



Evaluación de la concentración de metales pesados y su relación con la calidad del agua del Río Coata - Puno

Evaluation of the concentration of heavy metals and their relationship with the water quality of the Coata River - Puno

Luis Mijael Chambi Huanca^{1,*} 

¹ Investigador independiente, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4336-7721>, CORREO: luismijaelch@gmail.com

Resumen

El río Coata, ubicado en la región Puno, fue uno de los principales afluentes que desembocaron en el lago Titicaca y presentó una problemática asociada a la contaminación hídrica. En este contexto, las variables de estudio fueron la concentración de metales pesados y la calidad del agua, evaluada mediante el Índice de Calidad Ambiental del Perú. El objetivo de la investigación fue evaluar la concentración de metales pesados y su relación con la calidad del agua del río Coata, región Puno, durante las épocas de lluvia y seca del año 2024. La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, fue de tipo descriptivo y de diseño no experimental-transversal. La muestra comprendió tres puntos de muestreo: Puente Independencia, Puente Grande y desembocadura del río Coata. Se analizaron parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y 16 metales pesados, los cuales fueron contrastados con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría III. Los resultados evidenciaron que la mayoría de los metales pesados estuvieron dentro de los límites establecidos; sin embargo, el manganeso presentó leves excedencias en época seca en el punto 2 y el punto 3. Los parámetros fisicoquímicos se mantuvieron, en general, dentro de los valores permitidos, aunque la turbidez alcanzó su valor más alto en época de lluvia. Asimismo, el Índice de Calidad Ambiental del Perú varió entre 84,88 y 100, lo que calificó el agua entre buena y excelente. Se concluyó que el agua del río Coata presentó condiciones generalmente favorables, con calidad buena y excelente, y ligeras excedencias de manganeso en época seca.

Palabras clave: Calidad del agua, contaminación hídrica, manganeso, metales pesados, parámetros fisicoquímicos.

Abstract

The Coata River, located in the Puno region, was one of the main tributaries flowing into Lake Titicaca and presented a problem associated with water pollution. In this context, the study variables were heavy metal concentration and water quality, assessed through the Environmental Quality Index of Peru. The objective of the research was to evaluate heavy metal concentration and its relationship with the water quality of the Coata River, Puno region, during the rainy and dry seasons of 2024. The research adopted a quantitative approach and was descriptive, with a non-experimental cross-sectional design. The sample included three sampling points: Puente Independencia, Puente Grande, and the mouth of the Coata River. Physicochemical and microbiological parameters, as well as 16 heavy metals, were analyzed and compared with the Environmental Quality Standards for Water, Category III. The results showed that most heavy metals remained within the established limits; however, manganese presented slight exceedances during the dry season at point 2 and point 3. In general, physicochemical parameters remained within the permitted values, although turbidity reached its highest value during the rainy season. Likewise, the Environmental Quality Index of Peru ranged from 84.88 to 100, classifying the water as good to excellent. It was concluded that the water of the Coata River presented generally favorable conditions, with good to excellent quality and slight manganese exceedances during the dry season.

Keywords: Heavy metals, manganese, physicochemical parameters, water pollution, water quality.

Recibido: 05/01/2026

Aceptado: 25/03/2026

Publicado: 31/03/2026

*Autor para correspondencia: luismijaelch@gmail.com

Cómo citar: Chambi Huanca, L. M. (2026). Evaluación de la concentración de metales pesados y su relación con la calidad del agua del Río Coata - Puno. *Revista De Investigaciones*, 15(1), 39-50. <https://doi.org/10.26788/ri.v15i1.7733>

Introducción

La cuenca del río Coata, ubicada en la región Puno, constituye uno de los principales afluentes del lago Titicaca y representa una fuente de abastecimiento hídrico para actividades pecuarias, agrícolas y de consumo poblacional. Sin embargo, en los últimos años ha sido recurrentemente señalada por organismos ambientales y medios locales como uno de los cuerpos de agua más afectados por contaminación de origen doméstico, minero y agrícola. Esta problemática no solo compromete la salud ambiental del ecosistema altoandino, sino que también representa un riesgo para la seguridad alimentaria y el bienestar socioeconómico de las comunidades rurales circundantes. En este contexto, la presente investigación se enmarca en el área de Gestión Ambiental y Recursos Naturales, dentro de la línea de Monitoreo y Evaluación de la Calidad Ambiental, con énfasis en el análisis de contaminación hídrica por metales pesados (Maquera, 2022).

La calidad del agua constituye un indicador fundamental para evaluar el estado ambiental de los cuerpos hídricos y su capacidad para sostener la vida acuática, mantener el equilibrio ecológico y satisfacer diferentes usos antrópicos (De Schampelaere y Janssen, 2002). Vega (2021), en su estudio permite identificar alteraciones físicas, químicas y biológicas asociadas a procesos de contaminación, así como establecer medidas de prevención, control y gestión ambiental. Por lo tanto, Espinoza (2022) considera que “la contaminación de medios acuáticos por metales pesados es una de las mayores preocupaciones” la evaluación de la calidad del agua se sustenta en la comparación de los parámetros monitoreados con estándares establecidos por la normativa nacional e internacional, con la finalidad de garantizar la protección del recurso hídrico y evitar su degradación progresiva.

En el contexto peruano, la valoración de la calidad del agua adquiere especial relevancia en cuerpos hídricos que reciben presiones antrópicas derivadas de actividades domésticas, agrícolas, urbanas e industriales (Felipe y Godoy, 2022). Estas presiones pueden modificar las condiciones naturales del agua y comprometer sus usos actuales y potenciales. Por ello, el

monitoreo sistemático de fuentes superficiales se consolida como una herramienta esencial para el diagnóstico ambiental, ya que permite describir sus propiedades fisicoquímicas, detectar focos contaminantes y verificar el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental vigentes (Zamarreño et al., 2020).

