



Determinación de metales en agua potable en Apurímac, Perú

Determination of metals in drinking water in Apurímac, Peru

Jenny Rosalyn Huerta León¹ <https://orcid.org/0000-0003-4744-7830>

Jhonnell Williams Samaniego Joaquin^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-0033-7119>

Gerson Córdova Serrano¹ <https://orcid.org/0000-0002-5591-0322>

Mary Luz Godoy Chinchay¹ <https://orcid.org/0009-0002-2588-7587>

Angela Eveling Quinto Cárdenas¹ <https://orcid.org/0009-0006-3893-7060>

Javier Sánchez Siesquen¹ <https://orcid.org/0000-0002-1848-0255>

¹Universidad María Auxiliadora. Lima, Perú.

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: jhonnell.samaniego@uma.edu.pe

RESUMEN

Introducción: La calidad del agua para consumo humano es fundamental para la salud pública, con un impacto más notable en áreas rurales. La presencia de metales pesados en el agua puede generar graves riesgos para la salud.

Objetivo: Evaluar la calidad del agua destinada al consumo humano en base a los niveles de metales determinados mediante técnicas de espectroscopia.

Métodos: Se recolectaron 26 muestras de agua de diversas fuentes en el distrito de Ongoy, Apurímac, de las cuales 22 fueron seleccionadas para el análisis. Estos incluyen captaciones de agua subterránea, tanques de cloración y grifos domiciliarios. Se aplicaron los protocolos de la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria para el manejo y transporte de las muestras, lo cual garantiza su conservación en condiciones controladas. Las concentraciones de metales se analizaron mediante



Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma de Acoplamiento Inductivo y Espectrometría de Fluorescencia Atómica.

Resultados: Los análisis revelaron que la mayoría de las concentraciones de metales estaban dentro de los límites permitidos por las normativas. Sin embargo, algunas muestras presentan niveles elevados de aluminio (hasta 0,130 mg/L) y bario (hasta 0,135 mg/L). Cadmio y cromo fueron indetectables, mientras que las concentraciones de sodio alcanzaron valores significativos (hasta 1183 mg/L).

Conclusiones: Aunque la calidad del agua en Ongoy es por lo general adecuada, los niveles elevados de aluminio y bario en ciertas muestras destacan la necesidad de monitoreo continuo y tratamiento.

Palabras clave: calidad del agua; espectrometría; metales pesados.

ABSTRACT

Introduction: The quality of water for human consumption is essential for public health, with a more notable impact in rural areas. The presence of heavy metals in water can pose serious health risks.

Objective: To assess the quality of water intended for human consumption based on metal levels determined using spectroscopic techniques.

Methods: Twenty-six water samples were collected from various sources in the Ongoy district, Apurímac, of which 22 were selected for analysis. These included groundwater intakes, chlorination tanks, and residential taps. The protocols of the General Directorate of Environmental Health and Food Safety were applied for sample handling and transportation, ensuring their conservation under controlled conditions. Metal concentrations were analyzed using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry and Atomic Fluorescence Spectrometry.

Results: The analyses revealed that most metal concentrations were within the limits allowed by regulations. However, some samples showed elevated levels of aluminum (up to 0.130 mg/L) and barium (up to 0.135 mg/L). Cadmium and chromium were undetectable, while sodium concentrations reached significant levels (up to 1183 mg/L).

Conclusions: Although water quality in Ongoy is generally adequate, the elevated levels of aluminum and barium in certain samples highlight the need for continued monitoring and treatment.

Keywords: heavy metals; spectrometry; water quality.



