

Evaluación de parámetros físico y químicos de Tres Lagunas del Glaciar Quelcaya, Distrito Pitumarca, Canchis, Cusco, Perú

Evaluation of Physicochemical Parameters of Three Lagoons of the Quelcaya Glacier, Pitumarca District, Canchis, Cusco

Elizabeth Sánchez-Franco¹ , Violeta E. Zamalloa-Acurio¹ , Rey C. Loayza-López¹ 

¹Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Av. La Cultura, 733, Cusco, Cusco, Perú

Correspondencia:

Elizabeth Sánchez-Franco
114221@unsaac.edu.pe

Cómo citar:

Sánchez-Franco, E., Zamalloa-Acurio, V. F., & Loayza-López, R. C. (2025). Evaluación de Parámetros Físico y químicos de Tres Lagunas del Glaciar Quelcaya, Distrito Pitumarca, Canchis, Cusco, Perú. *Cantua*, 22(2), 36-42. <https://doi.org/10.51343/cantu.v22i2.2116>

Recibido: 07 jul 2025

Aprobado: 04 ene 2026

Publicado: 23 ago 2026

Copyright © 2025 Publicado por Cantua. Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia CC BY (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco



Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar los parámetros físicos y químicos del agua de tres lagunas altoandinas ubicadas en las faldas del glaciar Quelcaya (distrito de Pitumarca, Canchis, Cusco), a una altitud superior a los 5100 m s. n. m. Se realizó un análisis cuantitativo de la temperatura, sólidos totales disueltos (STD), conductividad eléctrica (CE), pH, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), dureza total y cloruros. Los análisis se efectuaron mediante métodos estandarizados: Winkler para OD y DBO5, volumetría con EDTA para dureza total, método de Mohr para cloruros, y técnicas electroquímicas para pH, CE y STD. Los resultados indicaron que la mayoría de los parámetros en las tres lagunas cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (Categoría 4). Sin embargo, la laguna 2 presentó valores de DBO5 que superaron el límite establecido, mientras que las lagunas 2 y 3 registraron concentraciones de cloruros por encima de los valores referenciales. Se concluye que, si bien el agua de las lagunas es mayormente aceptable según la normativa vigente, las alteraciones puntuales observadas evidencian la necesidad de un monitoreo continuo.

Palabras clave: laguna altoandina, parámetros fisicoquímicos, Quelcaya

Abstract

The objective of this study was to evaluate the physical and chemical parameters of water in three High-Andean lagoons located at the foothills of the Quelcaya glacier (Pitumarca district, Canchis, Cusco), at an altitude exceeding 5100 m a.s.l. A quantitative analysis of temperature, total dissolved solids (TDS), electrical conductivity (EC), pH, dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand ($\text{BOD}_{5\text{S}}$), total hardness, and chloride levels was conducted. Analyses were performed using standardized methods: the Winkler method for DO and $\text{BOD}_{5\text{S}}$, EDTA titrimetry for total hardness, Mohr's method for chlorides, and electrochemical techniques for pH, EC, and TDS. The results indicated that most parameters across the three lagoons complied with the Environmental Quality Standards (ECA) for water (Category 4). However, Lagoon 2 exhibited $\text{BOD}_{5\text{S}}$ values exceeding the established limit, while Lagoons 2 and 3 recorded chloride concentrations above reference values. It is concluded that although the water quality in the evaluated lagoons is largely acceptable under current regulatory standards, the observed point variations underscore the need for continuous monitoring.

Keywords: High-Andean lagoon, physicochemical parameters, Quelcaya

INTRODUCCIÓN

Matas et al. (2000) indica que la calidad del agua, es la capacidad intrínseca que tiene el agua para responder a los usos y a las condiciones adecuadas que mantengan un ecosistema equilibrado. Asimismo, constituye un conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas. Para (Curo et al., 2023) los glaciares se define como una masa de hielo y nieve, que se originan en la superficie de la tierra como resultado del proceso de acumulación, posterior compactación y recristalización de nieve u otras formas de precipitación sólida. La formación de un glaciar (Rivera, 2017) se debe a la materia prima a partir de la cual se origina el hielo glaciar, por consiguiente, los glaciares se forman en áreas donde las bajas temperaturas permiten grandes precipitaciones de nieve con permanencia de estas durante todo el año, como se evidencia en las altas cordilleras. Las aguas subterráneas o aguas del subsuelo, agua subsuperficial, o aguas freáticas son aguas que se encuentran saturando los poros, grietas, cavidades del material consolidado y no consolidado ubicados bajo la superficie terrestre (Rivera, 2017).