Fienco (2024), indica que, dentro de los programas de monitoreo, los parámetros fisicoquímicos representan variables clave para comprender el comportamiento del recurso hídrico. Entre ellos destacan la conductividad eléctrica, la temperatura, el pH, los sólidos disueltos, los cloruros, el oxígeno disuelto y la turbidez, los cuales permiten interpretar el grado de mineralización, la presencia de sales, la estabilidad química del medio, la disponibilidad de oxígeno y la influencia de materiales suspendidos en el agua. Estos indicadores, además de reflejar las condiciones naturales del ecosistema acuático, permiten identificar alteraciones asociadas a procesos de contaminación y aportes de origen antrópico (Förstner y Wittmann, 2012).

La conductividad eléctrica expresa la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y se relaciona directamente con la concentración de iones disueltos. La temperatura influye en la velocidad de las reacciones químicas, en la solubilidad de los gases y en la actividad biológica del sistema acuático (Basualdo y Yacila, 2015). El pH controla el equilibrio ácido-base y condiciona la movilidad y biodisponibilidad de diversos contaminantes. A su vez, los sólidos disueltos y los cloruros aportan información sobre la carga mineral y salina del agua, mientras que el oxígeno disuelto constituye un indicador esencial del equilibrio ecológico y de la capacidad del sistema para sostener vida acuática. Por su parte, la turbidez refleja la presencia de partículas suspendidas que reducen la transparencia del agua y pueden afectar los procesos fotosintéticos y el transporte de contaminantes (González et al., 2017).

Además, Guevara y Marín (2021), de los parámetros fisicoquímicos, la evaluación de la calidad del agua requiere considerar variables hidrológicas como el caudal de descarga y el caudal del cuerpo receptor, debido a que estas influyen en los procesos de dilución, dispersión y transporte de contaminantes. La interpretación conjunta de

estas variables permite comprender de manera más precisa la dinámica del sistema hídrico y los efectos que generan las descargas sobre el ambiente acuático, especialmente en escenarios de variación estacional entre épocas de lluvia y estiaje (Hinojosa y Jarufe, 2024).

Uno de los principales factores de deterioro de la calidad del agua es la contaminación por metales pesados. Estos elementos, presentes de forma natural o incorporados por actividades humanas, representan una amenaza ambiental debido a su persistencia, toxicidad y capacidad de acumulación en el medio acuático (Maquera, 2022). Entre los metales de mayor interés ambiental Moreano (2023), indica que se encuentran el arsénico, cadmio, plomo, mercurio, cobre, zinc, cromo y estaño, los cuales pueden ingresar a los cuerpos de agua a través de actividades extractivas, procesos metalúrgicos, descargas industriales, manejo inadecuado de residuos, agricultura, ganadería y quema de combustibles fósiles.

El estudio de Nina (2025), la presencia de metales pesados en el agua constituye un problema crítico, ya que incluso en bajas concentraciones puede afectar la calidad del recurso, comprometer su uso y generar riesgos para los ecosistemas y la salud humana. Estos contaminantes no se degradan fácilmente, tienden a permanecer en solución o incorporarse a sedimentos y biosólidos, y pueden movilizarse a través del sistema hídrico, ampliando sus efectos sobre diferentes componentes ambientales. Nordstrom (2002), precisa que "Sources include both natural and anthropogenic" (p. 2143), diferenciando en regiones con fuerte influencia minera y geológica, como la región Puno, esta problemática adquiere mayor relevancia debido a la posibilidad de incorporación natural y antrópica de metales en ríos, lagunas y otros cuerpos de agua dulce

El estudio de Ordoño (2025), aborda la evaluación de la calidad del agua y la presencia de metales pesados desde enfoques metodológicos complementarios, lo que permite ampliar la comprensión de esta problemática ambiental en distintos contextos. En primer lugar, Osés et al. (2023), emplea un enfoque mixto que combina análisis fisicoquímicos del agua con encuestas sociales para evaluar tanto las condiciones ambientales como las prácticas de la

población relacionadas con el recurso hídrico. Sus resultados evidencian altos niveles de turbidez, así como concentraciones de plomo entre 0,004 y 0,005 mg/L y cianuro de 0,10 mg/L, valores que superan los límites permitidos.

De manera similar, Peñaloza et al. (2023), evalúa la calidad del agua del río Ayampe mediante el análisis de metales pesados y parámetros fisicoquímicos en muestras procesadas en laboratorio. Los hallazgos muestran la presencia de plomo, mercurio y cadmio, siendo el plomo el metal con mayor concentración ($< 0,0024$ mg/L) y el cadmio el de menor concentración ($< 0,00070$ mg/L). En la misma línea, Quea (2025), considera dentro de su evaluación "los parámetros fisicoquímicos y la concentración de metales pesados" (p. 10), tomando un enfoque mixto, articulando trabajo de campo y revisión documental para analizar la presencia de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en tres puntos de una microcuenca.

Asimismo, Ramirez (2024), analiza muestras de suelos, sedimentos y agroquímicos mediante la metodología EPA 3051A con la finalidad de determinar la presencia de metales pesados. Los resultados evidencian contaminación por cobre y níquel en sedimentos, así como concentraciones de zinc y cobre superiores a los límites permisibles en fungicidas y fertilizantes. A su vez, Rangel (2017), evalúa la calidad del agua y de los sedimentos mediante parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados, empleando los índices NSF Water Quality Index y Dinius Water Quality Index. Sus resultados muestran el incumplimiento de los criterios de calidad para la preservación de la vida acuática debido a la presencia de metales pesados.