Recibido: 24/07/2024

Aprobado: 05/05/2025

INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la supervivencia humana; la Organización de Naciones Unidas establece que cada persona necesita 20-50 litros de agua potable segura al día, lo cual se considera un derecho fundamental. Sin embargo, 1 de cada 3 personas en el mundo carece de acceso a agua potable, y 144 millones consumen agua no tratada.^(1,2,3)

En las zonas rurales, el acceso a agua potable segura es aún más limitado, lo que incrementa la exposición a contaminantes como metales pesados, los cuales representan un riesgo significativo para la salud pública. Estudios recientes destacan que elementos como aluminio, bario y sodio pueden exceder los límites permisibles en fuentes de agua no tratadas, lo cual genera problemas crónicos para la población expuesta.^(4,5,6,7)

La calidad del agua es crucial. En Perú, la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria (DIGESA) establece límites máximos permisibles y el Ministerio del Ambiente clasifica el agua para asegurar que no represente un riesgo significativo. Además, el ministerio antes mencionado, clasifica las fuentes de agua bajo criterios específicos para su uso seguro. Las condiciones vulnerables del suministro de agua en algunas localidades pueden facilitar la contaminación química, lo que refuerza la necesidad de un control riguroso para prevenir enfermedades.^(8,9,10)

El agua para consumo humano debe ser disponible, accesible, asequible, salubre y aceptable. La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece estándares globales para prevenir enfermedades y promueve normativas y prácticas efectivas de gestión de riesgos. Ongoy, Apurímac, con 3850 habitantes en 10 centros poblados, usa agua subterránea sin tratamiento, esto genera preocupación sobre su calidad y seguridad.^(11,12,13) Este estudio tiene como objetivo evaluar la calidad del agua destinada al consumo humano en base a los niveles de metales determinados mediante técnicas de espectroscopia.

<http://scielo.sld.cu>

<https://revmedmilitar.sld.cu>



MÉTODOS

El estudio adopta un enfoque cuantitativo y se caracteriza por un diseño metodológico no experimental y descriptivo.⁽¹⁵⁾

La población incluye 22 muestras: 11 provenientes de puntos de captación de agua subterránea, 8 del sistema de tratamiento y 3 de piletas domiciliarias. Las muestras fueron recolectadas manualmente en recipientes estériles de 500 mL, se siguió el protocolo establecido por la DIGESA para la recolección de muestras de agua.

Cada muestra fue transportada en una caja refrigerada a una temperatura de 4 °C y analizada dentro de las 24 horas siguientes. Aunque se recolectaron 26 muestras de agua en diferentes puntos, solo se analizaron 22 debido a contaminación y errores en la recolección.

El análisis de las muestras se realizó mediante Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) y Espectrometría de Fluorescencia Atómica (AFS). Los resultados se compararon con los límites establecidos en el “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano” (DS N° 031-2010-SA) y los “Estándares de Calidad Ambiental para el Agua” (DS N° 004-2017- MINAM).

Para el análisis de los datos, se emplearon pruebas estadísticas descriptivas (promedios y desviaciones estándar) y comparativas (prueba t de *Student*) para determinar diferencias significativas entre las mediciones medidas y los estándares establecidos.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron contrastados con los estándares de calidad definidos para la categoría 1: Poblacional y Recreacional, subcategoría A1, establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), con el objetivo de evaluar la seguridad del agua para uso humano en contextos vulnerables.

Variables

Se consideraron como variables de estudio: concentración de metales pesados (plomo, arsénico, cadmio y mercurio) en el agua para consumo humano, medida en miligramos por litro (mg/L) como variable



dependiente; y la fuente de recolección del agua (captación subterránea, sistema de tratamiento o piletas domiciliarias) como variable independiente.

Técnica y plan de recolección de datos

Los datos se recolectaron mediante el uso de métodos analíticos especializados, con autorización de las autoridades de Ongoy y consentimiento de las comunidades. Se registraron detalles como coordenadas, puntos de muestreo, fecha, hora y tipo de análisis. Las muestras de agua subterránea y del reservorio fueron analizadas dentro de un plazo máximo de 24 horas.⁽¹⁶⁾

Ubicación de los puntos de muestreo

El estudio consideró 26 puntos de muestreo de agua en diversas localidades del distrito de Ongoy, provincia de Chincheros, departamento de Apurímac. La localización geográfica de cada punto se identificó mediante coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator), un sistema de referencia geoespacial que permite representar posiciones en un plano cartesiano mediante valores en metros Este (E) y Norte (N). A continuación, se describen los puntos evaluados, diferenciando fuentes de agua natural (captaciones) y agua para uso humano (tanques de cloración o grifos domiciliarios):

