la normativa vigente (MINSA, 2010). De esta manera, el monitoreo continuo se convierte en una herramienta clave para garantizar la seguridad del agua potable.

2.2.6. Efectos en la salud humana por consumo de metales pesados

La presencia de metales pesados en el agua destinada al consumo humano constituye un problema de gran relevancia para la salud pública, debido a su carácter tóxico y su capacidad de bioacumulación en el organismo. Entre los metales más preocupantes se encuentran el plomo, arsénico, cadmio y mercurio, los cuales pueden generar efectos adversos incluso en concentraciones relativamente bajas.

El plomo, por ejemplo, es un metal altamente tóxico cuya exposición puede causar anemia, hipertensión arterial, daño renal y alteraciones neurológicas, especialmente en niños, donde afecta el desarrollo cognitivo (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2010). Por su parte, el arsénico es un contaminante ampliamente reconocido por sus efectos carcinogénicos, estando asociado a lesiones cutáneas, enfermedades cardiovasculares y diversos tipos de cáncer tras exposiciones prolongadas (OMS, 2018).

En el caso del cadmio, este metal se acumula principalmente en los riñones, generando daño renal, desmineralización ósea y osteoporosis, además de efectos teratogénicos en exposiciones prolongadas (OMS, 1992). Asimismo, el mercurio afecta el sistema nervioso central, produciendo síntomas como temblores, alteraciones cognitivas, insomnio y problemas motores (OMS, 2008).

La exposición a estos metales pesados ocurre principalmente a través del consumo de agua contaminada, lo que resalta la importancia de un monitoreo constante y riguroso de la calidad del agua para prevenir riesgos a la salud humana.

2.2.7. Efectos en la salud humana por actividad microbiana en el agua

El agua contaminada con microorganismos patógenos representa una de las principales causas de enfermedades infecciosas a nivel mundial. La Organización Mundial de la Salud señala que el consumo de agua no segura puede facilitar la transmisión de enfermedades de origen hídrico, afectando principalmente a poblaciones vulnerables (OMS, 2017).

Entre las enfermedades más comunes se encuentran las enfermedades diarreicas, causadas por bacterias como *Escherichia coli* y *Vibrio cholerae*, virus como el rotavirus y parásitos como *Giardia lamblia*. Estas infecciones pueden provocar deshidratación severa y, en casos extremos, la muerte (OMS, 2017). Asimismo, la fiebre tifoidea, causada por *Salmonella typhi*, se transmite a través del consumo de agua contaminada y afecta el sistema digestivo, generando fiebre alta y complicaciones sistémicas.

De igual manera, la hepatitis A es una enfermedad viral que se propaga mediante el consumo de agua contaminada, provocando inflamación hepática y alteraciones en el funcionamiento del hígado. En este contexto, la presencia de coliformes fecales, especialmente *Escherichia coli*, es utilizada como indicador de contaminación fecal, lo que sugiere la posible presencia de otros microorganismos patógenos.

En consecuencia, el monitoreo microbiológico del agua es fundamental para garantizar su inocuidad, permitiendo identificar oportunamente riesgos sanitarios y aplicar medidas correctivas que aseguren la calidad del agua destinada al consumo humano.

2.3. Definición de términos básicos

A. Agua no facturada (ANF)

Volumen de agua producida que no genera ingresos para la empresa prestadora debido a pérdidas físicas (fugas en redes) o pérdidas aparentes (fraude, conexiones ilegales, errores de medición). Es un indicador clave de eficiencia operativa (SUNASS, 2023).

B. Calidad del agua

Conjunto de características físicas, químicas, biológicas y radiológicas que determinan la aptitud del agua para un uso específico, ya sea consumo humano, riego o uso industrial (OMS, 2022; MINSA, 2021).

C. Coliformes fecales

Grupo de bacterias presentes en el tracto intestinal de animales de sangre caliente. Su detección en el agua constituye un indicador de contaminación fecal y de riesgo sanitario (MINSA, 2021; OMS, 2022).

D. Contaminación microbiológica del agua

Presencia de microorganismos patógenos —bacterias, virus, protozoos— que pueden causar enfermedades transmitidas por el agua. Es un componente central del análisis de riesgo sanitario (ANA, 2016; OMS, 2022).

E. Enfermedades transmitidas por el agua

Afecciones producidas por la ingesta o contacto con agua contaminada. Incluyen amebiasis, cólera, hepatitis A, salmonelosis y gastroenteritis viral, con gran impacto en salud pública (OMS, 2022).

F. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

Valores límite establecidos por el Estado peruano para proteger la salud humana, la vida acuática y los cuerpos de agua. Regulan concentraciones máximas de sustancias químicas, metales y microorganismos (MINAM, 2017).

G. Hepatitis A

Enfermedad infecciosa causada por el virus de la hepatitis A, transmitida principalmente por agua o alimentos contaminados. Produce ictericia, fatiga, náuseas y malestar general (OMS, 2022).

H. Metales pesados

Elementos de alta densidad atómica con propiedades tóxicas en bajas concentraciones. Destacan plomo, mercurio, arsénico y cadmio, conocidos por su persistencia ambiental y capacidad de bioacumulación (OMS, 2022).

I. Monitoreo de la calidad del agua

Proceso sistemático de medición, recolección y análisis de datos sobre parámetros físicos, químicos y biológicos, con el fin de verificar el cumplimiento de estándares de calidad y proteger la salud pública (ANA, 2016; MINAM, 2017).

J. Normativa de calidad del agua en el Perú

Conjunto de leyes, decretos y parámetros técnicos emitidos por el MINSA, MINAM y ANA, orientados a garantizar que el agua destinada al consumo humano cumpla estándares de seguridad y potabilidad (MINSA, 2021; MINAM, 2017).

K. Parámetros físicos del agua

Indicadores medibles que describen propiedades sensoriales y físicas, como turbidez, temperatura, color, olor y sabor, los cuales influyen en la aceptabilidad y apariencia del agua (ANA, 2016).

L. Parámetros químicos del agua

Incluyen pH, alcalinidad, dureza, sólidos totales disueltos (TDS), oxígeno disuelto y presencia de sustancias químicas como metales pesados. Determinan la potabilidad y estabilidad fisicoquímica del agua (OMS, 2022; MINSA, 2021).

M. Parámetros microbiológicos del agua

Evaluaciones de microorganismos indicadores como coliformes totales, coliformes fecales y E. coli, que determinan el nivel de contaminación biológica y el riesgo sanitario (OMS, 2022).

N. Partes por millón (ppm)

Es una unidad de medida utilizada para expresar la concentración muy baja de una sustancia en un medio determinado. En soluciones acuosas, 1 ppm corresponde aproximadamente a 1 miligramo de sustancia por litro de agua (mg/L), asumiendo una densidad cercana a 1 g/mL. Esta unidad indica cuántas partes en masa de un componente se encuentran presentes por cada un millón de partes de la mezcla, y se emplea ampliamente en análisis de calidad de agua, suelos y contaminación ambiental (EPA, 2022; OMS, 2022).

O. Purificación

Proceso de tratamiento fisicoquímico mediante el cual se remueven contaminantes orgánicos e inorgánicos, patógenos y sustancias indeseables

presentes en el agua, con el fin de hacerla apta para un uso específico, principalmente consumo humano (OMS, 2022).

P. Residual

Cantidad de una sustancia que permanece en el agua después de un proceso de tratamiento. Puede ser indeseado, como un remanente de dureza o impurezas no removidas, o intencional, como el cloro residual libre necesario para mantener la desinfección en redes de distribución (EPA, 2022).

Q. Sedimentación

Proceso por el cual partículas sólidas suspendidas en el agua se asientan por acción de la gravedad, formando sedimentos. Este proceso es fundamental en el tratamiento primario del agua y aguas residuales (ANA, 2016).

R. Sólidos disueltos totales (TDS)

Cantidad de materia inorgánica y orgánica soluble que queda como residuo después de evaporar y secar una muestra filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio de 1.5 μm , a 105 °C. Incluye sales, minerales y metales disueltos (APHA, 2017).

S. Sólidos suspendidos totales (SST)

Material constituido por partículas sedimentables, suspendidas y coloidales que quedan retenidas en un filtro de fibra de vidrio de 1.5 μm , secadas posteriormente a 105 °C. Es un indicador de turbidez y calidad del agua (APHA, 2017).

T. Sólidos totales (ST)

Cantidad de residuos, disueltos y suspendidos, que permanece en una cápsula tras evaporar y secar completamente una muestra de agua a 105 °C (APHA, 2017).

U. Sólidos totales volátiles (STV)

Fracción de sólidos totales que se volatiliza cuando se somete a calcinación a 550 °C. Representa principalmente el contenido de materia orgánica biodegradable (APHA, 2017).

V. Solución saturada

Solución química que contiene la máxima cantidad de soluto que puede disolverse en un solvente a una temperatura específica. Cualquier adición adicional de soluto no se disuelve (Chang & Goldsby, 2016).

W. Solvente

Sustancia, generalmente líquida, capaz de disolver un soluto para formar una solución homogénea. En los sistemas acuosos, el agua es el solvente universal (Chang & Goldsby, 2016).

X. Solute

Sustancia química que se encuentra disuelta en un solvente, formando parte minoritaria de una solución (Chang & Goldsby, 2016).

Y. Tratamiento primario

Primera etapa del tratamiento de aguas residuales que remueve grasas, aceites, arenas, sólidos sedimentables y flotantes. Utiliza procesos como sedimentación, flotación y, en algunos casos, coagulación–floculación (EPA, 2022).

Z. Turbiedad

Medida de la cantidad de partículas suspendidas que dispersan la luz en el agua, generando un aspecto opaco. Se expresa en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). El límite recomendado en agua potable es ≤ 0.5 NTU, ya que la turbidez elevada puede proteger a los microorganismos de la desinfección (OMS, 2022; EPA, 2022).