Por otro lado, Rey et al. (2022), examina la contaminación por metales pesados en agua y sedimentos mediante los índices Sediment Quality Guideline Quotient, Unidad de Toxicidad y Contamination Degree, considerando las concentraciones de As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Hg. Los resultados indican que, en el sitio Birrís 4, los valores de cobre y níquel superan los límites establecidos por el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, mientras que el cobre excede además el valor de referencia para aguas Clase 1. En concordancia con ello, Richard y Bourg (1991),

analiza parámetros fisicoquímicos y metales pesados del agua de acuerdo con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en la categoría 3, subcategoría D1, orientada al riego. Del mismo modo, Rivas (2025), evalúa las concentraciones de Cd, Hg, Pb, Mn, Zn, Ni, Cr y As siguiendo el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales y las compara con los Estándares de Calidad Ambiental para aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable en las subcategorías A1 y A2.

En otro ámbito, Riveros (2024), evalúa el impacto de la actividad minera sobre la calidad del agua mediante el monitoreo de tres puntos y el análisis de seis muestras. Para ello, considera parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad eléctrica, caudal, DQO, DBO₅ y oxígeno disuelto, además de las concentraciones de Pb, Cd, Cr, Fe, Al y As. De manera complementaria, Rodríguez et al. (2017), aplica un diseño descriptivo no experimental con cuatro puntos de muestreo seleccionados por conveniencia para evaluar la presencia de arsénico, cadmio y mercurio en agua. Sus resultados reportan concentraciones de arsénico entre 0,158 y 0,199 mg/L, valores que se mantienen dentro del límite establecido por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en la categoría 3.

En relación con el uso agrícola del recurso hídrico, Ruiz (2024), evalúa la calidad del agua destinada al riego mediante un enfoque descriptivo correlacional, analizando variables fisicoquímicas, microbiológicas y metales pesados, y contrastándolas con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Los resultados muestran un pH de 8,2, DBO₅ < 2,5 mg/L, DQO de 8,3 mg/L, oxígeno disuelto de 4,61 mg/L y conductividad eléctrica de 387 μ S/cm, lo que indica condiciones adecuadas para uso agrícola. En esa misma perspectiva, Salas et al. (2021), encuentran que “las concentraciones promedio de metales en agua se encuentran por debajo de los ECA-categoría 3 de Perú” (p. 148), aunque evalúa la calidad del agua del río San Juan mediante el Índice de Calidad Ambiental del Agua del Perú, considerando como variables los componentes del índice: alcance, frecuencia y amplitud, además de la presencia de metales pesados asociados a efluentes mineros.

Finalmente, Sampayo y Ariza (2017), evalúan la concentración de metales pesados mediante muestreos en cuatro puntos bajo un diseño descriptivo transversal. Como variables consideran las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, hierro y plomo, registrando valores de 0,0027 mg/L, 0,0005 mg/L, 0,4671 mg/L, 2,44 mg/L y 0,0004 mg/L, respectivamente. De igual forma, Uddin et al. (2021), indican que “The water quality index (WQI) model is a popular tool for evaluating surface water quality” (p. 1). A partir de esta se evalúa la calidad del agua superficial con fines recreativos en la laguna Bahía de los Incas mediante un diseño descriptivo, no experimental y longitudinal, con cuatro puntos de muestreo vinculados a descargas de efluentes y un total de doce muestras.

En conjunto, estos antecedentes evidencian que la evaluación de la calidad del agua y de la concentración de metales pesados constituye una línea de investigación relevante para comprender el estado ambiental de los cuerpos hídricos y los riesgos asociados a su deterioro. En este marco, el presente estudio evalúa la relación entre la concentración de metales pesados y la calidad del agua mediante la aplicación del Índice de Calidad Ambiental del Perú, tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental para Agua de la Categoría III. De este modo, la investigación busca generar evidencia científica sobre el estado actual del río Coata, identificar posibles riesgos ambientales y aportar información útil para la toma de decisiones orientadas a la gestión, control y conservación del recurso hídrico.

Métodos

Ámbito o lugar de estudio

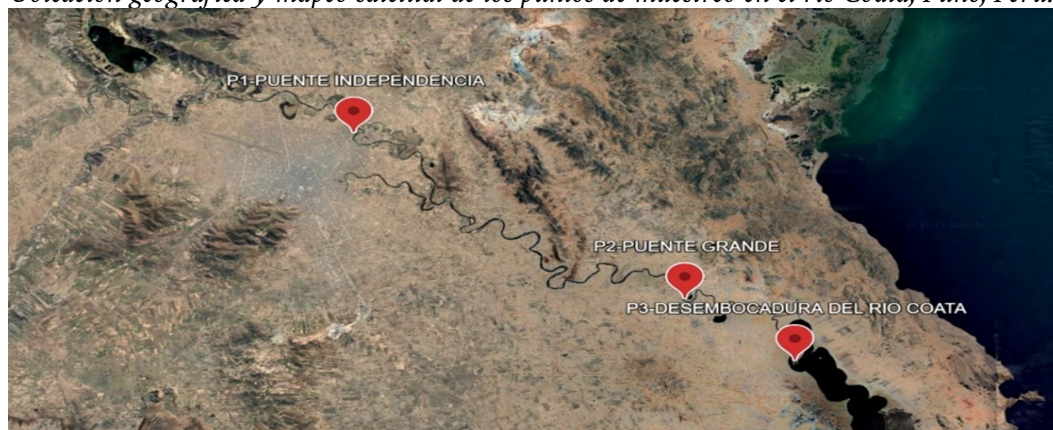
El estudio se realizó en la cuenca del río Coata, ubicada en la región Puno, en la región de Puno del altiplano peruano, entre las coordenadas aproximadas 15° 15' y 15° 45' de latitud sur, y 70° 00' y 70° 30' de longitud oeste. El río Coata se formó por la confluencia de los ríos Lampa y Cabanillas y desembocó en el lago Titicaca, constituyendo uno de los principales aportantes hídricos de este sistema lacustre. En su trayectoria involucró principalmente a los distritos de Coata, Capachica, Huata, Caracoto y Juliaca. Para la delimitación del