El agua es el elemento clave e integrador porque permite el desarrollo de la vida, las actividades productivas, económicas y ambientales de cual país y ciudad (Vásquez, et al., 2016). En Perú el agua es un recurso potencial sobre todo en las zonas altoandinas, donde existen diferentes fuentes de agua como: superficiales, subterráneas, lagos, lagunas, puquiales, manantiales; etc., que deben ser conservadas y garantizar agua de buena calidad en forma sostenible (Vásquez, et al., 2016). El glaciar Quelcaya, ubicado en la cordillera de Vilcanota, es el mayor glaciar tropical del mundo y uno de los más vulnerables frente al cambio climático. Estudios recientes evidencian que el retroceso glaciar en esta cordillera está asociado a incrementos de temperatura y modificaciones en los cuerpos de agua adyacentes (Barrientos, 2023). Sin embargo, la información científica sobre la evaluación de parámetros físicos y químicos como parte de la calidad ambiental del agua de las lagunas ubicadas en las faldas del glaciar Quelcaya es aún limitada, lo que resalta la necesidad de realizar investigaciones que permitan evaluar su estado actual y contribuir a su monitoreo y conservación.

La determinación de la calidad de agua en sus propiedades físicas y químicas es esencial para diferentes usos, implica el análisis de diversos parámetros, que permiten determinar si el agua es apta para el consumo humano, la vida acuática, la recreación o la agricultura. Los parámetros físicos y químicos de las lagunas son de especial importancia para entender el impacto del glaciar en la calidad del agua y para identificar posibles fuentes de contaminación.

En este contexto, el presente trabajo fue evaluar los parámetros físicos y químicos del agua de tres lagunas altoandinas (1, 2 y 3) ubicadas en las faldas del glaciar Quelcaya.

METODOLOGÍA

El área de estudio se realizó en tres lagunas de origen glaciar (1, 2 y 3) ubicadas en las faldas del glaciar Quelcaya, distrito de Pitumarca, provincia de Canchis, región Cusco, Perú (tabla 1), a una altitud promedio de 5100 m.s.n.m. El área pertenece a la ecorregión puna y altos Andes, caracterizada por bajas temperaturas, alta radiación solar y presencia de cuerpos de agua lénticos alimentados por el deshielo glaciar.

La investigación fue de tipo cuantitativa, con un diseño descriptivo y transversal, orientada a determinar los parámetros físicos y químicos en muestras puntuales de agua superficial. La metodología aplicada fue métodos estandarizados.

Método Winkler

Para la determinación del oxígeno disuelto y DBO (APHA, 2017), se fundamenta en que el oxígeno presente en las muestras de agua convierte el ion yoduro a yodo y la cantidad de yodo que se produce se mide utilizando la titulación con una solución de tiosulfato sódico con una concentración conocida.

$$OD(mg / l) = \frac{8000 \cdot X \cdot T \cdot V_1}{V \cdot (V_1 \cdot 2)}$$

Donde:

X = ml de la solución de tiosulfato sódico.

V = Volumen de la parte alícuota.

V₁ = Volumen captado de la muestra

T = Normalidad de la solución de tiosulfato sódico utilizado (0,125 N).

$$DBO = OD_1 - OD_2$$

OD₁ = En el momento de primer muestreo

OD₂ = Después de 5 días a 20 °C

Método EDTA para la determinación de dureza total (ácido etilendiaminotetraacético)

Es un método de titulación complejo métrica utilizado principalmente para determinar la concentración de iones metálicos en una solución. EDTA es un agente quelante que se une a los iones metálicos para crear complejos estables, lo que permite medir su concentración de manera precisa (APHA, 2017)(tabla 2).

$$DT(mg/l) = \frac{N \cdot V_{EDTA} \cdot 100000}{V}$$

Donde:

V = Volumen de la muestra de agua (en ml)

DT = Dureza total del agua en mg/l de CaCO₃

N = Normalidad del EDTA (equiv/l)

V_{EDTA} = Volumen de EDTA gastado en la titulación (en litros o m)

Método MORH

Es una técnica analítica química para determinar la concentración de iones de cloruro (Cl⁻) bromuro (Br⁻) o cianuro (CN⁻) en una solución. Se basa en la formación de un precipitado de cloruro de plata (AgCl) en presencia de iones de plata (Ag⁺) seguido de la formación de un precipitado de cromato de plata (Ag₂CrO₄) como indicador de punto final (APHA, 2017).

$$\text{Cloruros}(\text{mg} / \text{l}) = \frac{V_{\text{AgNO}_3} \cdot N_{\text{AgNO}_3} \cdot \text{PM}_{\text{Cl}} \cdot 1000}{V}$$

Donde:

V = Volumen de la muestra valorada (en ml)

V AgNO₃ = Volumen de nitrato de plata gastado

N AgNO₃ = Normalidad del nitrato de plata

PM_{Cl} = Peso molecular del ion cloruro, 35.5 g/mol

1000: Factor de conversión en mg/l

Método Electroquímico

Empleando instrumentos digitalizados para medir el pH (Potenciometro digital) y medidor de Conductibilidad en micro simiems

Evaluación de parámetros Físicos

Para la evaluación de los parámetros físicos del agua se utilizaron el método de medición electroquímica para sólidos totales y termogravimétrica para temperatura empleando un termómetro digital con sensor que permitieron obtener mediciones precisas.