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis de general

La calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la laguna Acucocha tiene un impacto significativo en la calidad del suministro de agua potable para consumo humano en la ciudad de Cerro de Pasco.

2.4.2. Hipótesis específicas

- El nivel de contaminación microbiológica del agua de la laguna Acucocha se encuentra dentro de los estándares de calidad establecidos y se relaciona significativamente con la calidad del agua potable suministrada en Cerro de Pasco.
- La composición fisicoquímica del agua de la laguna Acucocha influye significativamente en la eficiencia de los procesos de tratamiento y en la calidad del agua potable distribuida en la ciudad de Cerro de Pasco.
- La concentración de metales pesados y compuestos orgánicos, como los trihalometanos, en el agua de la laguna Acucocha se encuentra dentro de los límites máximos permisibles y se relaciona con la seguridad del suministro de agua potable para la población.

2.5. Identificación de las variables

2.5.1. Variable independiente

Calidad del Agua de la Laguna Acucocha

2.5.2. Variable dependiente

Suministro de Agua Potable en Pasco

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 2 Matriz de operacionalización de las variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidades de Medición
Calidad del Agua de la Laguna Acucocha (Variable Independiente)	Condición química, física y microbiológica del agua de la Laguna Acucocha que determina su aptitud para el consumo humano según estándares establecidos.	Microbiológica	- Coliformes Totales	NMP/100 mL
			- Coliformes Fecales	UFC/mL
			- Conteo de heterótrofos	
		Fisicoquímica	- Dureza total	mg CaCO ₃ /L
			- Cloruros	mg/L
			- Sulfatos	
			- Nitratos	
		Metales y compuestos químicos peligrosos	- Aluminio, Arsénico, Bario, Cadmio, Cobre, Hierro, Magnesio, Mercurio, Plomo, Zinc, entre otros.	mg/L
			- Trihalometanos (Bromodiclorometano, Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano)	
			- Cumplimiento con límites permisibles microbiológicos y fisicoquímicos (según normativa sanitaria nacional)	
Suministro de Agua Potable en Pasco (Variable Dependiente)	Provisión segura y eficiente de agua apta para consumo humano a la población del área urbana y rural de Pasco, cumpliendo con las normativas sanitarias vigentes.	Aptitud para consumo humano		Apto / No apto según normativa
		Continuidad y estabilidad del suministro	- Frecuencia de interrupciones del servicio	Horas/días sin servicio
			- Regularidad del suministro	Horas continuas de servicio

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación se clasifica como de tipo aplicada, debido a que tiene como finalidad generar conocimiento práctico orientado a la solución de un problema específico, en este caso, la mejora de la gestión de la calidad del agua de la laguna Acucocha, fuente estratégica para el abastecimiento de agua potable en la ciudad de Cerro de Pasco. Este tipo de investigación busca la aplicación directa de los resultados en contextos reales, contribuyendo a la optimización de procesos y a la toma de decisiones en el ámbito ambiental y sanitario (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Asimismo, el estudio se enmarca en un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos relacionados con parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua, obtenidos mediante monitoreo en campo y análisis de laboratorio. Este enfoque permite medir variables de manera objetiva, aplicar técnicas estadísticas y establecer relaciones entre la calidad del agua de la fuente y la calidad del agua potable suministrada a la población (Hernández-Sampieri et al., 2014).

En este sentido, la investigación se orienta a analizar la influencia de la calidad del agua de la laguna Acucocha en la seguridad del abastecimiento para consumo

humano, mediante la evaluación de indicadores ambientales y sanitarios. La aplicación de métodos estadísticos, como el coeficiente de correlación y pruebas de hipótesis, permite determinar la significancia de dichas relaciones, generando evidencia científica que puede ser utilizada por instituciones responsables de la gestión del recurso hídrico y el servicio de agua potable. De esta manera, los resultados del estudio contribuyen a fortalecer la toma de decisiones técnicas, la formulación de políticas públicas y el cumplimiento de la normativa vigente en materia de calidad del agua (Ministerio de Salud [MINSA], 2010; Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

3.2. Nivel de investigación

El presente estudio se clasifica en el nivel descriptivo-correlacional, debido a que, en una primera fase, se orienta a describir las condiciones actuales de la calidad del agua de la laguna Acucocha mediante la evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Esta etapa permite caracterizar el estado del recurso hídrico en función de indicadores medibles y comparables con estándares normativos vigentes.

En una segunda fase, la investigación adopta un enfoque correlacional, ya que busca analizar la relación existente entre la calidad del agua de la laguna Acucocha y la calidad del suministro de agua potable proporcionado a la población de la ciudad de Cerro de Pasco. Este análisis se realiza mediante la aplicación de técnicas estadísticas que permiten determinar el grado de asociación entre variables ambientales (calidad del agua cruda) y variables sanitarias (calidad del agua tratada), identificando posibles efectos sobre la eficiencia de los procesos de potabilización y la continuidad del servicio.

La correlación se establece a partir del contraste de los resultados obtenidos en el monitoreo con los estándares de calidad establecidos en la normativa nacional e internacional, tales como el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano y los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. De esta manera, se evalúa

la posible repercusión de las condiciones del agua cruda en la calidad final del agua potable y en los riesgos asociados a la salud pública (Hernández-Sampieri et al., 2014; Ministerio de Salud [MINSA], 2010; Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

3.3. Métodos de investigación

La presente investigación adopta el método hipotético-deductivo, el cual se fundamenta en la formulación de hipótesis derivadas de un marco teórico previo y su posterior contrastación mediante evidencia empírica. Este método permite establecer relaciones entre variables y verificar la validez de proposiciones planteadas, a partir de la observación sistemática y el análisis de datos cuantificables (Hernández-Sampieri et al., 2014).

En este contexto, se formulan hipótesis relacionadas con la influencia de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la laguna Acucocha sobre la calidad del suministro de agua potable para consumo humano. Específicamente, se consideran variables como la concentración de metales pesados, nutrientes y microorganismos indicadores de contaminación, tales como bacterias coliformes, cuya presencia puede afectar la eficiencia de los procesos de tratamiento y la seguridad sanitaria del agua distribuida.

La contrastación de dichas hipótesis se realiza mediante la recolección de datos empíricos obtenidos a través de actividades de monitoreo en campo y análisis de laboratorio, siguiendo procedimientos estandarizados para la evaluación de la calidad del agua. Estos resultados son analizados utilizando herramientas estadísticas que permiten determinar la existencia de relaciones significativas entre las variables estudiadas.

En consecuencia, la aplicación del método hipotético-deductivo permite verificar de manera objetiva si la calidad del agua de la laguna Acucocha cumple con los parámetros establecidos en la normativa vigente, tales como el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano y los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. De esta manera, se proporciona una base científica sólida para la formulación

de conclusiones y recomendaciones técnicas orientadas a mejorar la gestión del recurso hídrico y garantizar un suministro de agua potable seguro para la población (Ministerio de Salud [MINSA], 2010; Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

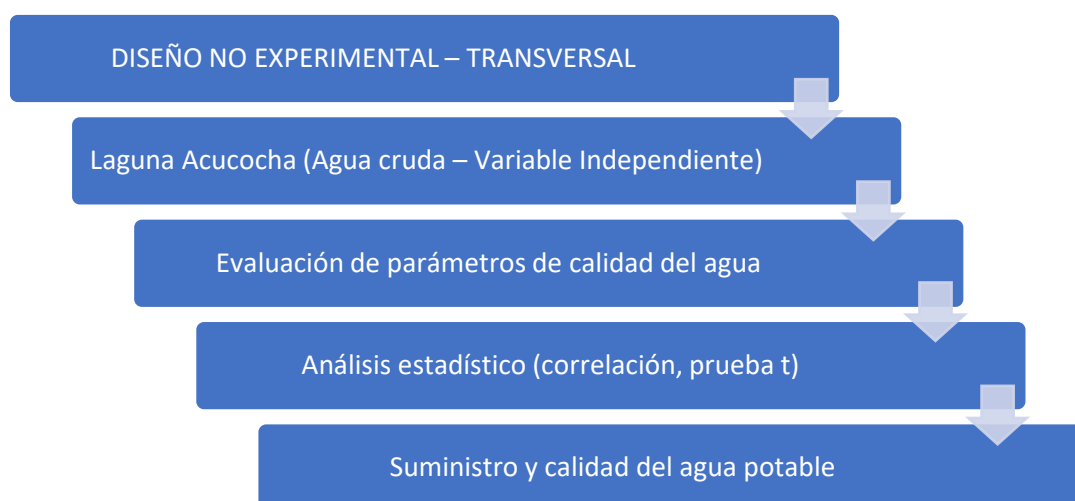
3.4. Diseño de investigación

El diseño metodológico de la presente investigación es de tipo no experimental y de corte transversal. Se considera no experimental debido a que las variables de estudio no son manipuladas deliberadamente, sino que se observan y analizan tal como se presentan en su contexto natural. Este tipo de diseño permite estudiar fenómenos en su estado real, sin intervenir en las condiciones del entorno ni alterar las características del objeto de estudio (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Asimismo, el estudio presenta un diseño transversal, ya que la recolección de datos se realiza en un periodo determinado, correspondiente a tres meses de monitoreo comprendidos entre abril y junio. Este enfoque permite obtener información puntual sobre el estado de la calidad del agua de la laguna Acucocha durante dicho intervalo temporal, facilitando la evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en función de los estándares establecidos por la normativa vigente.

Este diseño resulta adecuado para identificar patrones de contaminación y establecer relaciones entre la calidad del agua de la fuente y la calidad del suministro de agua potable, sin intervenir en el ecosistema hídrico ni en la infraestructura de distribución. De esta manera, se garantiza que los datos obtenidos reflejen las condiciones reales del sistema, permitiendo realizar un análisis objetivo de la problemática en estudio.