área de estudio y la ubicación de los puntos de monitoreo se empleó mapeo satelital con imágenes de Google Earth Pro, cartografía oficial y registro de coordenadas geográficas en campo mediante GPS portátil en el sistema WGS84. Los puntos de

muestreo se localizaron en Puente Independencia, Puente Grande y la desembocadura del río Coata, lo que permitió representar sectores estratégicos del curso del río y analizar espacialmente la calidad del agua (Figura 1).

Figura 1

Ubicación geográfica y mapeo satelital de los puntos de muestreo en el río Coata, Puno, Perú.



Nota: Imagen de puntos de muestreo ambiental sobre la cuenca del Río Coata.

Descripción de métodos

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y con diseño no experimental de corte transversal. La investigación se ejecutó durante el año 2024, considerando dos periodos hidrológicos: época de lluvia, correspondiente al mes de marzo, y época seca, correspondiente al mes de julio. La frecuencia de muestreo comprendió dos campañas, una por cada temporada, en los tres puntos establecidos del río Coata.

Para la ejecución de la investigación se utilizaron materiales de muestreo, recipientes para conservación de muestras, equipos de campo para el registro de parámetros fisicoquímicos y un GPS portátil para la georreferenciación de los puntos. Asimismo, se empleó mapeo satelital con Google Earth Pro para la delimitación espacial del área de estudio. Las muestras recolectadas fueron remitidas a laboratorio acreditado, donde se analizaron los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y las concentraciones de metales pesados mediante métodos normalizados. Entre las técnicas de laboratorio destacó el uso de espectrometría por plasma acoplado inductivamente con emisión óptica (ICP-OES), para la determinación de metales. Sin embargo, en el fragmento revisado en la investigación no se visualizaron con precisión

todas las marcas y modelos de los equipos, por lo que ese dato convino completarlo directamente desde tus anexos o tabla de métodos analíticos si deseas dejarlo exacto al 100 %.

Las variables analizadas fueron la concentración de metales pesados y la calidad del agua. La primera variable incluyó el análisis de 16 metales pesados en agua superficial. La segunda variable comprendió parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en función de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría III, así como la determinación del Índice de Calidad Ambiental del Perú (ICA-PE). Entre los parámetros evaluados se consideraron temperatura, pH, conductividad eléctrica, turbidez, oxígeno disuelto, nitratos, sulfatos y coliformes termotolerantes, además de los metales pesados analizados en los puntos de monitoreo.

Para el procesamiento estadístico se utilizó el programa IBM SPSS Statistics versión 24. La validación estadística del ICA-PE incluyó análisis de correlación, regresión lineal múltiple, prueba de homogeneidad de varianzas y análisis de varianza. El nivel de significancia considerado fue $p < 0,05$. Asimismo, el análisis de varianza del ICA global mostró diferencias estadísticamente significativas

entre la época de lluvia y la época seca, con un valor de $p = 0,041$.

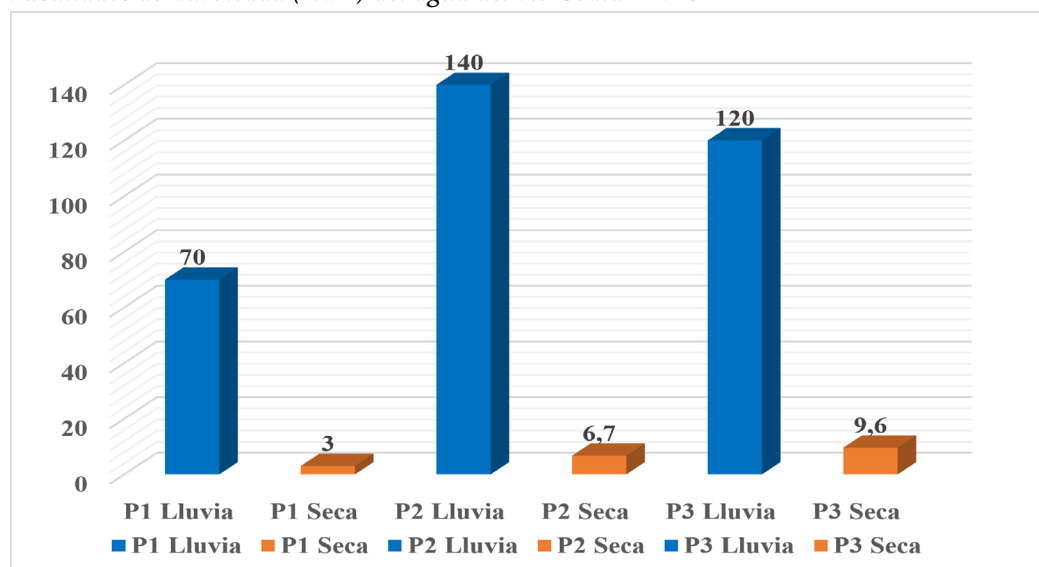
Resultados

La turbidez del agua del río Coata fue considerablemente mayor durante la época de lluvias en los tres puntos de muestreo, alcanzando valores de hasta 140 NTU en el punto P2; en contraste, durante la época seca los valores disminuyeron notablemente y se situaron por debajo de 10 NTU. Este comportamiento se explicó principalmente por el incremento del caudal, la escorrentía superficial y el arrastre de sedimentos,