M1: Agua natural (Captación Lambra Yacu) – Mollepata, Ongoy, Chincheros, Apurímac. UTM: 650999 E 513701 N

M2: Agua para uso humano (Tanque de Cloración Lambra Yacu) – Mollepata, Ongoy, Chincheros, Apurímac. UTM: 650999 E 513701 N

M3: Agua natural (Captación Huaccacocco) – Mollepata, Ongoy, Chincheros, Apurímac. UTM: 650999 E 851370 N

M4: Agua para uso humano (Tanque de Cloración Huaccacocco) – Mollepata, Ongoy, Chincheros, Apurímac. UTM: 650999 E 513701 N

M5: Agua natural (Captación Javiichayocc, Barrapata) – Mollepata, Ongoy, Chincheros, Apurímac. UTM: 650999 E 513701 N

M6: Agua natural (Captación desconocida) – (Información no especificada).

M7: Agua para uso humano (Tanque de Cloración Javiichayocc, Barrapata) – Mollepata, Ongoy, Chincheros, Apurímac. UTM: 650999 E 513701 N



- M8: Agua natural (Captación sin nombre) – (Información no especificada).
- M9: Agua natural (Captación Pasachacuyoc) – Mollepata, Ongoy, Chincheros, Apurímac. UTM: 650999 E 851370 N
- M10: Agua para uso humano (Grifo de vivienda, Farm. Yance Avalos) – Ongoy, Chincheros, Apurímac. UTM: 650999 E 851370 N
- M11: Agua natural/ Captación Tomacucho/ Cercado de Ongoy/ Ongoy/ Chincheros/ Apurímac. UTM: 650999 E 8513701N
- M13: Agua para uso y consumo humano/ Tanque de Cloración Tomacucho/ Cercado de Ongoy/ Ongoy /Chincheros/Apurímac. UTM: 650999 E 8513701N
- M15: Agua natural/ Captación Lambrashuaycco/ Oluche/ Ongoy/ Chincheros/ Apurímac. UTM: 650999 E8513701N
- M16: Agua para uso y consumo humano/ Tanque de Cloración Lambrashuaycco/ Oluche/ Ongoy/ Chincheros/ Apurímac. UTM: 650999 E8513703N
- M17: Agua natural/ Captación Singuayocc/ Villa Unión/ Ongoy/ Chincheros/ Apurímac. UTM: 650999 E8513701N
- M18: Agua para uso y consumo humano/ Tanque de Cloración Singuayocc/ Villa Unión/ Ongoy/ Chincheros/ Apurímac. UTM: 650999 E8513703N
- M19: Agua natural/ Captación Sillapata/ Alaypampa/ Ongoy/ Chincheros/ Apurímac. UTM: 650999 E8513701N
- M20: Agua para uso y consumo humano/ Grifo vivienda. Fam. Lucia Chate Ojeda/ Alaypampa/ Ongoy/ Chincheros/ Apurímac. UTM: 650999 E8513701N
- M21: Agua natural/ Captación Chalhuani/ Tururo/ Ongoy/ Chincheros/ Apurímac. UTM: 650999 E8513701N
- M22: Agua para uso y consumo humano/ Grifo vivienda. Fam. Huanaco Sulca/ Tururo/ Ongoy/ Chincheros/ Apurímac. UTM: 650999 E8513706N
- M23: Agua natural/ Captación Alpuntuyocc/ Comunpampa/ Ongoy/ Chincheros/ Apurímac. UTM: 650999 E8513701N



M24: Agua para uso y consumo humano/ Tanque de Cloración Alpuntuyoc/ Comunpampa Ongoy/ Chincheros/ Apurímac. UTM: 650999 E8513701N

M25: Agua natural/ Captación Lambrashuaycco/ Chacabamba/ Ongoy/ Chincheros/ Apurímac. UTM: 650999 E8513701N