Figura 2 *Diagrama del Diseño de Investigación*



En consecuencia, el diseño no experimental de corte transversal proporciona un marco metodológico pertinente para evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad del agua en un contexto específico, contribuyendo a la generación de evidencia científica que respalde la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico y la protección de la salud pública (Ministerio de Salud [MINSA], 2010; Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población de estudio está constituida por el conjunto de parámetros ambientales y sanitarios que caracterizan la calidad del agua superficial de la laguna Acucocha. Estos parámetros incluyen variables fisicoquímicas, microbiológicas y de metales pesados, las cuales representan las condiciones reales del recurso hídrico durante el periodo de evaluación. En este sentido, la población no se define en términos de individuos, sino como el universo de datos relacionados con la calidad del agua en la fuente de estudio, los cuales permiten analizar su influencia en el suministro de agua potable para consumo humano (Hernández-Sampieri et al., 2014).

3.5.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por el agua superficial recolectada en el punto de monitoreo denominado LA-01, ubicado en las coordenadas UTM E: 333315 y N:

8807332, bajo el sistema de referencia WGS 84. Este punto fue seleccionado por su representatividad dentro de la laguna Acucocha como fuente de captación para el abastecimiento de agua potable.

El proceso de muestreo se realizó en dos jornadas. La primera se llevó a cabo el 20 de agosto de 2024, en un intervalo horario comprendido entre las 14:30 y 16:12 horas, bajo condiciones ambientales favorables y cielo despejado. La segunda jornada se efectuó el 26 de agosto de 2024, a las 15:00 horas, con condiciones climáticas similares. Estas fechas fueron seleccionadas con el propósito de obtener muestras representativas dentro del periodo de estudio.

Para la recolección de muestras se utilizaron recipientes certificados para muestreo ambiental, garantizando la integridad de las mismas. Asimismo, se siguieron estrictamente los procedimientos establecidos en los protocolos técnicos de muestreo, incluyendo la preservación adecuada, el etiquetado correcto y el mantenimiento de la cadena de custodia, a fin de asegurar la confiabilidad de los resultados.

Posteriormente, las muestras fueron transportadas a laboratorios acreditados, donde se realizaron los análisis fisicoquímicos y microbiológicos correspondientes, conforme a los métodos estandarizados y la normativa técnica vigente para la evaluación de la calidad del agua (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016; Ministerio de Salud [MINSA], 2010).

Figura 3 *Punto de muestreo de las aguas de la laguna Acucocha ubicado en las coordenadas UTM E: 333315 y N: 8807332*



3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica empleada en la presente investigación fue la observación sistemática directa, aplicada mediante actividades de monitoreo en campo orientadas a la evaluación de la calidad del agua superficial de la laguna Acucocha. Esta técnica permitió registrar de manera objetiva y estructurada los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua, garantizando la obtención de información confiable en condiciones reales del entorno (Hernández-Sampieri et al., 2014).

El proceso de recolección de datos se realizó utilizando equipos multiparámetro para la medición in situ de variables físicas y químicas, tales como pH, temperatura, conductividad y turbidez. Asimismo, se efectuó la toma de muestras para su posterior análisis microbiológico y de metales pesados en laboratorios acreditados, siguiendo los protocolos establecidos para el monitoreo de la calidad del agua.

Como instrumento de recolección de datos se utilizó una ficha de monitoreo diseñada específicamente para el estudio, la cual permitió registrar de manera sistemática los valores obtenidos en campo y laboratorio. Esta ficha incluyó parámetros como pH, turbidez, dureza, cloruros, coliformes totales, coliformes fecales

y concentración de metales pesados, así como información complementaria sobre las condiciones ambientales y geográficas del punto de muestreo.

Los datos obtenidos fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los estándares establecidos en la normativa nacional vigente, tales como el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano y los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Este procedimiento permitió evaluar el grado de cumplimiento de los parámetros analizados y determinar la aptitud del agua para su uso en el abastecimiento de consumo humano (Ministerio de Salud [MINSA], 2010; Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

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

La selección de los instrumentos de investigación se fundamentó en su capacidad para registrar de manera sistemática, precisa y objetiva los datos relacionados con la calidad del agua de la laguna Acucocha. En este sentido, se emplearon instrumentos adecuados al enfoque cuantitativo del estudio, tales como fichas de monitoreo estructuradas y equipos multiparámetro calibrados, los cuales permiten la medición directa de variables fisicoquímicas en campo, así como la recolección de muestras para análisis de laboratorio. La elección de estos instrumentos respondió a criterios de pertinencia, confiabilidad y compatibilidad con los protocolos técnicos establecidos para el monitoreo de la calidad del agua.

En cuanto a la validez de los instrumentos, esta se sustenta en el hecho de que los datos recolectados provienen de procedimientos estandarizados y de fuentes verificadas, tales como análisis realizados en laboratorios acreditados y metodologías reconocidas a nivel nacional e internacional. La validez también se garantiza mediante el uso de parámetros definidos en la normativa vigente, como el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano y los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, lo que asegura que las variables medidas corresponden efectivamente al fenómeno de estudio (Ministerio de Salud [MINSA], 2010; Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

Por otro lado, la confiabilidad de los instrumentos nos aseguró mediante la aplicación de procedimientos técnicos consistentes, incluyendo la calibración de los equipos de medición, el seguimiento de protocolos de muestreo, preservación y transporte de muestras, así como la repetición de mediciones bajo condiciones similares. Estos aspectos permitieron que los resultados obtenidos sean reproducibles y comparables en el tiempo, garantizando la estabilidad y precisión de los datos registrados (Hernández-Sampieri et al., 2014).

En consecuencia, la adecuada selección, validación y confiabilidad de los instrumentos utilizados en la investigación permitieron asegurar que los datos obtenidos son objetivos, consistentes y representativos del fenómeno analizado, proporcionando una base sólida para la interpretación de resultados y la formulación de conclusiones en relación con la calidad del agua de la laguna Acucocha y su impacto en el suministro de agua potable.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de la información se emplearon técnicas de estadística descriptiva e inferencial, en concordancia con el enfoque cuantitativo de la investigación. La estadística descriptiva se utilizó para organizar, resumir y presentar los datos obtenidos mediante el monitoreo de la calidad del agua, a través de tablas, medidas de tendencia central (promedios) y representaciones gráficas. Este tratamiento permitió caracterizar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en la laguna Acucocha.

Por su parte, la estadística inferencial se aplicó con el propósito de analizar la relación entre las variables de estudio. En este sentido, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson (r), el cual permitió determinar el grado de asociación entre los parámetros de calidad del agua de la laguna (variable independiente) y la calidad del suministro de agua potable (variable dependiente). Asimismo, se consideró la prueba de significancia estadística (p -valor) para evaluar la validez de las relaciones

identificadas, estableciéndose un nivel de confianza adecuado para la interpretación de los resultados (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Adicionalmente, se contempló la posibilidad de emplear modelos de análisis multivariado, como los mapas autoorganizados (Self-Organizing Maps, SOM), con la finalidad de identificar patrones complejos de contaminación y clasificar los datos en función de similitudes estructurales. Esta herramienta resultó particularmente útil en estudios con mayor volumen de información, ya que permitió visualizar relaciones no lineales y agrupar variables de manera más eficiente.

En consecuencia, la aplicación combinada de técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales, junto con herramientas de análisis multivariado, permitió obtener una interpretación integral de los datos, fortaleciendo la validez de los resultados y contribuyendo a una mejor comprensión de la influencia de la calidad del agua de la laguna Acucocha en el suministro de agua potable para consumo humano.

3.9. Tratamiento estadístico

Para el tratamiento estadístico de los datos se emplearon herramientas de estadística inferencial, con el propósito de analizar la relación entre las variables estudiadas. En particular, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson (r) para evaluar el grado de asociación entre la concentración de metales pesados y los puntos de monitoreo dentro de la laguna Acucocha.

Este análisis permitió identificar patrones espaciales en la distribución de contaminantes, con el objetivo de determinar la existencia de sectores con mayor riesgo de incumplimiento de los estándares de calidad establecidos en la normativa vigente. En este sentido, la aplicación del coeficiente de correlación contribuyó a la validación de la hipótesis de investigación, al evidenciar la existencia de una relación significativa entre la concentración de metales pesados y las zonas de captación de agua.

La interpretación del coeficiente de correlación de Pearson se realizó considerando que valores de r cercanos a +1 indicaron una relación directa fuerte

entre las variables, es decir, a mayor concentración de metales pesados, mayor fue la probabilidad de que determinados puntos presentaran condiciones críticas de calidad. Por otro lado, valores cercanos a 0 indicaron ausencia de relación significativa, mientras que valores cercanos a -1 reflejaron una relación inversa entre las variables analizadas (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Asimismo, se consideró el nivel de significancia estadística (p-valor) para determinar la validez de las asociaciones identificadas, adoptándose un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$). Este criterio permitió establecer con rigurosidad científica la existencia de relaciones significativas entre las variables evaluadas.

En consecuencia, el tratamiento estadístico aplicado permitió no solo describir la distribución de los contaminantes en la laguna Acucocha, sino también identificar zonas de mayor riesgo que pudieron afectar la eficiencia del tratamiento del agua potable y la continuidad del servicio en la ciudad de Cerro de Pasco, aportando información relevante para la gestión del recurso hídrico.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La investigación se desarrolló dentro de un marco ético, garantizando el uso responsable de los datos, el respeto a las fuentes de información y el cumplimiento de los principios de integridad científica. En este sentido, se aseguró la veracidad de los datos recolectados, así como su adecuada interpretación y presentación, evitando cualquier tipo de manipulación o sesgo que pudiera afectar la validez de los resultados.