materia orgánica y residuos asociados a actividades agrícolas y descargas domésticas. Asimismo, la turbidez presentó mayores incrementos en los puntos ubicados aguas abajo de centros poblados, lo que se relacionó con el ingreso de material particulado, residuos orgánicos y sedimentos finos al cauce. Esta condición redujo la penetración de la luz y afectó los procesos ecológicos del sistema acuático. En ese sentido, los resultados evidenciaron que la variación estacional y la presión antrópica influyeron directamente en el deterioro de la calidad física del agua del río Coata (Figura 2).

Figura 2

Resultados de Turbiedad (NTU) del agua del río Coata - 2024



Nota. Resultado del laboratorio SAG, Informes N° 1801590 y 1805048 (2024).

Las concentraciones de metales pesados en los puntos P1, P2 y P3 del río Coata, durante las temporadas lluviosa y seca, se mantuvieron en general dentro de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría III, aunque se observaron variaciones espaciales y estacionales. Durante la época de lluvias, los niveles de aluminio, plomo, cobre y manganeso tendieron a incrementarse debido al arrastre de sedimentos y a la erosión de suelos; en cambio, en la época seca sus concentraciones disminuyeron por la menor escorrentía y la sedimentación natural. El punto P2 presentó las concentraciones más elevadas de aluminio (1,981 mg/L), plomo (0,0169 mg/L) y manganeso (0,163 mg/L), lo que sugirió una posible influencia de

descargas domésticas y actividades agrícolas en este sector. Entre los metales evaluados, el aluminio y el manganeso destacaron por sus mayores concentraciones, siendo este último el que presentó valores más cercanos al límite permitido (0,2 mg/L). Asimismo, el boro y el litio mostraron niveles moderadamente altos, aunque permanecieron dentro del rango normativo (Tabla 1).

En términos generales, los resultados evidenciaron que el arsénico, cadmio, mercurio y plomo se mantuvieron en concentraciones bajas y por debajo de los límites permisibles, lo que indicó una condición relativamente favorable respecto a estos elementos. No obstante, el manganeso

presentó concentraciones entre 0,0901 y 0,3910 mg/L, llegando a superar el límite de 0,2 mg/L en época seca, lo que reveló una condición de mayor atención ambiental para este metal. Este comportamiento indicó que, aunque la mayoría de los metales no representaron excedencias significativas, existieron elementos cuya dinámica estacional pudo incrementar temporalmente su concentración en determinados sectores del río.

En conjunto, las concentraciones de metales pesados registradas en el río Coata respondieron a la interacción de factores naturales y antrópicos. Por un lado, la geología de la cuenca favoreció procesos de meteorización y lixiviación de suelos y rocas mineralizadas, los cuales se intensificaron durante la época de lluvias por el incremento del caudal y la escorrentía superficial. Por otro

lado, las actividades humanas desarrolladas en la cuenca, como la agricultura, el uso de fertilizantes y agroquímicos, las descargas de aguas residuales domésticas y la influencia histórica de actividades extractivas, aportaron metales traza como arsénico, cadmio, plomo, níquel y cobre, principalmente en los puntos P2 y P3. La variación estacional evidenció, además, que durante la época seca algunos metales solubles, como el boro y el litio, aumentaron su concentración debido a la disminución del caudal. Aunque los valores obtenidos cumplieron en su mayoría con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría III, la presencia simultánea de diversos metales puso en evidencia una presión ambiental continua sobre el río Coata, con potenciales efectos a largo plazo sobre el ecosistema acuático (Tabla 1).

Tabla 1

Resultados de la concentración de metales pesados del agua del río Coata

Metal pesado	P1 Lluvia (mg/L)	P1 Seca (mg/L)	P2 Lluvia (mg/L)	P2 Seca (mg/L)	P3 Lluvia (mg/L)	P3 Seca (mg/L)	Límite ECA Cat. III
Aluminio	1,344	0,03	1,981	0,096	1,869	0,106	5
Arsénico	0,01340	0,02163	0,01805	0,02952	0,01803	0,02906	0,2
Berilio	0,00017	0,00001	0,00022	0,00003	0,00012	0,00001	0,1
Boro	0,0992	0,744	0,1039	0,8277	0,1060	0,8381	5
Cadmio	0,00031	0,00004	0,00035	0,00004	0,00039	0,00004	0,05
Cobre	0,0094	0,0019	0,0115	0,0018	0,0112	0,0025	0,5
Cobalto	0,001070	0,000134	0,001554	0,000587	0,001436	0,000573	1
Cromo	0,0009	< 0,0002	0,0012	< 0,0002	0,0011	< 0,0002	1
Litio	0,04347	0,32418	0,04198	0,31189	0,04297	0,31611	2,5
Magnesio	3,472	12,672	3,832	14,12	3,630	13,523	250
Manganeso	0,12295	0,090133	0,16255	0,353533	0,14932	0,391025	0,2
Mercurio	0,00004	<0,00002	0,00002	<0,00002	0,00003	<0,00002	0,01
Níquel	0,00174	0,00031	0,00259	0,00077	0,00237	0,00079	1
Plomo	0,0129	0,0007	0,0169	0,0016	0,0161	0,002	0,05
Selenio	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,05
Zinc	0,06288	0,01863	0,07060	0,00785	0,07014	0,00671	24