M26: Agua para uso y consumo humano/ Tanque de cloración Lambrashuaycco/ Chacabamba/ Ongoy / Chincheros/ Apurímac. UTM: 650999 E8513701N

Procedimiento para la toma de muestra

El empleo de técnicas adecuadas de recolección y preservación de muestras, para garantizar su representatividad y evitar modificaciones durante el muestreo y transporte, es crucial para asegurar resultados fiables en los análisis del laboratorio. Las mediciones en campo se ajustaron a la resolución Directoral N° 160-2015/DIGESA/SA, que establece el “Protocolo de procedimiento para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano”.^(16,17)

RESULTADOS

De las 26 muestras recolectadas, 22 fueron analizadas de acuerdo con el protocolo establecido. De estas, 19 presentaron concentraciones medibles dentro de los límites permitidos por las normativas nacionales e internacionales, mientras que 3 no arrojaron resultados concluyentes debido a interferencias analíticas provocadas por contaminan.



Tabla 1 - Concentración de aluminio, boro, bario y berilio en muestras de agua

Punto de muestreo	Matriz	Aluminio (mg/L)	Boro (mg/L)	Bario (mg/L)	Berilio (mg/L)
M1	AN	0,032	< 0,010	< 0,004	< 0,0002
M2	AC	0,008	< 0,010	< 0,004	< 0,0002
M3	AN	< 0,002	< 0,010	< 0,004	< 0,0002
M4	AC	< 0,002	< 0,010	< 0,004	< 0,0002
M5	AN	< 0,002	< 0,010	< 0,004	< 0,0002
M7	AC	< 0,002	< 0,010	< 0,004	< 0,0002
M9	AN	< 0,002	< 0,010	< 0,004	< 0,0002
M10	AC	< 0,002	< 0,010	< 0,004	< 0,0002
M11	AN	0,130	< 0,010	< 0,004	< 0,0002
M13	AC	< 0,002	< 0,010	< 0,004	< 0,0002
M15	AN	0,003	< 0,010	< 0,004	< 0,0002
M16	AC	0,003	< 0,010	< 0,004	< 0,0002
M17	AN	< 0,002	< 0,010	0,025	< 0,0002
M18	AC	< 0,002	< 0,010	0,025	< 0,0002
M19	AN	0,020	< 0,010	0,128	< 0,0002

AN: Agua Natural AC: Agua Clorada.

La tabla 1 muestra las concentraciones de aluminio, boro, bario y berilio en diferentes puntos de muestreo en Ongoy. Los resultados indican variaciones significativas en las concentraciones de aluminio y bario, mientras que el boro y el berilio están por debajo de los límites de detección en todas las muestras.



Tabla 2 - Concentración de cadmio, cromo, cobre y hierro en muestras de agua

Punto de muestreo	Matriz	Cadmio (mg/L)	Cromo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Hierro (mg/L)
M1	AN	< 0,00006	< 0,001	< 0,010	0,029
M2	AC	< 0,00006	< 0,001	< 0,010	0,012
M3	AN	< 0,00006	< 0,001	< 0,010	< 0,002
M4	AC	< 0,00006	< 0,001	< 0,010	< 0,002
M5	AN	< 0,00006	< 0,001	< 0,010	< 0,002
M7	AC	< 0,00006	< 0,001	< 0,010	< 0,002
M9	AN	< 0,00006	< 0,001	< 0,010	< 0,002
M10	AC	< 0,00006	< 0,001	< 0,010	< 0,002
M11	AN	< 0,00006	< 0,001	< 0,010	0,014
M13	AC	< 0,00006	< 0,001	< 0,010	< 0,002
M15	AN	< 0,00006	< 0,001	< 0,010	0,003
M16	AC	< 0,00006	< 0,001	< 0,010	0,005
M17	AN	< 0,00006	< 0,001	< 0,010	< 0,002
M18	AC	< 0,00006	< 0,001	< 0,010	< 0,002
M19	AN	< 0,00006	< 0,001	< 0,010	< 0,002

AN: Agua Natural AC: Agua Clorada

La tabla 2 presenta las concentraciones de cadmio, cromo, cobre y hierro en diferentes puntos de muestreo. Los resultados muestran que las concentraciones de cadmio y cromo están por debajo de los límites de detección en todas las muestras, mientras que el cobre y el hierro presentan variaciones más amplias entre los puntos de muestreo.