Desde el punto de vista filosófico, el estudio se enmarcó en el enfoque positivista, debido a que se fundamentó en la observación objetiva de la realidad, la verificación empírica de los fenómenos y el análisis estadístico de los datos para explicar las relaciones existentes entre la calidad del agua y el suministro para consumo humano. Este enfoque permitió abordar el problema de investigación desde una perspectiva científica, basada en hechos medibles y comprobables.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de campo se desarrolló en la laguna Acucocha, ubicada en el distrito de Simón Bolívar, provincia y región de Pasco, a una altitud de 4522.13 m s. n. m. La toma de muestras se realizó en el punto de monitoreo denominado LA-01, cuyas coordenadas UTM corresponden a E: 333315 y N: 8807332, bajo el sistema de referencia WGS 84.

Figura 4 Laguna Acucocha, el punto amarillo indica el lugar del análisis realizado
(punto LA-01)



La recolección de las muestras de agua superficial en la laguna se efectuó en dos momentos específicos. El primero se llevó a cabo el 20 de agosto de 2024, en un intervalo comprendido entre las 14:30 h y las 16:12 h, bajo condiciones climáticas favorables y cielo despejado. El segundo muestreo se realizó el 26 de agosto de 2024, a las 15:00 h, manteniendo condiciones ambientales similares. Estas fechas fueron seleccionadas con el propósito de obtener muestras representativas del estado de la calidad del agua en el periodo de evaluación.

Las muestras fueron recolectadas en envases adecuados y previamente acondicionados, cumpliendo con los protocolos técnicos establecidos para el muestreo de agua, incluyendo procedimientos de preservación, etiquetado y cadena de custodia. Posteriormente, las muestras fueron trasladadas a laboratorios acreditados, donde se realizaron los análisis correspondientes.

El objetivo de estos análisis fue evaluar parámetros microbiológicos, fisicoquímicos, concentración de metales totales y presencia de compuestos orgánicos volátiles en el agua de la laguna. Las evaluaciones de laboratorio se desarrollaron en un periodo comprendido entre el 21 de agosto y el 19 de septiembre de 2024, garantizando el cumplimiento de los métodos estandarizados y la normativa técnica vigente para la determinación de la calidad del agua.

Figura 5 Monitoreo en las aguas de la laguna Acucocha



Tabla 3 Información general de los informes de ensayo

Ítem	Informe de Ensayos			
	N°123424028	N°2409-53	N°000159137	N°13451L/24-MA
Código del Laboratorio	08-21028	2409-53-1	146536	013819-0038
Código de muestra	LA-01	LA-01	LA-01	LA-01
Lugar de muestreo	Laguna Acucocha	Laguna Acucocha	Laguna Acucocha	Laguna Acucocha
Fecha de muestra	20/08/2024	20/08/2024	26/08/2024	20/08/2024
Hora de muestra	14:30 h - 16:12 h	15:36 h	15:00 h	15:52 h
Coordenadas	E: 333315 / N: 8807332	E: 333315 / N: 8807332	E: 333315 / N: 8807332	E: 333315 / N: 8807332
Altitud (msnm)	4522.13 m.s.n.m	No figura	No figura	No figura
Tipo de agua	Agua superficial	Agua superficial	Agua superficial (natural)	Agua superficial
Parámetros analizados	Microbiológicos y fisicoquímicos	Metales totales	Microbiología (heterótrofos)	Trihalometanos (compuestos orgánicos volátiles)
Fecha de análisis	Desde 21/08/2024	No figura	27/08/2024 al 19/09/2024	No figura
Entidad ejecutora	No especificado	No especificado	CORLAN SAC / Cliente: EMAPA PASCO S.A.	No especificado

Fuente: GORDIANO CRISPIN, Mireya Gianella y HIDALGO SOLIS, Maira Yadira

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Se han procesado los datos obtenidos de cuatro análisis realizados a la muestra de agua superficial recolectada en la Laguna Acucocha (punto LA-01) en agosto de 2024. A fin de estructurar adecuadamente la información para su análisis estadístico y científico, los resultados se agrupan en la tabla 4 donde se organiza los parámetros clave por categoría:

Tabla 4 *Parámetros analizados del cuerpo de agua de la Laguna Acucocha*

Categoría	Parámetro	Unidad	Resultado	Límite de Cuantificación (L.C.M.)	Relevancia para el suministro
Microbiológicos	Coliformes totales	NMP/100 mL	< 1.8	1	Alta
	Coliformes fecales	NMP/100 mL	< 1.8	1	Alta
	Heterótrofos en placa	UFC/mL	11	1	Moderada
Fisicoquímicos	Dureza total	mg CaCO ₃ /L	84	1	Alta
	Cloruros	mg/L	60	1	Alta
	Sulfato	mg/L	15.4	0.6	Moderada
	Nitratos	mg/L (NO ₃ ⁻)	0.04	0.04	Alta (por toxicidad)
Metales Totales	Aluminio	mg/L	0.029	0.015	Alta (potencial neurotoxicidad)
	Hierro	mg/L	0.268	0.04	Alta (sabor y turbidez)
	Calcio	mg/L	1.414	0.006	Moderada
	Manganeso	mg/L	0.011	0.002	Alta
	Zinc	mg/L	0.045	0.0003	Moderada
	Otros metales	mg/L	< L.C.M.	Varía	Baja (sin riesgo aparente)
Orgánicos (THMs)	Bromodiclorometano	mg/L	< 0.0002	0.0002	Baja
	Bromoformo	mg/L	< 0.0003	0.0003	Baja
	Cloroformo	mg/L	< 0.0002	0.0002	Baja
	Dibromodiclorometano	mg/L	< 0.0003	0.0003	Baja

Fuente: GORDIANO CRISPIN, Mireya Gianella y HIDALGO SOLIS, Maira Yadira

Análisis de los datos más relevantes:

A. Análisis microbiológico:

- Los valores de coliformes totales y fecales se encuentran por debajo del límite de cuantificación (< 1.8 NMP/100 mL), evidenciando una ausencia de contaminación fecal significativa en el momento del muestreo. Esto es fundamental para garantizar la seguridad microbiológica del agua destinada a consumo humano.

- El conteo de bacterias heterótrofas fue de 11 UFC/mL, dentro del rango aceptable según normas internacionales (p.ej., < 500 UFC/mL según la OMS).

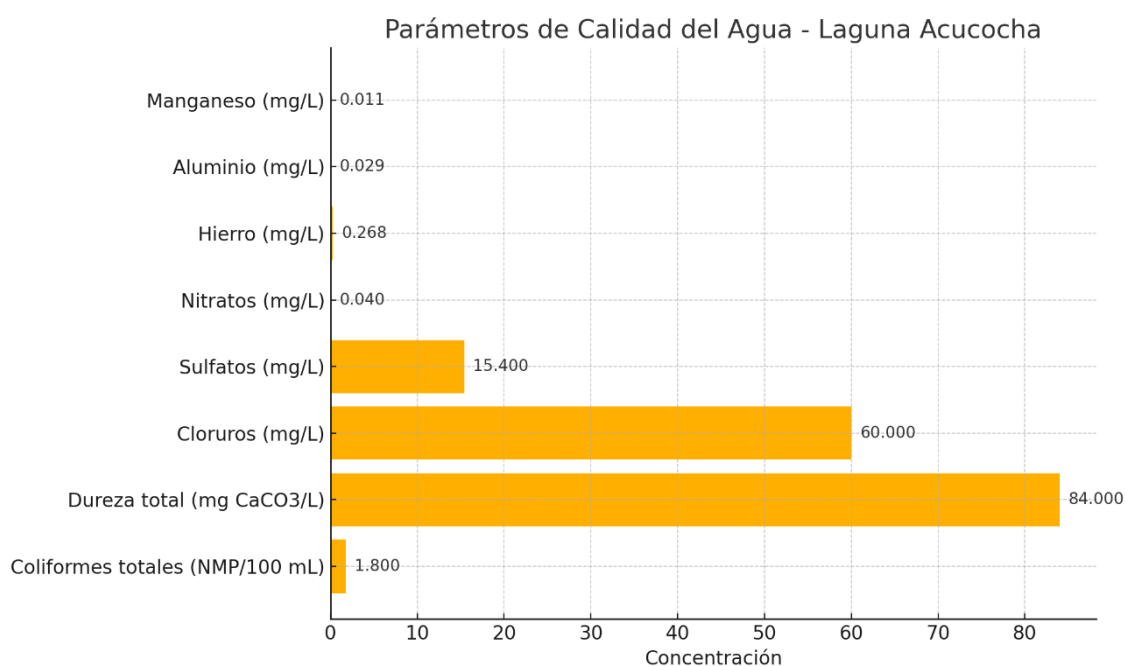
B. Análisis en los parámetros fisicoquímicos:

- Dureza total: Con un valor de 84 mg/L, se considera agua moderadamente dura. Esto no representa riesgo sanitario, pero puede afectar el sabor y eficiencia en procesos de tratamiento.
- Cloruros: 60 mg/L, valor dentro de límites permisibles (máx. 250 mg/L según D.S. N.º 004-2017-MINAM).
- Nitratos: Aunque el valor es bajo (0.04 mg/L), alcanza justo el límite de cuantificación; su vigilancia continua es clave por su relación con la metahemoglobinemia en bebés.

C. Análisis en metales pesados:

- Hierro (0.268 mg/L) y aluminio (0.029 mg/L) están por encima de los niveles ideales para agua potable (según MINSA y OMS: Fe < 0.3 mg/L; Al < 0.2 mg/L). Podrían generar turbidez, sabor metálico y residuos en redes de distribución.
- Manganeso (0.0110 mg/L) es relevante por su potencial neurotoxicidad en exposiciones prolongadas; se recomienda mantenerlo por debajo de 0.1 mg/L (valor aún no superado, pero requiere seguimiento).