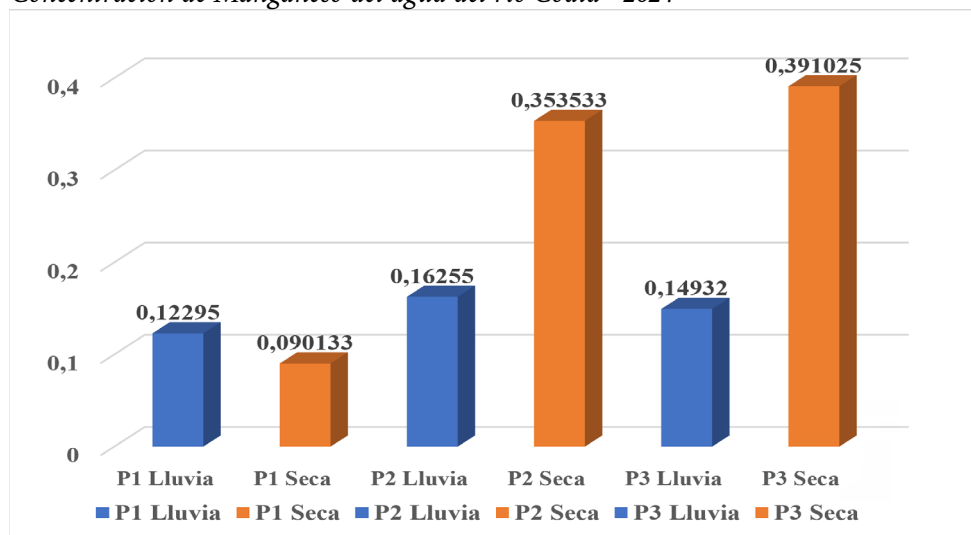
Nota. Resultados emitidos por el laboratorio SAG, Informes N° 1801590 y N° 1805048 (2024).

Se aprecia que el manganeso presentó las concentraciones más relevantes del estudio, especialmente durante la época seca, al superar el valor establecido por el ECA para Agua, Categoría III (0,2 mg/L), en P2 (0,353533 mg/L) y P3 (0,391025 mg/L). Este incremento se asoció con condiciones reductoras, liberación desde los sedimentos y concentración favorecida por el bajo caudal. En la época de lluvias, los valores disminuyeron por efecto de dilución. Estos resultados evidenciaron una presión ambiental significativa del manganeso en el río Coata, con potencial impacto ecológico y necesidad de seguimiento continuo. Las excedencias registradas durante la temporada seca sugirieron que la dinámica estacional influyó directamente en la movilización y concentración de este metal, probablemente por procesos

de evaporación, menor capacidad de dilución y remoción de manganeso desde sedimentos con escasa oxigenación. Aunque los valores observados no implicaron un riesgo inmediato, el comportamiento del manganeso mostró una condición de atención ambiental debido a su posible efecto sobre la vida acuática y sobre los usos potenciales del recurso hídrico. En términos generales, el río Coata mantuvo una calidad de agua aceptable; sin embargo, presentó indicios de enriquecimiento natural de manganeso en periodos de menor caudal. Este comportamiento reforzó la importancia de realizar monitoreos en época seca y de evaluar con mayor detalle las fuentes naturales y difusas que influyeron en la presencia de este metal en el sistema acuático (Figura 3).

Figura 3

Concentración de Manganeso del agua del río Coata - 2024



Nota. Resultado del laboratorio SAG, Informes N° 1801590 y 1805048 (2024).

Se evidencio que, durante la época de lluvias, el Índice de Calidad del Agua del río Coata presentó ligeras variaciones entre los puntos de muestreo, influenciadas principalmente por la presencia de coliformes termotolerantes y el incremento de la turbidez. En el punto P1, los coliformes termotolerantes alcanzaron 1600 NMP/100 mL, superando el límite permitido de 1000 NMP/100 mL, lo que redujo el ICA a 75,41, clasificado como "Favorable". En el punto P2, la turbidez alcanzó 140 NTU, excediendo el valor máximo establecido de 100 NTU, lo que generó un ICA de 79,80, igualmente considerado "Favorable". Por su parte, el punto P3 registró una turbidez de 120 NTU y un

ICA de 84,88, clasificado como "Bueno". Durante la época seca, los puntos P1, P2 y P3 no presentaron incumplimientos normativos y alcanzaron un ICA de 100, clasificándose como agua de calidad "Excelente". Estos resultados evidenciaron una mejora significativa en la calidad del agua del río Coata durante este periodo, asociada a la menor escorrentía superficial y al reducido arrastre de contaminantes. En contraste, durante la época de lluvias la calidad del agua disminuyó levemente debido al incremento de la turbidez y a la incorporación de contaminantes vinculados al arrastre superficial (Tabla 2).

Tabla 2*ICA-PE por punto y temporada de los parámetros fisicoquímicos*

Punto / Temporada	Parámetros excedidos (n)	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)	ICA-FQ (CCME)	Clasificación
P1 - Marzo (lluvia)	Turbidez (120 NTU) (1/7)	14,29	14,29	37,5	75,41	Favorable
P2 - Marzo (lluvia)	Turbidez (140 NTU) (1/7)	14,29	14,29	28,57	79,8	Favorable
P3 - Marzo (lluvia)	- (0/7)	14,29	14,29	16,67	84,88	Buena
P1 - Julio (seca)	- (0/7)	0	0	0	100	Excelente
P2 - Julio (seca)	- (0/7)	0	0	0	100	Excelente
P3 - Julio (seca)	- (0/7)	0	0	0	100	Excelente

Nota. Cálculos del ICA-PE (ANA, 2009).