Tabla 3 - Concentración de manganeso, molibdeno, sodio y níquel en muestras de agua

Punto de muestreo	Matriz	Manganeso (mg/L)	Molibdeno (mg/L)	Sodio (mg/L)	Níquel (mg/L)
M1	AN	< 0,002	< 0,001	260	< 0,0004
M2	AC	< 0,002	< 0,001	286	< 0,0004
M3	AN	< 0,002	< 0,001	233	< 0,0004
M4	AC	< 0,002	< 0,001	242	< 0,0004
M5	AN	< 0,002	< 0,001	387	< 0,0004
M7	AC	< 0,002	< 0,001	396	< 0,0004
M9	AN	< 0,002	< 0,001	218	< 0,0004
M10	AC	< 0,002	< 0,001	221	< 0,0004
M11	AN	< 0,002	< 0,001	550	0,0005
M13	AC	< 0,002	< 0,001	563	< 0,0004
M15	AN	< 0,002	< 0,001	124	< 0,0004
M16	AC	< 0,002	< 0,001	1183	< 0,0004
M17	AN	< 0,002	< 0,001	300	< 0,0004
M18	AC	< 0,002	< 0,001	327	< 0,0004
M19	AN	< 0,002	< 0,001	278	< 0,0004

AN: Agua Natural AC: Agua Clorada

La tabla 3 muestra las concentraciones de manganeso, molibdeno, sodio y níquel en diferentes puntos de muestreo. Las concentraciones de manganeso y molibdeno están por debajo de los límites de detección en todas las muestras, mientras que el sodio presenta variaciones significativas.



Tabla 4 - Concentración de plomo, antimonio, selenio y zinc en muestras de agua

Punto de muestreo	Matriz	Plomo (mg/L)	Antimonio (mg/L)	Selenio (mg/L)	Zinc (mg/L)
M1	AN	< 0,0004	< 0,001	< 0,002	< 0,010
M2	AC	< 0,0004	< 0,001	< 0,002	< 0,010
M3	AN	< 0,0004	< 0,001	< 0,002	< 0,010
M4	AC	< 0,0004	< 0,001	< 0,002	< 0,010
M5	AN	< 0,0004	< 0,001	< 0,002	< 0,010
M7	AC	< 0,0004	< 0,001	< 0,002	< 0,010
M9	AN	< 0,0004	< 0,001	< 0,002	< 0,010
M10	AC	< 0,0004	< 0,001	< 0,002	< 0,010
M11	AN	< 0,0004	< 0,001	< 0,002	< 0,010
M13	AC	< 0,0004	< 0,001	< 0,002	< 0,010
M15	AN	< 0,0004	< 0,001	< 0,002	< 0,010
M16	AC	< 0,0004	< 0,001	< 0,002	< 0,010
M17	AN	< 0,0004	< 0,001	< 0,002	< 0,010
M18	AC	< 0,0004	< 0,001	< 0,002	< 0,010
M19	AN	< 0,0004	< 0,001	< 0,002	< 0,010

AN: Agua Natural AC: Agua Clorada

En la tabla 4 se resume de manera clara y concisa los resultados sobre la cuantificación de metales pesados en el agua para el consumo humano en el distrito de Ongoy.

La mayoría de las concentraciones de metales estaban dentro de los límites permitidos. Sin embargo, se detectaron niveles elevados de aluminio (0,130 mg/L) y bario (0,135 mg/L), lo que superó los límites (0,2 mg/L para aluminio y 0,7 mg/L para bario). Cadmio y cromo fueron indetectables, de acuerdo con los estándares. Se observaron variaciones significativas en sodio (hasta 1183 mg/L), lo que puede afectar la salud cardiovascular según la OMS.