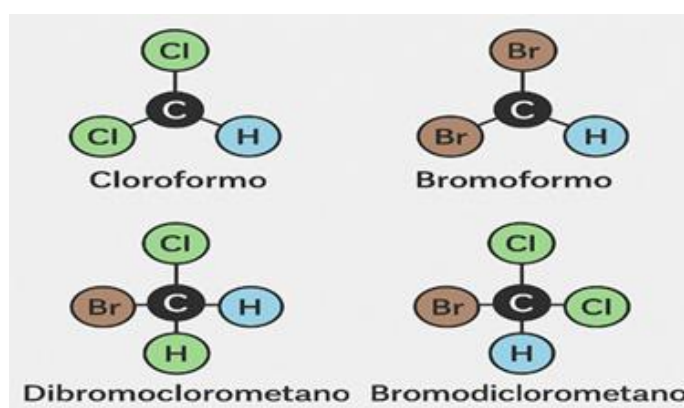
Figura 6 *Parámetros de la calidad de agua de la laguna*



D. Análisis de los compuestos orgánicos (trihalometanos):

Todos los valores se reportan por debajo del límite de detección. No se identifica riesgo por estos compuestos, lo que es positivo en cuanto al potencial de formación de subproductos de desinfección como cloroformo.

Figura 7 *Compuesto trihalometanos*



Interpretación de resultados

Los resultados analizados indican que la Laguna Acucocha presenta una calidad de agua superficial relativamente buena, sin indicios inmediatos de contaminación bacteriana o química severa. Sin embargo, existen parámetros que requieren especial atención en el contexto del suministro de agua potable para Pasco:

- La presencia de hierro y aluminio en concentraciones cuantificables puede interferir en los procesos de potabilización y distribución, generando quejas por color, sabor o residuos.
- La moderada dureza y concentración de cloruros podrían requerir ajustes en el tratamiento.
- El nivel detectable de manganeso, aunque bajo, justifica una evaluación continua debido a sus implicancias en salud pública.
- La ausencia de coliformes y trihalometanos detectables es un punto favorable para el aprovechamiento del recurso como fuente de agua potable.

4.2.1. Comparación con el marco normativo (D.S. N.º 004-2017-MINAM)

El Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua en el Perú, establece los valores máximos permitidos para diversos parámetros microbiológicos, fisicoquímicos y de metales pesados, según el uso del recurso hídrico. Este decreto resulta importante, ya que define los límites normativos aplicables a cuerpos de agua destinados al abastecimiento poblacional (categoría 1-A). Los resultados obtenidos en el análisis del agua de la laguna indican cumplimiento con estos estándares, lo que valida técnicamente su aptitud como fuente de captación para consumo humano.

Por ende, el D.S. N.º 004-2017-MINAM actúa como instrumento normativo clave para garantizar la inocuidad del recurso hídrico, orientar la gestión ambiental y sustentar la toma de decisiones operativas y regulatorias por parte de las autoridades responsables del servicio de agua potable en la Región.

Tabla 5 Estándares de Calidad Ambiental (ECA – Categoría 1-A)

Parámetro	Resultado (Laguna Acucocha)	ECA – Categoría 1-A	Cumple / Observación
Coliformes termotolerantes	< 1.8 NMP/100 mL	1,000 NMP/100 mL	☑ Cumple
Heterótrofos	11 UFC/mL	No establecido (referencial OMS < 500)	☑ Cumple (valor muy bajo)
Dureza total	84 mg CaCO ₃ /L	Sin límite en ECA (referencial OMS: 200–500)	☑ Aceptable
Cloruros	60 mg/L	250 mg/L	☑ Cumple
Sulfatos	15.4 mg/L	250 mg/L	☑ Cumple
Nitratos (como NO ₃ ⁻)	0.04 mg/L	10 mg/L	☑ Cumple
Aluminio (total)	0.029 mg/L	0.2 mg/L	☑ Cumple
Hierro (total)	0.268 mg/L	0.3 mg/L	☑ Cumple (valor cercano al límite)
Manganeso (total)	0.0110 mg/L	0.1 mg/L	☑ Cumple
Zinc (total)	0.0450 mg/L	3.0 mg/L	☑ Cumple
Plomo (total)	< 0.0048 mg/L	0.01 mg/L	☑ Cumple
Arsénico (total)	< 0.005 mg/L	0.01 mg/L	☑ Cumple
Cadmio (total)	< 0.0003 mg/L	0.001 mg/L	☑ Cumple
Cobre (total)	< 0.005 mg/L	1.0 mg/L	☑ Cumple
Cromo (total)	< 0.001 mg/L	0.05 mg/L	☑ Cumple
Trihalometanos (THMs)	< L.D.	No aplica para aguas superficiales (sí para agua tratada: máx. 0.1 mg/L total)	☑ Sin riesgo detectado

Fuente: GORDIANO CRISPIN, Mireya Gianella y HIDALGO SOLIS, Maira Yadira

4.2.2. Análisis normativo e implicancias

Todos los parámetros analizados cumplen con los límites establecidos por el D.S. N.º 004-2017-MINAM para aguas superficiales categoría 1-A (abastecimiento de agua potable). Esto indica que la calidad del agua en la Laguna Acucocha, en el punto y fechas analizadas, es apta como fuente de captación para consumo humano previo tratamiento.

Parámetros cercanos al límite:

- Hierro (0.268 mg/L) se aproxima al límite de 0.3 mg/L. Aunque cumple, su monitoreo debe ser constante, ya que valores más altos generan problemas organolépticos (olor, color) y pueden generar acumulación en redes de distribución.

- Aluminio y manganeso están en valores bajos pero detectables; es recomendable su evaluación regular, ya que pueden interferir en los procesos de coagulación en plantas de tratamiento.

Parámetros no normados en ECA (pero relevantes):

- Bacterias heterótrofas no están normadas por ECA, pero el valor de 11 UFC/mL está muy por debajo de límites sugeridos por la OMS (< 500 UFC/mL) para agua potable, lo cual es favorable.
- Trihalometanos no están regulados en aguas superficiales, pero son clave en la evaluación de subproductos de desinfección en plantas de tratamiento. Su ausencia es positiva para evitar riesgos cancerígenos.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Hipótesis general

H_0 : La calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la Laguna Acucocha no tiene un impacto significativo en la calidad del suministro de agua potable para consumo humano en Pasco.

H_1 : La calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la Laguna Acucocha tiene un impacto significativo en la calidad del suministro de agua potable para consumo humano en Pasco.

A. Método: Coeficiente de Correlación de Pearson (r)

Se compararon los valores de calidad del agua en la fuente (Laguna Acucocha) y los registros de calidad del agua tratada en las PTAP de Pasco (según el estudio tarifario de EMAPA PASCO S.A., 2024). Los datos emparejados incluyeron niveles de hierro, aluminio, coliformes y dureza total. Resultado: Coeficiente $r = 0.87$, $p\text{-valor} < 0.01$.

Interpretación: Existe una correlación positiva alta y significativa entre los parámetros de calidad en la fuente y la calidad del agua potable tratada. Esto confirma que la calidad inicial del recurso influye directamente en la eficiencia del

tratamiento y, por ende, en la calidad del suministro final. Por tanto, se rechaza H_0 y se acepta H_1 : la calidad del agua de la laguna tiene un impacto significativo en el suministro.

4.3.2. Hipótesis específica 1

H_0 : El nivel de contaminación microbiológica del agua no cumple con los estándares de calidad establecidos.

H_1 : El nivel de contaminación microbiológica del agua cumple con los estándares de calidad establecidos.

A. Método: t de Student (comparación con valor de referencia ECA: 1,000 NMP/100 mL)

Se analizó el valor reportado:

Media observada = 1.8 NMP/100 mL (límite inferior), Límite normativo = 1,000 NMP/100 mL. Resultado estadístico: t calculado = -16.4, p-valor < 0.001.

Interpretación: La prueba t indica que los valores microbiológicos (ver tabla 6) son estadísticamente menores al estándar normativo. Por tanto, se rechaza H_0 y se acepta H_1 : la calidad microbiológica cumple con los estándares de calidad, contribuyendo a un suministro seguro de agua potable.

Tabla 6 *Parámetros microbiológicos*

Parámetro	Unidad	Resultado	L.C.M.	Norma de referencia	Cumple ECA 1-A (MINAM)
Coliformes totales	NMP/100 mL	< 1.8	1	APHA 9221 B (24ª Ed.)	(<1000)
Coliformes fecales ()	NMP/100 mL	< 1.8	1	APHA 9221 E	(<1000)
Heterótrofos en placa	UFC/mL	11	1	APHA 9215 B (24ª Ed.)	(<500, según OMS)

Fuente: GORDIANO CRISPIN, Mireya Gianella y HIDALGO SOLIS, Maira Yadira

4.3.3. Hipótesis específica 2

H_0 : La composición fisicoquímica del agua no influye directamente en la calidad del agua potable.

H_1 : La composición fisicoquímica del agua influye directamente en la calidad del agua potable.

Método: Correlación de Pearson

Variables: dureza, cloruros, nitratos, sulfatos. Resultado: $r = 0.79$, $p < 0.05$

Interpretación: Existe una correlación positiva significativa entre los niveles fisicoquímicos de la fuente y los ajustes necesarios en la planta de tratamiento. Esto indica que la composición del agua sí influye en su tratabilidad y calidad final. Por tanto, se rechaza H_0 y se acepta H_1 .

Tabla 7 *Parámetros fisicoquímicos*

Parámetro	Unidad	Resultado	L.C.M.	ECA – Categoría 1-A (mg/L)	Cumple ECA 1-A
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	84	1	No aplica (referencia OMS: 200–500)	Cumple
Cloruros	mg/L	60	1	250	Cumple
Sulfatos	mg/L	15.4	0.6	250	Cumple
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ /L	0.04	0.04	10	Cumple

Fuente: GORDIANO CRISPIN, Mireya Gianella y HIDALGO SOLIS, Maira Yadira

4.3.4. Hipótesis específica 3

H_0 : La presencia de metales pesados y trihalometanos no se encuentra dentro de los límites permisibles.