Discusión

Los resultados muestran que las concentraciones de arsénico, cadmio, plomo y mercurio en los puntos P1, P2 y P3 del río Coata se mantienen en niveles bajos y dentro de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría III. Este comportamiento coincide con lo reportado por De Schampheleere y Janssen (2002), quienes también registran concentraciones reducidas de estos metales en aguas superficiales. No obstante, el manganeso constituye la principal excepción, ya que durante la época seca supera el límite permitido en P2 y P3. Esta tendencia guarda relación con lo descrito por Moreano (2023), quien señala que la geología local, la mineralización del lecho y la remoción desde sedimentos favorecen el incremento de este metal en cuerpos de agua. En conjunto, estos hallazgos indican que el río Coata no presenta una contaminación significativa por la mayoría de metales pesados, aunque el manganeso evidencia una presión ambiental que requiere seguimiento.

En relación con los parámetros fisicoquímicos, la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, los nitratos y los sulfatos se mantienen dentro de los rangos permitidos por la normativa vigente, lo que refleja una condición química estable en el río Coata. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Quea (2025), también identifica valores fisicoquímicos compatibles con una buena calidad de agua. Asimismo, la turbidez y el oxígeno disuelto presentan variaciones asociadas a la dinámica estacional, especialmente durante

la época de lluvias, cuando el arrastre superficial incrementa la carga de sedimentos y materia orgánica. Esta situación coincide con lo descrito por Ramirez (2024), quienes relacionan el aumento de sólidos suspendidos y la ligera disminución del oxígeno disuelto con la escorrentía y el aporte de contaminantes difusos.

El Índice de Calidad del Agua del Perú presenta valores comprendidos entre las categorías “Buena” y “Excelente”, lo que confirma que el río Coata mantiene una calidad de agua ambientalmente aceptable. Estos resultados superan los reportados por Rey et al. (2022), y coinciden con Guevara y Marín (2021), quienes destacan la importancia de los parámetros fisicoquímicos y de los metales pesados en la valoración integral de la calidad del agua. Del mismo modo, el comportamiento estacional del ICA-PE, con valores más altos durante la época seca, guarda relación con lo señalado por Fienco (2024), quien observa una mejora de la calidad del agua en periodos de menor escorrentía. En conjunto, los resultados confirman que el río Coata presenta una calidad generalmente favorable; sin embargo, la variación estacional del manganeso y el incremento de la turbidez en época de lluvias evidencian la necesidad de fortalecer el monitoreo periódico y la gestión ambiental de la cuenca.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, encontramos que las concentraciones de arsénico, plomo, cadmio y mercurio en el río Coata se mantienen por debajo

de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría III. Sin embargo, observamos que el manganeso presenta un comportamiento diferente durante la época seca, especialmente en algunos puntos de muestreo donde supera ligeramente el valor permitido. Esto nos permite considerar que la variación estacional influye en la presencia de este metal dentro del sistema hídrico.

También identificamos que los parámetros fisicoquímicos presentan, en términos generales, condiciones favorables. El pH, la conductividad eléctrica, los nitratos y los sulfatos se mantienen relativamente estables, mientras que la turbidez y el oxígeno disuelto muestran cambios entre la época de lluvia y la época seca. A partir de estas variaciones, reconocemos que la temporada influye en el comportamiento de la calidad del agua y que su evaluación no debe realizarse considerando un solo periodo del año.

Finalmente, al analizar el ICA-PE, encontramos valores que van desde la categoría “Favorable” hasta “Excelente”, con mejores resultados durante la época seca. En conjunto, estos hallazgos nos permiten concluir que el río Coata mantiene una calidad ambiental generalmente favorable, aunque existen variaciones estacionales y presencia de manganeso que requieren seguimiento. Desde nuestra investigación, consideramos que el monitoreo periódico resulta necesario para comprender mejor estos cambios y contribuir a una gestión más adecuada del recurso hídrico.

Agradecimientos

El investigador agradece al laboratorio SAG por el apoyo técnico en el análisis de las muestras de agua. Finalmente, se expresa gratitud a todas las personas que colaboraron, de manera directa o indirecta, en la ejecución del trabajo de investigación.

Referencias

Basualdo, G. y Yacila, J. (2015). “Determinación de arsénico y cadmio en aguas del río rímac y habas cultivadas en el distrito de san mateo de huánchor de la región de lima.” <https://bit.ly/4rtHqSI>

De Schamphelaere, K. y Janssen, C. R. (2002). A biotic ligand model predicting acute copper toxicity for *Daphnia magna*: The effects of calcium, magnesium, sodium, potassium, and pH. *Environmental Science & Technology*, 36, 4854. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es000253s>

Espinoza, G. (2022). *Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca parte alta del río Llallimayo, provincia de Melgar, Puno, Perú* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Altiplano de Puno]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18540>

Felipe, M. y Godoy, E. (2022). *Determinación de los niveles de metales pesados (Pb, Cd, Hg y As) en aguas de regadío del río Chancay-Huaral, periodo julio 2021* [Tesis de Grado, Universidad Privada de Huancayo Franklin Roosevelt]. <https://alicia.concytec.gob.pe>

Fienco, A. (2024). *Análisis de presencia de metales pesados en el río Ayampe*. [Tesis de Grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/6181/1>

Förstner, U. y Wittmann, G. (2012). *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-96511-1>