Estos resultados indican que, aunque la calidad del agua en Ongoy es en su mayoría adecuada, algunos puntos presentan niveles preocupantes de aluminio y bario, lo cual resalta la necesidad de monitoreo continuo y tratamiento para asegurar la calidad del agua.



DISCUSIÓN

El análisis del agua en Ongoy mostró que la mayoría de los metales pesados estaban dentro de los límites permitidos. Sin embargo, se detectaron niveles elevados de aluminio (0,130 mg/L) y bario (0,135 mg/L), lo que demuestra la necesidad de implementar medidas de monitoreo continuo y sistemas de tratamiento. Estos resultados destacan la importancia de garantizar la calidad del agua para proteger la salud de la población.

Se compararon los hallazgos con estudios previos. En Junín⁽¹¹⁾ reportan concentraciones de plomo, cadmio y arsénico por debajo de los límites permisibles, en concordancia con la presente investigación, en el cual cadmio y cromo no fueron detectados, lo que es positivo debido a su alta toxicidad. Sin embargo, los niveles elevados de aluminio y bario en Ongoy requieren atención específica.

En el estudio realizado en Yarinacocha,⁽¹²⁾ se detectan niveles elevados de hierro en el pozo N.º 1, mientras que en esta investigación, las concentraciones de sodio alcanzaron hasta 1183 mg/L, lo que puede tener implicaciones negativas para la salud cardiovascular según la OMS.

Reportan que en San Antonio de Rancas, Pasco,⁽¹³⁾ los parámetros químicos están dentro de los límites normativos. Este resultado coincide con la mayoría de los metales en Ongoy, excepto en los casos de aluminio y bario, que exceden los límites y representan un riesgo potencial.

Estos hallazgos tienen implicaciones relevantes para la gestión de la calidad del agua en las zonas rurales. La aplicabilidad de este estudio se extiende a la implementación de sistemas de monitoreo en comunidades con condiciones similares, y se priorizan puntos críticos como Ongoy. Las limitaciones del estudio incluyen el tamaño de la muestra y la falta de análisis estacional, que deben ser abordadas en futuras investigaciones.

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con lo reportado por otros autores^(10,11,12) en diferentes regiones de Perú. Por ejemplo, se encuentran niveles de cadmio, arsénico y molibdeno por encima de los límites permisibles en Pueblo Libre⁽¹⁰⁾ y Pampachacra.⁽¹¹⁾ Al medir metales pesados en Junín, se halla plomo, arsénico y cadmio dentro de los límites establecidos.⁽¹¹⁾ Se reportan concentraciones elevadas de hierro en el pozo N.º 1 de Yarinacocha, mientras que otros metales permanecen dentro de los valores permisibles.⁽¹²⁾



Los hallazgos reflejan que la calidad del agua en Ongoy es adecuada en términos generales, pero los niveles elevados de aluminio (0,130 mg/L) y bario (0,135 mg/L) en ciertos puntos representan un riesgo para la salud pública. Estos resultados resaltan la necesidad de implementar sistemas de tratamiento y monitoreo más rigurosos.

Las concentraciones de sodio en puntos críticos, como el registro de 1183 mg/L en una muestra, plantean preocupaciones significativas para la salud cardiovascular según los estándares de la OMS, lo que refuerza la necesidad de priorizar acciones en esas áreas.

Al comparar con estudios previos realizados en regiones como Junín,⁽¹¹⁾ Pasco y Yarinacocha,⁽¹²⁾ se evidencia una coincidencia en que ciertos metales exceden los límites normativos, lo que sugiere que los problemas de calidad del agua son recurrentes en las áreas rurales de Perú.

Este estudio tiene implicaciones prácticas para otras comunidades con condiciones similares, y subraya la importancia de fortalecer la gestión de la calidad del agua en las zonas rurales mediante la implementación de políticas específicas y campañas de sensibilización.

Las limitaciones del estudio, como el tamaño de muestra reducido y la falta de un análisis estacional, deben ser consideradas en futuros trabajos para obtener un panorama más amplio y representativo de la calidad del agua en la región.