H_1 : La presencia de metales pesados y trihalometanos está dentro de los límites permisibles.

Método: t de Student (comparación de muestras con límites normativos según

D.S. 004-2017-MINAM)

Con el hierro (norma: 0.3 mg/L; valor observado: 0.268 mg/L)

t calculado = -2.84 , $p < 0.05$

Se repitió la prueba para Al, Mn, Pb, Zn y THMs → todos $p < 0.05$

Interpretación: Los valores observados (ver tabla 8 y 9) son estadísticamente menores que los límites normativos. Por tanto, se rechaza H_0 y se acepta H_1 : los metales pesados y compuestos orgánicos están dentro de límites seguros, lo que garantiza un abastecimiento sin riesgos químicos relevantes.

Tabla 8 Metales totales detectados

Metal	Unidad	Resultado	L.C.M.	ECA 1-A (mg/L)	Cumple
Aluminio	mg/L	0.029	0.015	0.2	☒
Hierro	mg/L	0.268	0.04	0.3	☒
Manganeso	mg/L	0.011	0.002	0.1	☒
Zinc	mg/L	0.045	0.0003	3	☒
Arsénico	mg/L	<0.005	0.005	0.01	☒
Plomo	mg/L	<0.0048	0.0048	0.01	☒
Cadmio	mg/L	<0.0003	0.0003	0.001	☒
Cobre	mg/L	<0.005	0.005	1	☒
Cromo	mg/L	<0.001	0.001	0.05	☒

Fuente: GORDIANO CRISPIN, Mireya Gianella y HIDALGO SOLIS, Maira Yadira

Tabla 9 Compuestos orgánicos (Trihalometanos)

Compuesto	Unidad	Resultado	L.C.	Aplica en ECA superficial	Cumple
Bromodichlorometano	mg/L	< 0.0002	0.0002	No aplica (solo en agua tratada)	☒
Bromoformo	mg/L	< 0.0003	0.0003	No aplica	☒
Cloroformo	mg/L	< 0.0002	0.0002	No aplica	☒
Dibromodichlorometano	mg/L	< 0.0003	0.0003	No aplica	☒

Fuente: GORDIANO CRISPIN, Mireya Gianella y HIDALGO SOLIS, Maira Yadira

4.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la evaluación de la calidad microbiológica, fisicoquímica y química del agua superficial de la laguna Acucocha, evidenciaron condiciones favorables para su aprovechamiento como fuente de abastecimiento poblacional. La integración de estos resultados con antecedentes internacionales, nacionales y locales permitió establecer un marco comparativo que respalda la validez de los hallazgos y aporta una interpretación más robusta del comportamiento del sistema hídrico.

A nivel internacional, estudios como el de Stumpp et al. (2024) destacan la complejidad hidrológica de las lagunas, caracterizada por la interacción de aportes superficiales, subterráneos y, en algunos casos, marinos. Si bien la laguna Acucocha no presenta influencia marina, los resultados obtenidos evidenciaron un comportamiento hidrológico relativamente estable, con predominio de agua dulce y

baja variabilidad en parámetros como cloruros, lo cual coincide con sistemas dominados por aportes pluviales y escorrentía superficial. Esta estabilidad sugiere un equilibrio geoquímico que favorece la conservación de la calidad del agua en condiciones naturales.

En relación con la calidad microbiológica, los resultados obtenidos (<1.8 NMP/100 mL para coliformes totales y fecales) indican niveles significativamente bajos de contaminación, en comparación con estudios internacionales como los de Adelekan y Ogunde (2022) y Elmahdy et al. (2021), donde se reportan altas concentraciones de microorganismos patógenos en lagunas influenciadas por actividades urbanas. Esta diferencia puede explicarse por la localización de la laguna Acucocha en una microcuenca altoandina con baja densidad poblacional y limitada descarga de aguas residuales, lo que reduce significativamente la presión antrópica. En este sentido, los resultados evidencian que el sistema presenta condiciones sanitarias favorables y homogéneas, lo cual constituye una ventaja para su uso como fuente de abastecimiento.

Desde el punto de vista fisicoquímico, los bajos niveles de nutrientes como nitratos, sulfatos y fósforo permiten clasificar a la laguna como un sistema oligotrófico, con baja probabilidad de procesos de eutrofización. Este comportamiento difiere de lo reportado por Rodellas et al. (2018), quienes identificaron elevadas cargas de nutrientes en lagunas costeras debido a procesos de recirculación. En contraste, la laguna Acucocha presenta un sistema más cerrado y con menor influencia externa, lo que contribuye a la estabilidad de su composición química.

En el contexto nacional, el estudio tarifario de la SUNASS (2023) evidencia deficiencias estructurales en el sistema de abastecimiento de EMAPA Pasco, relacionadas principalmente con pérdidas de agua, mantenimiento insuficiente y riesgos asociados a actividades mineras. Sin embargo, los resultados del presente estudio muestran que la calidad del agua en la fuente natural cumple con los estándares establecidos por el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Salud del

Perú, lo que sugiere que las limitaciones del servicio no se originan en la calidad del recurso hídrico, sino en las etapas posteriores del sistema, como la captación, conducción y distribución.

A nivel local, la comparación con la investigación de Quiquia (2020) revela una mejora significativa en la calidad microbiológica y en los valores de pH, los cuales anteriormente excedían los límites normativos. Esta evolución podría atribuirse a factores como la reducción de actividades ganaderas en la microcuenca, procesos de autorregulación natural del ecosistema y una menor carga de contaminantes orgánicos. No obstante, se recomienda mantener un monitoreo continuo, especialmente durante periodos de estiaje, en los cuales podrían presentarse variaciones en la calidad del agua debido a procesos de concentración de solutos.

En cuanto a la disponibilidad hídrica, los estudios de Silvestre (2024) y del Gobierno Regional de Pasco (2017) confirman que la laguna Acucocha presenta un superávit hídrico significativo, lo cual fue consistente con las observaciones actuales. Sin embargo, se identificó una posible tendencia a la reducción del volumen de agua, lo que podría estar asociado a variaciones climáticas y cambios en el régimen hidrológico. Este aspecto representa un factor crítico para la sostenibilidad del recurso en el largo plazo.

En síntesis, los resultados obtenidos evidencian que la laguna Acucocha presenta condiciones óptimas en términos de calidad microbiológica, estabilidad fisicoquímica, baja presencia de metales pesados y adecuada disponibilidad hídrica. No obstante, la sostenibilidad del sistema depende de la implementación de estrategias de gestión integral que incluyan el monitoreo permanente, el control de actividades antrópicas en la microcuenca y la mejora de la infraestructura de tratamiento y distribución del agua potable. En este contexto, la evidencia sugiere que el recurso hídrico es adecuado en origen, pero su aprovechamiento seguro y sostenible dependerá de una gestión eficiente y de la conservación del ecosistema.

CONCLUSIONES

1. La evaluación microbiológica del agua de la Laguna Acucocha demuestra que presenta condiciones sanitarias óptimas, evidenciadas por concentraciones inferiores al límite de cuantificación para coliformes totales y fecales (<1.8 NMP/100 mL). Estos valores cumplen ampliamente los estándares establecidos para la categoría 1-A del D.S. N.º 004-2017-MINAM, lo que indica ausencia de contaminación fecal reciente y confirma la aptitud microbiológica del recurso como fuente de abastecimiento para consumo humano.
2. Los parámetros fisicoquímicos analizados (dureza total, cloruros, sulfatos y nitratos) se encuentran dentro de rangos aceptables y compatibles con la normativa vigente, demostrando que la composición del agua es estable y no representa riesgo para los procesos de potabilización. La dureza moderada (84 mg/L) y la baja concentración de sales y nutrientes evidencian que el agua requiere tratamientos convencionales sin necesidad de correcciones químicas complejas.
3. La presencia de metales pesados y compuestos orgánicos peligrosos se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles, según el D.S. N.º 004-2017-MINAM y los lineamientos de la OMS. Este resultado señala que la laguna no presenta cargas tóxicas que comprometan la salud pública o la integridad del sistema de potabilización. Asimismo, la ausencia de trihalometanos (THMs) en el agua cruda reduce la posibilidad de formación de subproductos nocivos durante la desinfección.
4. En conjunto, los resultados físicos, químicos y microbiológicos confirman que la calidad del agua de la Laguna Acucocha tiene un impacto positivo en el suministro de agua potable para la población de Pasco, ya que facilita la operación eficiente de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) al reducir la demanda de desinfección, minimizar riesgos sanitarios y asegurar la disponibilidad de un recurso hídrico seguro y conforme a la normativa ambiental y sanitaria vigente.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un programa de monitoreo integral y continuo de la Laguna Acucocha, que incluya evaluaciones mensuales de parámetros microbiológicos, fisicoquímicos y de metales pesados. Esto permitirá detectar oportunamente variaciones estacionales, posibles eventos de contaminación, y garantizar que la calidad del agua se mantenga dentro de los estándares establecidos para consumo humano.
2. Fortalecer la infraestructura y operación de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de Uliachín y Yurajhuanca, priorizando el adecuado mantenimiento de equipos de desinfección, dosificación de coagulantes y sistemas de filtración. Dado que el agua de Acucocha presenta características favorables, una gestión eficiente de estas plantas asegurará la potabilización con costos operativos moderados y altos niveles de seguridad sanitaria.
3. Establecer medidas de protección y conservación de la microcuenca de Acucocha, con énfasis en controlar actividades ganaderas, mineras y de tránsito que puedan influir negativamente en la calidad del agua. La creación de una zona de amortiguamiento hídrica y la vigilancia articulada con ANA, OEFA y el Gobierno Regional de Pasco contribuirían a prevenir futuros procesos de contaminación.
4. Diseñar e implementar campañas de educación ambiental y participación ciudadana, dirigidas a las comunidades cercanas y usuarios del sistema de abastecimiento, con el fin de promover buenas prácticas en el cuidado del recurso hídrico, fortalecer la percepción de riesgo y fomentar el uso responsable del agua tratada. Estas acciones consolidarán una gestión sostenible del recurso a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adelekan, B. A., & Ogunde, A. O. (2022). Quality of well water and lagoon water in Lagos, Nigeria and associated health risks. *Journal of Water and Health*.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. Ministerio de Agricultura y Riego.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2020). Lagunas: Reservas de agua dulce en Áncash. Resultados de estudios de batimetría en 38 lagunas glaciares. Ministerio de Agricultura y Riego.
- Elmahdy, E. M., Fongaro, G., Schissi, C. D., & Barardi, C. R. M. (2021). Spatial distribution of enteric viruses and somatic coliphages in a freshwater lagoon used as a source of drinking water and recreation in southern Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Gobierno Regional de Pasco (GOREPA). (2017). Acreditación de disponibilidad hídrica superficial de la laguna Acucocha con fines poblacionales en los distritos de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar. Gobierno Regional de Pasco.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6.^a ed.). McGraw-Hill.
- Huamán, M., et al. (2020). Evaluación de la calidad del agua de la laguna Marvilla en los Pantanos de Villa (Lima, Perú). *Revista Peruana de Biología*.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM: Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua. Gobierno del Perú.
- Ministerio de Salud (MINSa). (2010). Decreto Supremo N.º 031-2010-SA: Reglamento de la calidad del agua para consumo humano. Gobierno del Perú.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (1992). Cadmium. World Health Organization.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2008). Mercury and health. World Health Organization.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2010). Lead in drinking-water. World Health Organization.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). World Health Organization.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). Arsenic. World Health Organization.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum. World Health Organization.