Los sólidos totales disueltos (ppm) fueron determinados mediante un medidor digital especializado, permitiendo obtener lecturas inmediatas y confiables.

RESULTADOS

La temperatura del agua registrada en las tres lagunas varió entre 3 y 9 °C, valores característicos de ambientes altoandinos de origen glaciar. Estos valores se encuentran dentro de los rangos aceptables establecidos por la normativa ambiental para cuerpos de agua superficiales de categoría 4.

Los sólidos totales disueltos presentaron valores comprendidos entre 1 y 10 mg/L en las tres lagunas evaluadas, los cuales se encuentran por debajo del límite máximo permitido por los ECA (≤ 25 mg/L), evidenciando una baja concentración de sustancias disueltas.

La conductividad eléctrica mostró valores muy bajos en las tres lagunas, inferiores al límite máximo establecido por la normativa ambiental (≤ 1000 μS/cm), lo que indica una escasa mineralización del agua.

El pH del agua osciló entre 6,7 y 7,35. La laguna 1 presentó valores ligeramente ácidos, mientras que las lagunas 2 y 3 mostraron valores cercanos a la neutralidad. Todos los valores registrados se encuentran dentro del rango permitido por los ECA para la categoría evaluada.

Las concentraciones de oxígeno disuelto variaron entre 5,37 y 12,08 mg/L en las tres lagunas, superando el valor mínimo establecido por la normativa ambiental (≥ 5 mg/L), lo que indica condiciones adecuadas para la vida acuática.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) presentó valores bajos en las lagunas 1 y 3, encontrándose dentro de los límites establecidos por los ECA. No obstante, la laguna 2 registró un valor de 8,72 mg/L, superando el valor máximo permitido para la categoría 4.

La dureza total del agua mostró valores bajos en las tres lagunas, clasificándose como aguas blandas, de acuerdo con los rangos establecidos para este parámetro.

Tabla 1. Coordenadas UTM de las tres lagunas evaluadas

Lugar	Lagunas	Coordenadas UTM - WGS84 19L		
		Norte	Este	Altitud
Lagunas	1	8458701	299667	5203.0
	2	8459109	299647	5221.6
	3	8460221	300448	5224.9

Tabla 2. Clasificación de la dureza del agua

Tipo de agua	Límite (mg/L) de CaCO ₃
Aguas blandas	[0 – 75]
Aguas Moderadamente Duras	[75 – 150]
Aguas Duras	[150 – 300]
Aguas Muy Duras	[300 – más]

Nota. <https://francisco47.wordpress.com/2011/02/13/calidad-del-agua-i-calidad-quimica/>

Tabla 3. Parámetros físicos y químicos de las aguas de las tres lagunas

Lagunas	Temperatura °C	Sólidos Totales ppm (mg/L)	pH	Conductibili- dad (uS/cm)	Oxígeno disuelto 1 (mg/L)	Oxígeno disuelto 2 (mg/L)	Demanda Bioquímica Oxígeno (mg/L)	Dureza (mg/L)	Cloru- ros
ECA	Δ3	≤25	6.5 - 9	1000	≥5	≥5	5	0 - 75	250
01	3.2	10	6.7	18	6.71	2.69	4.03	Aguas blandas	150.2
02	5.3	8	7.09	16	12.08	3.36	8.72	Aguas blandas	35.4
03	9.6	1	7.35	2	5.37	2.01	3.35	Aguas blandas	450.5

Las concentraciones de cloruros registradas fueron de 150,2 mg/L en la laguna 1, 350,4 mg/L en la laguna 2 y 450,5 mg/L en la laguna 3. De acuerdo con los valores referenciales de calidad de agua, la laguna 1 se encuentra dentro del límite permitido, mientras que las lagunas 2 y 3 superan los valores establecidos para otras categorías de uso.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian que la calidad ambiental del agua de las lagunas 1, 2 y 3 del glaciar Quelcaya es, en general, adecuada según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 4. Los valores de temperatura registrados (3–9 °C) son característicos de ecosistemas altoandinos de origen glaciar y coinciden con lo reportado por Barrientos (2023) y Izaguirre (2021), quienes señalan que la temperatura del agua en lagunas glaciales se mantiene baja debido a la altitud y al aporte constante de deshielo.