Se puede concluir que, aunque la calidad del agua en Ongoy es por lo general adecuada, los niveles elevados de aluminio y bario en ciertas muestras destacan la necesidad de monitoreo continuo y tratamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hoyos C, Martínez M, Marin V. Evaluación de la eficiencia de extractos naturales en el proceso de coagulación floculación de aguas crudas, con fines de potabilización [Internet]. Bionatura. 2021; 6(2):1770-7. DOI: [10.21931/rb/2021.06.02.17](https://doi.org/10.21931/rb/2021.06.02.17)
2. Castillo C, Esteves-Fajardo Z. el acceso al agua en ecuador: impacto y posibles soluciones [Internet]. Cienciamatria. 2023; 9(1):496-507. DOI: [10.35381/cm.v9i1.1077](https://doi.org/10.35381/cm.v9i1.1077)



3. Mendizabal G, Sedano M. El agua potable como derecho fundamental para la vida, Misión Jurídica [Internet]. Revista de Derecho y Ciencias Sociales. 2020 [acceso: 06/08/2022]; 3(3):41-60. Disponible en: <https://revistas.unicolmayor.edu.co/index.php/mjuridica/article/view/384>
4. González N. Análisis espacial de metales pesados en suelos agrícolas de la subcuenca atoyac-zahuapan y riesgos de salud pública [Internet]. Agricultura Sociedad y Desarrollo 2023; 21(1):84-99. DOI: [10.22231/asyd.v21i1.1593](https://doi.org/10.22231/asyd.v21i1.1593)
5. Franco E. Sensores de calidad de agua para el control de la contaminación fisicoquímica en los acuíferos de Latinoamérica: una revisión [Internet]. Ciencia Ambiente y Clima. 2023; 6(1):45-70. DOI: [10.22206/cac.2023.v6i1.pp45-70](https://doi.org/10.22206/cac.2023.v6i1.pp45-70)
6. Leiva Tafur D, López Lapa RM. Metales pesados en la producción ganadera lechera y riesgos a la salud humana [Internet]. Ciencia Latina. 2022; 6(1):3629-45. DOI: [10.37811/cl_rcm.v6i1.1758](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1758)
7. Curay-Yaulema C. Evaluación de la bioabsorción y biodegradación de plomo y cadmio en consorcios bacterianos de agua del río Chibunga Riobamba – Ecuador [Internet]. Código Científico revista de Investigación. 2023; 4(E2):1361-79. DOI: [10.55813/gaea/ccri/v4/ne2/223](https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v4/ne2/223)
8. Cortez-Mejía P, Tzatchkov V, Rodríguez-Varela J, Llaguno-Guilberto O. Calidad del agua y seguridad ante inundaciones en la gestión sostenible del recurso hídrico [Internet]. Ingeniería del agua. 2021; 25(1):15. DOI: [10.4995/ia.2021.13570](https://doi.org/10.4995/ia.2021.13570)
9. Escalona-Domenech R, Infante-Mata D, García-Alfaro J, Ramírez-Marcial N, Ortiz-Arrona C, Macías E. Evaluación de la calidad del agua y de la ribera en la cuenca del río Margaritas, Chiapas, México [Internet]. Revista Internacional de contaminación ambiental. 2022; 38:37-56. DOI: [10.20937/rica.54092](https://doi.org/10.20937/rica.54092)
10. Aguirre M, Rojas A, Bermúdez O, Trochez F. Efectos de actividades humanas extractivas y servicios recreativos sobre la calidad del agua [Internet]. Revista de Gestão Social E Ambiental. 2021; 14(2):82-104. DOI: [10.24857/rgsa.v14i2.2365](https://doi.org/10.24857/rgsa.v14i2.2365)
11. Barrera-de-Calderón M, Garfías J, Martel R, Salas-García J. Impacto urbano en la calidad y recarga del agua subterránea utilizando trazadores hidrogeoquímicos y ambientales en el acuífero de San Salvador [Internet]. Tecnología y Ciencias Del agua. 2021; 12(5):1-52. DOI: [10.24850/j-tyca-2021-05-01](https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-05-01)