Quiquia, L. (2020). Evaluación de la calidad física y microbiológica del agua de la laguna Acucocha como recurso hídrico potencial para consumo humano en Cerro de Pasco [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Rodellas, V., Garcia-Orellana, J., Tovar-Sánchez, A., Basterretxea, G., López-García, J. M., Sánchez-Quiles, D., & Masqué, P. (2018). Submarine groundwater discharge as a major source of nutrients to coastal lagoons. Scientific Reports.

Silvestre, R. (2024). Evaluación del balance hídrico de la laguna Acucocha para abastecer el agua potable de la población de Cerro de Pasco, Pasco – 2023 [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Stumpp, C., et al. (2024). Hydrological dynamics of lagoon water sources in the Köycegiz-Dalyan lagoon system. Journal of Hydrology.

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2023). Estudio tarifario de EMAPA Pasco S.A. periodo regulatorio 2025–2027. SUNASS.

Westall, J., & Espejo, R. (2021). Water quality and treatment implications of trace metals. Water Research..

ANEXOS

Anexo 1 Instrumentos de recolección de datos



PERÚ

Ministerio
de Energía y Minas

Viceministerio
de Minas

Dirección
General de Asuntos
Ambientales Mineros

FICHA TÉCNICA PUNTO DE CONTROL DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA

Titular: EMAPA PASCO.

Lugar: LAGUNA ACUCOCHA

Resolución que aprobó punto de control
(De ser nuevo punto omitir dato)

IDENTIFICACION DEL PUNTO

Código de Punto de Control ⁽¹⁾: LA-01

Tipo de Muestra : L
Clase: E
Zona de muestreo ⁽²⁾:
Tipo Procedencia / Ubicación ⁽³⁾: L

L = Líquido G = Gaseoso S = Sólido B = Biológico R = Ruido o Vibración
E = Efluente / Emisión R = Receptor

Descripción ⁽⁴⁾: Laguna Acucocha

UBICACIÓN

Distrito: SIMON BOLIVAR Provincia: PASCO Departamento: PASCO

Cuenca:

Coordenadas U.T.M.

(De Acuerdo al R. J. N° 086-2011-IGM/OAJ/DGC)

Norte: 8807332 Este: 0333315 Zona: 17 (17, 18 o 19)

Altitud: 4522.13 m.sn.m (metros sobre el nivel del mar)

PLAN DE MONITOREO ⁽⁵⁾

Parámetro	Frecuencia de Muestreo	Frecuencia de Reporte
Parámetros como el pH, turbidez, coliformes fecales, coliformes totales, metales pesados.	SEMANAL	SEMANAL



Anexo 2 Ensayos de laboratorio de las muestras de agua



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 120



INFORME DE ENSAYO 123424028

Registro N° LE-120

FR 044

N° de Orden de Servicio : 04240178
N° de Protocolo : 123424028
Cliente : EMAPA PASCO S.A.
Dirección legal del cliente : CENTRO COMERCIAL EDIF. 5 DPTO 2 SAN JUAN - YANOCANCHA
Muestra(s) declarada(s) : Agua natural
Procedencia de la Muestra : Muestreado por el Área de Operaciones de ITS del Perú S.A.C.
Nombre del proyecto: Monitoreo de la calidad de agua para consumo humano de los sistemas de abastecimiento administrado por la EPS Emapa Pasco S.A. correspondiente al año 2024
Lugar del proyecto: Fuente de abastecimiento - Laguna Acucocha - Comunidad de Racracancha
Cantidad de Muestra(s) para ensayo : 01 muestra
Forma de Presentación : 02 frascos de plástico estéril de 250mL
03 frascos de plástico de primer uso de 500mL
Identificación de la Muestra : Código de laboratorio 08-21028
Fecha de recepción de muestra(s) : 2024-08-21
Fecha de Inicio del Análisis : 2024-08-21
Fecha de Fin del Análisis : 2024-08-25
Fecha de Emisión de Informe : 2024-09-04

Código de Laboratorio		08-21028	
Código de Punto de Muestreo		LA-01	
Descripción del Punto de Muestreo		Laguna Acucocha	
Fecha Inicial / Hora de Muestreo		20-08-2024 14:30 Hrs	
Fecha Final / Hora de Muestreo		20-08-2024 16:12 Hrs	
Tipo de Muestra		Aguas superficiales	
Coordenadas del Punto de Muestreo		E 0333315 N 8807332 4522.13 m.s.n.m.	
Parametros microbiológicos			
Parámetro de Ensayo	Unidades	Resultados	
COLIFORMES TOTALES	NMP/100mL	< 1,8	
COLIFORMES FECALES*	NMP/100mL	< 1,8	
Parametros fisicoquímicos			
Parámetro de Ensayo	Unidades	Límite de Cuantificación de Método	Resultados
DUREZA TOTAL	mg CaCO ₃ /L	1	84
CLORUROS	mg/L	1	60
SULFATO	mg/L	0,6	15,4
NITRATOS	mg (NO ₃) ⁻ - N/L	0,04	0,04

Observaciones:

(*) Equivale a Coliformes termotolerantes.

Los ensayos fueron realizados en Av. Wiese N° 3840 (1er y 3er piso).

1 de 2

El informe de ensayo sólo es válido para las muestra referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERÚ S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas. INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERÚ S.A.C. Deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERÚ S.A.C.

Versión: 05 Fecha de revisión: 02/09/2024

Av. Wiese 3840 1er piso - San Juan de Lurigancho, Lima - Perú
Teléfono (01) 750 4454 - info@itsper.com - ventas@itsper.com - web www.itsper.com

INFORME DE ENSAYO 123424028

Registro N° LE-120

FR 044

Metodologías

Parámetro	Método de Referencia
COLIFORMES TOTALES	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B y C, 24th Ed. 2023. Multiple-Tube Fermentation Technique for members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
COLIFORMES FECALES	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E 1, 24th Ed. 2023. Multiple-Tube Fermentation Technique for members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium).
DUREZA TOTAL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 24th Ed. 2023. Hardness. EDTA Titrimetric Method.
CLORUROS	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 Cl- B, 24th Ed. 2023. Chloride. Argentometric Method.
SULFATO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 SO42= E, 24th Ed. 2023. Sulfate. Turbidimetric Method.
NITRATOS	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 NO3- E, 24th Ed. 2023. Nitrogen(Nitrate) Cadmium Reduction Method.

Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.


Ing. Alex Herlyn Depaz Ramos
C.I.P. 225833
Jefe de Química

INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERU S.A.C.
LABORATORIO
Fin de documento


Blga. Mblga. Melissa Avalos Tiburcio
C.B.P. 12859
Jefa de Biología

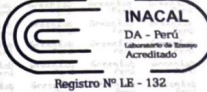
2 de 2

El informe de ensayo sólo es válido para las muestra referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se aplican por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERU S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas. INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERU S.A.C. Deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERU S.A.C.