El pH de las aguas evaluadas presentó valores entre 6,7 y 7,35, lo que indica condiciones cercanas a la neutralidad. Estos resultados son similares a los reportados por Crisanto e Iannacone (2023) en cuerpos de agua altoandinos, donde la ligera acidez o basicidad está asociada a la disolución de minerales presentes en las rocas circundantes. En el caso del glaciar Quelcaya, la exposición de materiales rocosos producto del retroceso glaciar podría explicar estas variaciones de pH sin representar, por el momento, un riesgo significativo para el ecosistema acuático.

Las concentraciones de oxígeno disuelto oscilaron entre 5,37 y 12,08 mg/L, valores que superan el mínimo establecido por la normativa ambiental (≥ 5 mg/L), lo cual indica condiciones favorables para la vida acuática. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Humerez et al. (2022), quienes reportan altos niveles de oxígeno disuelto en ecosistemas glaciales debido a las bajas temperaturas y a la escasa carga orgánica. No obstante, la laguna 2 presentó un valor de DBO₅ de 8,72 mg/L, superando el límite establecido por los ECA, lo que sugiere la presencia de materia orgánica biodegradable. Esta condición podría estar asociada a aportes naturales o a actividades humanas esporádicas en la zona, tal como lo describe Sierra (2017) en estudios similares en ambientes de montaña.

En cuanto a la dureza total, los valores obtenidos clasifican a las aguas de las tres lagunas como aguas

blandas, lo que concuerda con lo reportado por Izaguirre (2021) en lagunas alimentadas por glaciares, donde la baja interacción agua-roca limita la disolución de calcio y magnesio. De manera similar, los bajos valores de conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos reflejan una escasa mineralización, típica de cuerpos de agua ubicados en zonas de alta montaña y poco intervenidas (Vásquez et al., 2016).

Por otro lado, las concentraciones de cloruros registradas en las lagunas 2 y 3 superaron los valores referenciales establecidos para otras categorías de calidad de agua. Este incremento puede atribuirse principalmente a factores naturales, como la composición geológica del área, donde predominan rocas ígneas ácidas de tipo dacítico, cuya meteorización y erosión glaciar favorecen la liberación de iones al medio acuático (Rivera, 2017). Este comportamiento ha sido descrito también por Crisanto & Iannacone (2023) en ecosistemas andinos afectados por procesos geoquímicos naturales.

Entre las limitaciones del estudio se considera el carácter puntual del muestreo y la ausencia de análisis microbiológicos, lo que restringe una evaluación integral de la calidad del agua. Sin embargo, una de las principales fortalezas de la investigación es la generación de información científica en una zona de alta vulnerabilidad climática y escasamente estudiada, lo que constituye una base importante para futuros programas de monitoreo ambiental en el glaciar Quelcaya.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- American Public Health Association. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.). APHA.
- Barrientos, M. (2023). Evolución del Retroceso Glaciar de los Nevados Japu Punta y Yayamari en Contexto de Cambio Climático, en la Cordillera Vilcanota, Departamento Cusco - Perú. Cusco.
- Brack, A., & Mendiola, C. (2004). *Ecología del Perú*. Lima: Bruño, Biblioteca Nacional.
- Crisanto, N., & Iannacone, J. (2023). *Evaluación del impacto de la acidificación en la calidad del agua de la quebrada Quilcayhuanca, Ancash, Perú*. Anchash.
- Curo, Y., Celmi, G., Mejía, M., & Fernández, J. (2023). *Memoria Descriptiva del Inventario Nacional de*

- Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar*. Ancash: Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).
- Humerez, E. S., Umeda, M., Paz, O. A., España, C. D., & Mendoza, J. (2022). *Predicciones Futuras de la Calidad del Agua en un Río de Glaciar Tropical Bajo el Efecto del Cambio Climático*. La Paz.
- Izaguirre, M. (2021). *Impactos del Retroceso Glaciar y Disponibilidad Hídrica en la Subcuenca Lhullán-Parón, Cuenca del Río Santa*. Lima.
- Matas, J., Tocino, I., & Cabezas, F. (2000). *Libro blanco del agua en España*. Centro de Publicaciones Secretaría general Técnica.
- Rivera, H. (2017). *Geología General*. Lima: Megabyte S.A.C.
- Sierra, J. (2017). *Evaluación de la Disponibilidad Hídrica Glaciar del Nevado Ampay en los Periodos de 1986 al 2017 y con una Tendencia al 2050 en la Microcuenca del Río Mariño de la Provincia de Abancay–Apurímac, año 2017*. Abancay.
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz, J., Vázquez C., Castro A., Tapia M. & Alcántara, J. (2016). *Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina-UNALM.