González, E., Martín, L., Ortega, E., Martínez, D., Galindo, L., Romero, L. y Martín, C. (2017). A possible case of chronic zinc intoxication: increased zinc concentration in gastric mucosa. *Revista Electrónica de Ciencia y Tecnología*, 13, 21–23. www.majorensis.es

Guevara, Y. y Marín, M. (2021). *Evaluación de la concentración de metales pesados en el río Michiquillay, 2020* [Tesis de Grado, Universidad Privada del Norte]. <http://repositorio.upn.edu.pe>

Hinojosa, J. y Jarufe, G. (2024). *Propuesta de un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo en la empresa “Structure Metal Project S.A.C”, de acuerdo a la norma ISO 45001, la ley 29783 y la R.M. 050-2013-TR, Cusco-2023* [Tesis

- de Grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/10310>
- Maquera, A. (2022). *Análisis de los niveles de concentración de metales pesados (pb, as, al, cu, cd, fe, ni, bñ mn) en época de avenida y estiaje de la cuenca del río osmore región moquegua* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Moquegua]. <https://repositorio.unam.edu.pe/bitstreams/4148d126-3656-4831>
- Moreano, A. (2023). *Evaluación de la calidad del agua y determinación de metales pesados en sedimentos de la microcuenca del río Alajua* [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/dbeea447-a506-4ad8-964f-be78fad660f2>
- Nina, J. (2025). *Concentración de metales pesados en aguas del Río Cuchumbaya Distrito Cuchumbaya - Moquegua, 2024* [Tesis de Grado, Universidad Privada de San Carlos]. <https://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14891>
- Nordstrom, D. (2002). Worldwide Occurrences of Arsenic in Ground Water. *Science*, 296(5576), 2143–2145. <https://doi.org/10.1126/science.1072375>
- Ordoño, J. (2025). *Calidad del agua del sistema de abastecimiento de la comunidad Molloco del Distrito de Acora, Puno - 2024* [Tesis de Grado, Universidad Privada San Carlos]. <https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/20.500.14891>
- Oses, E., Ramos, I., Navarro, X., & Villarreal, J. (2023). Evaluación de la concentración de metales pesados en la cuenca del río Santa María. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 5(2), 98–112. <https://revistas.up.ac.pa>
- Peñaloza, D., Barúa, M., Escalada, J. y Pajares, A. (2023). Técnica espectroscópica de absorción atómica para determinaciones en química ambiental. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 15(3), 157–176. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v15.n3.987>
- Quea, S. (2025). *Evaluación de la calidad de agua del río Phusalaya Jahuira - Centro Poblado de Ichu* - 2024 [Tesis de Grado, Universidad Privada San Carlos]. <https://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14891/1289>
- Ramírez, A. (2024). *Evaluación de la calidad del agua del río Tingo mediante análisis fisicoquímico, microbiológico para riego agrícola en el distrito de Pallanchacra, Pasco - 2023* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4614/1/T026_72645043
- Rangel, R. (2017). Metales Tóxicos en Alimentos. *Revista Del Instituto Nacional de Higiene "Rafael Rangel,"* 48, 6–8. <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2019/06/1000319>
- Rey, D., Domínguez, I. y Oviedo, E. (2022). Effect of agricultural activities on surface water quality from páramo ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(55), 83169–83190. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21709-6>
- Richard, C. y Bourg, A. (1991). Aqueous geochemistry of chromium: A review. *Water Research*, 25(7), 807–816. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(91\)90160-R](https://doi.org/10.1016/0043-1354(91)90160-R)
- Rivas, M. (2025). *Análisis de Metales Pesados en el río Portoviejo, Parroquia Picoaza* [tesis de grado, Universidad estatal del sur de manabí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/7932/1>
- Riveros, R. (2024). *Concentración de metales pesados (Hg, As, Cd) en aguas superficiales del río escalera en relación a los estándares de calidad de aguas, Huachocolpa - 2023* [Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://tinyurl.com/35jvavrñ>
- Rodríguez, R., Retamozo, R., Aponte, H. y Valdivia, E. (2017). Evaluación microbiológica de un cuerpo de agua del ACR humedales de Ventanilla (Callao, Perú) y su importancia para la salud pública local. *Ecología Aplicada*, 16(1), 15. <https://doi.org/10.21704/rea.v16i1.899>
- Ruiz, Y. (2024). *Evaluación de concentración de metales pesados en las aguas del río Tingo*

- Maygasbamba, del distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc, 2023. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <https://tinyurl.com/mpfj7652>
- Salas, D., Chura, F., Quispe, G., Mamani, E., Huanqui, R., Coaquira, E., Bernedo, F., Salas, D. y Hermoza, M. (2021). Evaluación de metales pesados y comportamiento social asociados con la calidad del agua en el río Suches, Puno, Perú. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 12(6). <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-06-04>
- Sampayo, L. y Ariza, A. (2017). *Determinación de la contaminación por metales pesados en el embalse el Guájaro, Departamento del Atlántico* [Tesis de grado, Universidad de la Costa]. <https://repositorio.cuc.edu.co/server/api/core/bitstreams/f4721901-9d12-4320-8161>
- Uddin, M., Nash, S. y Olbert, A. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>
- Vega, C. (2021). *Evaluación de la calidad del agua y sedimento de la subcuenca del río Birrís, en cuanto a su contenido de metales pesados* [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/13238>
- Zamarreño, R., Cabana, R., Vergara, K. y Cortez, S. (2020). Displacement of metallic elements in the El Culebrón estuary, due to the presence of an abandoned mining tailings, Coquimbo - Chile. *Revista U.D.C.A Actualidad and Divulgacion Cientifica*, 23(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1656>