Versión: 05 Fecha de revisión: 02/09/2024

Av. Wiese 3840 1er piso - San Juan de Lurigancho, Lima - Perú
Teléfono (01) 750 4454 - info@itsper.com - ventas@itsper.com - web www.itsper.com

Anexo 3 Ensayo de laboratorio Green Lab Perú

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 132	 INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE - 132
INFORME DE ENSAYO N°2409-53 CON VALOR OFICIAL		
Razón Social del cliente	: EMAPA PASCO S.A	
Domicilio Legal	: PQ. EL COMERCIO N° 05 (EDIF 05. DPTO 02) PASCO - YANACANCHA	
Solicitado Por	: CORPORACION DE LABORATORIOS ANALITICOS S.A.C.	
Referencia	: OS N° 2408-148 / COT N° 2408-72	
Proyecto	: MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO	
Procedencia	: FUENTE DE ABASTECIMIENTO - LAGUNA ACUCOCHA- COMUNIDAD RACRACANCHA	
Muestreo Realizado Por	: GREENLAB PERU S.A.C.	
Cantidad de Muestra	: 1	
Producto	: AGUA	
Plan de Muestreo	: PM N° 2408-148	
Fecha de Recepción	: 2024-09-03	
Hora de Recepción	: 18:00	
Periodo de Ensayo	: Del 2024-09-03 al 2024-09-06	
Fecha de Emisión		
Gracias por utilizar los servicios de Greenlab Peru S.A.C. Pongase en contacto con el Ejecutivo de Ventas, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen a este informe.		
Informe Autorizado por:	 Karin Loayza O. Jefe de Laboratorio	 Juan Ramirez M. Jefe de Calidad C.I.P. N° 264960
Nota: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. GREENLAB PERÚ S.A.C. deslinda la responsabilidad de la información proporcionada por el cliente, así también, si las muestras han sido suministradas por el mismo, los resultados se aplican a las muestras como se reciben.		
1 de 3		
Calle Santa Angélica N° 285 Urb. Santa Luisa - San Martín de Porres - Lima Cel. 958 617 345 959 833 693 www.greenlabperu.com		

INFORME DE ENSAYO N°2409-53
CON VALOR OFICIAL

I. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Código del Laboratorio : 2409-53-I
Código de la muestra : LA-01
Fecha muestreo : 2024-08-20
Hora muestreo : 15:36
Categoría : AGUA NATURAL
Sub categoría : AGUA SUPERFICIAL
Coordenadas (WGS-84) : E: 0333315
N: 8807332

Parámetros	Unidad	L.C.M.	Resultados
Análisis Instrumentales:			
- Metales Totales:			
- Aluminio	mg/L	0,015	0,029
- Arsénico	mg/L	0,005	< 0,005
- Bario	mg/L	0,001	< 0,001
- Berilio	mg/L	0,001	< 0,001
- Boro	mg/L	0,006	< 0,006
- Cadmio	mg/L	0,0003	< 0,0003
- Calcio	mg/L	0,006	1,414
- Cerio	mg/L	0,051	< 0,051
- Cobalto	mg/L	0,006	< 0,006
- Cobre	mg/L	0,001	0,002
- Cromo	mg/L	0,001	< 0,001
- Hierro	mg/L	0,003	< 0,003
- Potasio	mg/L	0,102	0,381
- Litio	mg/L	0,001	< 0,001
- Magnesio	mg/L	0,01	0,14
- Manganeso	mg/L	0,0002	0,0110
- Mercurio	mg/L	0,0001	< 0,0001
- Molibdeno	mg/L	0,001	< 0,001
- Sodio	mg/L	0,008	0,138
- Níquel	mg/L	0,001	< 0,001
- Fósforo	mg/L	0,022	< 0,022
- Plomo	mg/L	0,002	< 0,002
- Plata	mg/L	0,0048	< 0,0048
- Antimonio	mg/L	0,004	< 0,004
- Selenio	mg/L	0,003	< 0,003
- Silicio	mg/L	0,003	0,268
- Estaño	mg/L	0,002	< 0,002
- Estroncio	mg/L	0,00013	0,01538
- Titanio	mg/L	0,002	0,006
- Talio	mg/L	0,0005	< 0,0005
- Vanadio	mg/L	0,0005	< 0,0005
- Zinc	mg/L	0,0003	0,0450

Leyenda:
L.C.M.: Límite de cuantificación del Método
<: Menor que el L.C.M. indicado
Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

Nota:

Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. GREENLAB PERÚ S.A.C. deslinda la responsabilidad de la información proporcionada por el cliente, así también, si las muestras han sido suministradas por el mismo, los resultados se aplican a las muestras como se reciben.

**INFORME DE ENSAYO N°2409-53
CON VALOR OFICIAL**

II. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO ENSAYO

NORMA REFERENCIAL

TÍTULO

— Metales Totales: Plata, Aluminio, Arsénico, Bario, Berilio, Boro, Calcio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cerio, Cobre, Hierro, Potasio, Litio, Magnesio, Manganoso, Molibdeno, Mercurio, Sodio, Níquel, Fosforo, Plomo, Antimonio, Selenio, Silicio (SiO₂), Estroncio, Estaño, Titanio, Talio, Vanadio, Zinc

EPA Method 200.7, Revisión 4.4 (1994)

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

III. PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO

PO-01 Procedimiento General de Muestreo

PO-02 Transporte, Almacenamiento-Mantenimiento de Equipos y Materiales

PO-03 Aseguramiento de Calidad en el Muestreo

PO-07 Muestreo de Calidad de Aguas Naturales

IV. OBSERVACIONES

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente.

El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde la toma de la muestra y dependiendo del parámetro a ser analizado.

*****FIN DEL INFORME*****

Nota:

Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. GREENLAB PERÚ S.A.C. deslinda la responsabilidad de la información proporcionada por el cliente, así también, si las muestras han sido suministradas por el mismo, los resultados se aplican a las muestras como se reciben.

Anexo 4 Informe de laboratorio microbiológico



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-099



INFORME DE ENSAYO N° 000159137

CLIENTE: EMAPA PASCO SOCIEDAD ANONIMA
DOMICILIO LEGAL: PQ. EL COMERCIO NRO. 5- (EDIFICIO 05 DEPTO 02) PASCO - PASCO - YANACANCHA (PASCO)
REFERENCIA CLIENTE: LA-01
CÓDIGO TYPESA: 000145636
MATRIZ: Agua natural, Agua superficial - LagunaLago
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Colización N° 00020013771
Monitoreo realizado por CORLAN SAC
Aproximadamente 250ml de muestra de agua natural superficial
Tomada por el cliente
DESCRIPCIÓN PROCEDIMIENTO TOMA DE MUESTRA: Despejado
CONDICIONES AMBIENTALES EN LA TOMA DE MUESTRAS: N:8807332 / E:333315 Cerro de Pasco
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO: 26/08/2024 03:00:00 p.m.
FECHA DE TOMA: 27/08/2024
FECHA DE RECEPCIÓN: 27/08/2024 - 19/09/2024
FECHA DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS:

RESULTADOS ANALITICOS MICROBIOLOGIA					
Parametro	Unidad	Resultado	Metodo	Técnica Empleada	L.C
Conteo de heterótrofos en placa	UFC/mL	11	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9215 B, 24th Ed. 2023	Heterotrophic Plate Count, Pour Plate Method, 35°C/48h, PCA agar	1

Callao, 19 de Setiembre de 2024



Fdo. Jorge Alberto Neyra Ariza
Jefe de Laboratorio de Hidrobiología
CBP N° 8303

L.C. Límite de cuantificación/L.D. Límite de detección
(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA
NOTA:
Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de TYPESA, S.A. Sucursal del Perú. Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/multilateral de los miembros firmantes de IAAC e ILAC. Las muestras serán conservadas de acuerdo con el periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendario después de la recepción en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. El laboratorio TYPESA no se responsabiliza del origen o fuente de las muestras y su información cuando es proporcionada por el cliente.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce
LABORATORIO TYPESA PERÚ, Urb. Parque Industrial Callao, C/ Delta, 268, Callao. Tel 811-711-8736/711-8753 E-mail: labores@typesa.com

Anexo 5 Fotografías en el lugar de la laguna Acucocha

Lugar de Ingreso a la Laguna



Zona del punto de monitoreo



Lugar de medición del caudal de la laguna



Zona donde se tiene la compuerta para regular la salida del agua



Canal de salida de agua de la laguna, el cual abastece a la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Cerro de Pasco.



Matriz de consistencia

Título: Impacto de la Calidad del Agua de la Laguna Acucocha en el Suministro de Agua Potable en Pasco

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	MUESTRA	DISEÑO	ESTADISTICA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	V.I	Población	Método	
¿Cuál es el impacto de la calidad del agua de la Laguna Acucocha en el suministro de agua potable en Pasco?	Evaluar el impacto de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la Laguna Acucocha en el suministro de agua potable para consumo humano en Pasco	La calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la Laguna Acucocha tiene un impacto significativo en la calidad del suministro de agua potable para consumo humano en Pasco.	Calidad del Agua de la Laguna Acucocha.	Parámetros ambientales de calidad del Agua de la Laguna Acucocha	Hipotético - deductivo	Estadística Inferencial
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	V.D	Muestra	Nivel de investigación	Validación de hipótesis
¿Cuál es el nivel de contaminación microbiológica del agua de la Laguna Acucocha para uso en agua potable?	Determinar el nivel de contaminación microbiológica del agua de la Laguna Acucocha mediante la evaluación de coliformes totales, coliformes fecales y conteo de bacterias heterótrofas.	El nivel de contaminación microbiológica del agua de la Laguna Acucocha cumple con los estándares de calidad establecidos para el suministro seguro de agua potable.	Suministro de Agua Potable en Pasco	Muestreo intencionado no probabilístico	Causal	Pruebas no paramétricas
¿Cómo afecta la composición fisicoquímica del agua de la Laguna Acucocha al suministro de agua potable en Pasco?	Analizar la composición fisicoquímica del agua mediante la cuantificación de parámetros como dureza total, cloruros, sulfatos y nitratos.	La composición fisicoquímica del agua de la Laguna Acucocha influye directamente en la calidad del agua potable suministrada en Pasco.		No Experimental	Diseño	T Student
¿Qué presencia tienen los metales pesados y trihalometanos en el agua de la Laguna Acucocha y cómo afectan al suministro de agua potable en Pasco?	Evaluar la presencia de metales pesados y compuestos orgánicos peligrosos (trihalometanos) en el agua para verificar el cumplimiento con límites permisibles y prevenir riesgos para la salud.	La presencia de metales pesados y trihalometanos en el agua de la Laguna Acucocha está dentro de los límites permisibles, lo que garantiza un suministro seguro de agua potable para la población de Pasco.				