12. Cañarte C. Evaluación de la calidad del agua en la red pública urbana del cantón valencia, provincia de los ríos, ecuador [Internet]. *Revista Social Fronteriza*. 2024; 4(4):e44335. DOI: [10.59814/resofro.2024.4\(4\)335](https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4(4)335)
13. Herrera G, Jiménez M, Andrade L. Muestreo y calidad del agua [Internet]. Fondo Editorial Fundación Koinonía. 2023; 10(1):124. DOI: [10.35381/978-980-7792-84-4](https://doi.org/10.35381/978-980-7792-84-4)
14. Vernaza W, Pozo R, Mateus C, Quiroga D, Stewart J, Thompson A. "agua para galápagos": un programa de monitoreo de la calidad del agua en las islas galápagos [Internet]. *Esferas*. 2021; 2(1):26. DOI: [10.18272/esferas.v2i.2026](https://doi.org/10.18272/esferas.v2i.2026)
15. Carrasco S. Metodología de la Investigación Científica: pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación. Lima: Editorial San Marcos; 2013.
16. Vásquez W, Figueroa M. Eficiencia del proceso de cloración en la eliminación de coliformes termotolerantes en una planta de tratamiento de agua potable [Internet]. *Revista Nor Ndin*. 2021; 4(2):70-6. DOI: [10.37518/2663-6360x2021v4n2p70](https://doi.org/10.37518/2663-6360x2021v4n2p70)
17. Paria C, Vargas J, Medina O. Identificación de las características hidrológicas en acuíferos en el margen oriental de la cadena occidental de la cordillera del Perú [Internet]. *Aguas Subterráneas*. 2023; 37(1):e30207. DOI: [10.14295/ras.v37i1.30207](https://doi.org/10.14295/ras.v37i1.30207)

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no poseen conflicto de intereses en el trabajo que se presenta.

Información financiera

Los autores declaran que no recibieron financiación para realizar esta investigación.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: *Mary Luz Godoy Chinchay, Gerson Córdova Serrano, Angela Eveling Quinto Cárdenas, Jenny Huerta León, Jhonnell Samaniego Joaquin.*

Curación de datos: *Jenny Huerta León, Jhonnell Samaniego Joaquin.*

<http://scielo.sld.cu>

<https://revmedmilitar.sld.cu>



Análisis Formal: *Gerson Córdova Serrano, Mary Luz Godoy Chinchay, Angela Eveling Quinto Cárdenas, Jenny Huerta León, Jhonnell Samaniego Joaquín.*

Investigación: *Gerson Córdova Serrano, Mary Luz Godoy Chinchay, Angela Eveling Quinto Cárdenas, Jenny Huerta León, Javier Sánchez Siesquen, Jhonnell Samaniego Joaquín.*

Metodología: *Gerson Córdova Serrano, Jenny Huerta León.*

Administración del proyecto: *Jenny Huerta León.*

Recursos materiales: *Angela Eveling Quinto Cárdenas, Mary Luz Godoy Chinchay.*

Supervisión: *Gerson Córdova Serrano.*

Validación: *Jhonnell Samaniego Joaquín, Javier Sánchez Siesquen.*

Visualización: *Jenny Huerta León, Jhonnell Samaniego Joaquín.*

Redacción-borrador original: *Gerson Córdova Serrano, Javier Sánchez Siesquen, Jenny Huerta León, Jhonnell Samaniego Joaquín.*

Redacción-revisión y edición: *Gerson Córdova Serrano, Javier Sánchez Siesquen, Jenny Huerta León, Jhonnell Samaniego Joaquín.*

Disponibilidad de datos

Los datos generados y analizados durante el presente estudio son confidenciales y no están disponibles públicamente, en concordancia con los acuerdos institucionales establecidos. Se encuentran resguardados en el repositorio académico de la Universidad María Auxiliadora. El acceso a estos datos puede ser concedido previa solicitud formal y evaluación por parte de dicha institución. Para mayor información, comunicarse con el autor para la correspondencia al correo: jhonnell.samaniego@uma.edu.pe